



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTILÁN

Caracterización fisicoquímica de películas
comestibles con extracto de aloe vera y su
empleo en superficie de naranja (*Citrus
aurantium*).

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTA:

Anaya Calderón María Fernanda

ASESORES:

Dr. Martín Ramón Porras Godínez

I. Q. Guadalupe Franco Rodríguez

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.

CONTENIDO

Introducción	1
Capítulo 1 ANTECEDENTES	3
1. Generalidades de las películas comestibles.....	3
1.1.1. Historia.....	3
1.1.2. Requerimientos para el uso de películas comestibles.....	3
1.1.3. Función de la película comestible.....	4
1.2 Composición de películas comestibles.....	6
1.2.1. Hidrocoloides.....	6
1.2.2. Polisacáridos.....	6
1.2.3. Lípidos.....	7
1.2.4. Proteínas.....	7
1.2.5. Películas a base de emulsiones.....	8
1.2.6. Aditivos.....	8
1.2.7. Uso de solventes.....	8
1.2.8. Plastificante.....	9
1.3 Formación de las películas comestibles.....	9
1.3.1. Coacervación.....	10
1.3.2. Retiro de disolvente.....	10
1.3.3. Solidificación de la disolución.....	10
1.3.4. Gelación térmica.....	12
1.3.5. Microfluidización.....	12
1.3.6. Pulverización electrohidodinámica.....	12
1.4 Clasificación de las películas comestibles.....	13
1.4.1. Películas comestibles a base de proteínas.....	14
1.4.2. Películas comestibles a base de polisacáridos.....	14

1.4.3. Películas comestibles a base de lípidos	15
1.4.4. Formas de aplicación de la película comestible	15
2. Materiales formadores de las películas comestibles	17
2.1 Almidón	17
2.1.2. Amilosa	19
2.1.3. Amilopectina	20
2.2 Almidón de papa	21
2.3 Proteína de suero de leche	22
2.3.1. Película comestibles a base de WPI.	23
2.4 Alginato de sodio	23
2.4.1. Propiedades del alginato de sodio	24
2.4.2. Estabilidad de las soluciones de alginatos	25
2.4.3. Formación del gel	25
2.5 Plastificante	27
2.5.1. Función del plastificante en la formación de películas comestibles	28
2.6 Naranja	29
2.6.1. Producción y consumo	31
2.6.2. Principales productores	32
2.6.3. Técnicas de conservación	32
2.6.4. Mohos presentes en la naranja	34
2.6.5. Control de las enfermedades postcosecha	35
2.7 <i>Pencillium digitatum</i>	37
2.7.1. Síntomas	38
2.7.2. Epidemiología	38
2.8 Aloe vera	40
2.8.1. Composición	41

<u>Capítulo II CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA</u>	43
Análisis colorimétrico	43
Calorimetría DTA	44
Potencial electrostático	45
Angulo de contacto	46
Elasticidad	48
Permeabilidad del vapor de agua	49
<u>Justificación</u>	51
<u>Capítulo III OBJETIVOS</u>	52
<u>Capítulo IV MATERIALES Y MÉTODOS</u>	53
Caracterización de la naranja	53
Elaboración y caracterización de la película comestible	53
Análisis colorimétrico	55
Evaluación del pH	55
Evaluación de acidez titulable	56
Evaluación de sólidos solubles	56
Evaluación de espesor	56
Análisis térmico	57
Análisis del potencial electrostático	57
Evaluación del ángulo de contacto	58
Evaluación de elasticidad	58
Evaluación de permeabilidad del vapor	59
<u>Capítulo V RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	60
<u>CONCLUSIÓN</u>	80
Bibliografía	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. -Transferencia que pueden ser controladas por barreras comestible.....	4
Figura 2. -Representación esquemática son y sin películas comestible.....	11
Figura 3. -Clasificación de películas comestibles.....	13
Figura 4. -Estructura monomérica de la amilosa.....	19
Figura 5. -Estructura monomérica de amilopectina.....	20
Figura 6. -Estructura monomérica del alginato de sodio.....	24
Figura 7. -Gelificación del alginato en presencia de cationes calcio.....	25
Figura 8. - Estructura del glicerol.....	28
Figura 9. -Taxonomía de la naranja.....	30
Figura 10. -Morfología del <i>Penicillium</i>	34
Figura 11. -Taxonomía del aloe vera.....	40
Figura 12. -Coordenadas de color.....	43
Figura 13. -Representación gráfica del análisis DTA.....	45
Figura 14. -Representación gráfica del potencial zeta.....	46
Figura 15. -Representación gráfica del ángulo de contacto.....	47
Figura 16. -Representación del ángulo de contacto hidrofóbico e hidrofílico.....	48
Figura 17. -Representación gráfica del análisis TPA.....	49
Figura 18. -Representación de la medición de permeabilidad al vapor.....	50
Figura 19. -Gráfica comparativa de los valores de ΔE	76
Figura 20. -Gráfica comparativa del % de acidez de la naranja con y sin película.....	78

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. - Características físicas y químicas de distintos tipos de almidón.....	18
Cuadro 2. - Temperatura y actividad de agua para el crecimiento de algunas especies.....	37
Cuadro 3. - Análisis térmico.....	44
Cuadro 4. - Concentraciones para la solución formadora de películas.....	54
Cuadro 5. - Resultado de los valores de ΔE y pH de naranja.....	60
Cuadro 6. - Resultado de % de acidez de la naranja.....	61
Cuadro 7. - Potencial zeta del almidón de papa y aloe vera.....	65
Cuadro 8. - Formulación de la solución formadora para películas comestibles.....	66
Cuadro 9. - Resultado del ángulo de contacto de las películas comestibles.....	69
Cuadro 10. - Espesor de las películas comestibles.....	70
Cuadro 11. - Permeabilidad del vapor de agua de las películas comestibles.....	71
Cuadro 12. -Resultado del ΔE de la naranja con y sin película comestible.....	75
Cuadro 13. - Cuadro comparativo de la naranja con y sin película comestible.....	77

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Grafico 1.- Producción de naranja por año.....	31
Grafico 2.- Punto de equivalencia de proteína de suero de leche.....	62
Grafico 3.- Potencial zeta experimental de la proteína de suero de leche.....	64
Grafico 4.- Potencial zeta experimental del alginato de sodio.....	67
Grafico 5.- Fuerza contra tiempo.....	73
Grafico 6.- Análisis térmico.....	74

Introducción

La citricultura en México es una actividad de gran importancia; porque una de cada veinte toneladas de cítricos que se consume en el mundo proviene del país; debido a que la producción nacional es del 88% dirigido al consumo interno. La naranja es un cítrico rico en vitamina C y aceites esenciales. Pero al no contar con una colecta especializada es muy común que la fruta sufra daños cuando es transportada a las empacadoras o en su trayecto hacia la venta en los mercados [SAGARPA, 2016]. Este daño provoca pequeñas heridas sobre la cascara de la fruta; con ello empiezan a surgir consecuencias de infección iniciada principalmente por el moho en este caso por el *Penicillium digitatum* (moho verde). El deterioro provocado por el microorganismo *Penicillium digitatum* es considerable pue pone en riesgo la comercialización de la naranja, teniendo en cuenta sus condiciones de crecimiento del moho *Penicillium digitatum* es a una temperatura optima de crecimiento de 20 - 30°C; aunque puede crecer en temperaturas de refrigeración de 5°C, sin embargo, también tolera grandes variaciones de pH entre un intervalo de 3.5 - 10; pero crece más rápidos a pH cercano a 4 [Delgado-Arce y Pérez, 1997]. En este trabajo se busca; Analizar el efecto de una película comestible con características antimicrobianas; a base de (almidón de papa, alginato de sodio y proteína de suero de leche) con extracto de (aloe vera) mediante pruebas fisicoquímicas, mecánicas para inhibir el moho *Penicillium digitatum* en la naranja buscando alargar su vida útil; por eso se emplean cada vez diferentes tecnologías de conservación en este caso la utilización de una película comestible. El uso de películas comestibles como método de conservación funciona como barrera selectiva para la transferencia de gases y humedad, también como vehículos para los aditivos, antioxidantes y antimicrobianos; con ello se busca que las películas comestibles se utilizan para mantener la calidad y así extender la vida útil de la naranja. Se utiliza alginato de sodio por su capacidad de formar geles al interactuar con la presencia de cationes de calcio; los cuales se encuentran presentes en la proteína de

suero de leche, almidón de papa y el extracto de aloe vera actúa como agente antimicrobiano puesto que, son polisacáridos heterogéneos y están formados por diferentes azúcares como son galactano, sustancias pépticas, xilano, y se caracteriza por formar geles en agua, estar libre de aroma y sabor [Sánchez-González *et al.*, 2008]. Los resultados obtenidos en el potencial electrostático se realizaron para conocer las cargas que presentan los hidrocoloides y con ello conocer si existe una interacción lo que se obtuvo fue que el alginato de sodio, almidón de papa y *aloe vera* interactúan entre sí, teniendo en cuenta sus iones calcio en su composición estas comienzan a interactuar con los grupos COO⁻ del alginato; en el caso de la proteína de suero de leche este va a favorecer la interacción entre los grupos hidrófobos. El ángulo de contacto se obtuvo para la película comestible con 75% de extracto de *aloe vera* su $\Theta < 42$ y para la segunda película comestible con 50% de extracto de *aloe vera* su $\Theta < 29$; lo que indica que no hay interacción de las películas comestibles con las moléculas de agua. En las pruebas texturales se realizó la prueba de elasticidad en donde la película de la formulación 2 (almidón de papa 2%, alginato de sodio 2%, extracto de *aloe vera* 50% y proteína de suero de leche 6%) obtuvo una elasticidad en un intervalo de 0.72-1.88; mientras la formulación 1 (almidón de papa 2%, alginato de sodio 1%, extracto de *aloe vera* 75%, y proteína de suero de leche 4%) se encuentra en un intervalo de 0.27-0.34. Las pruebas de acidez y sólidos solubles se realizaron únicamente en la naranja como método de control en su maduración. La adición de *aloe vera* como agente antimicrobiano muestra que las dos concentraciones para la formación de películas comestibles presentaron una inhibición al moho *Penicillium digitatum*; la evaluación se llevó a cabo durante 1, 5 y 15 días; así mismo se observó que no hubo cambios de color; ni disminución en la acidez y °Brix de la naranja con la película comestible lo que contribuye a la conservación de la naranja.

CAPITULO I Antecedentes

1. Generalidades de las películas comestibles

1.1.1. Historia

En el siglo XII los chinos protegían los productos cítricos con cera y así evitar de la pérdida de agua. El primer tipo de película desarrollado comercialmente fue de la yuca, formada a partir de la leche de soya durante el siglo XV en Japón; con fines de conservación. En Inglaterra en el siglo XVI algunos productos se protegían con lardo de cerdo y desde 1930 se utilizó el uso de emulsiones en frutas mejorando con ello su apariencia, controlando su pérdida de agua y maduración [Fadiño, 2016]. En las últimas décadas comienza el uso de alginatos, carrageninas, éter celuloso, antioxidantes, antimicrobianos, vitaminas, minerales y biosensores [Fadiño, 2016]. Las películas comestibles se utilizan para alargar la vida útil de los alimentos actuando como barrera selectiva contra los gases y la humedad [Montalvo *et al.*, 2003]. Algunos autores también definen a las películas comestibles como una o varias capas delgadas de material que puede ser consumido por los seres vivos, y a su vez pueden actuar como barrera de transferencia de gases, agua y solutos de alimentos [Porras, 2009].

1.1.2. 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.

1.1.3. Función de la película comestible

Las películas comestibles tienen un papel significativo en la vida de anaquel de los alimentos; como se muestra en la **Figura 1**, debido a que reducen la pérdida de agua, permiten el control respiratorio; retrasan el envejecimiento y mejora la calidad y el valor comercial de los mismos, manteniendo sus atributos de calidad y valor nutritivos [Valdés-Fernández y Baño, 2015].

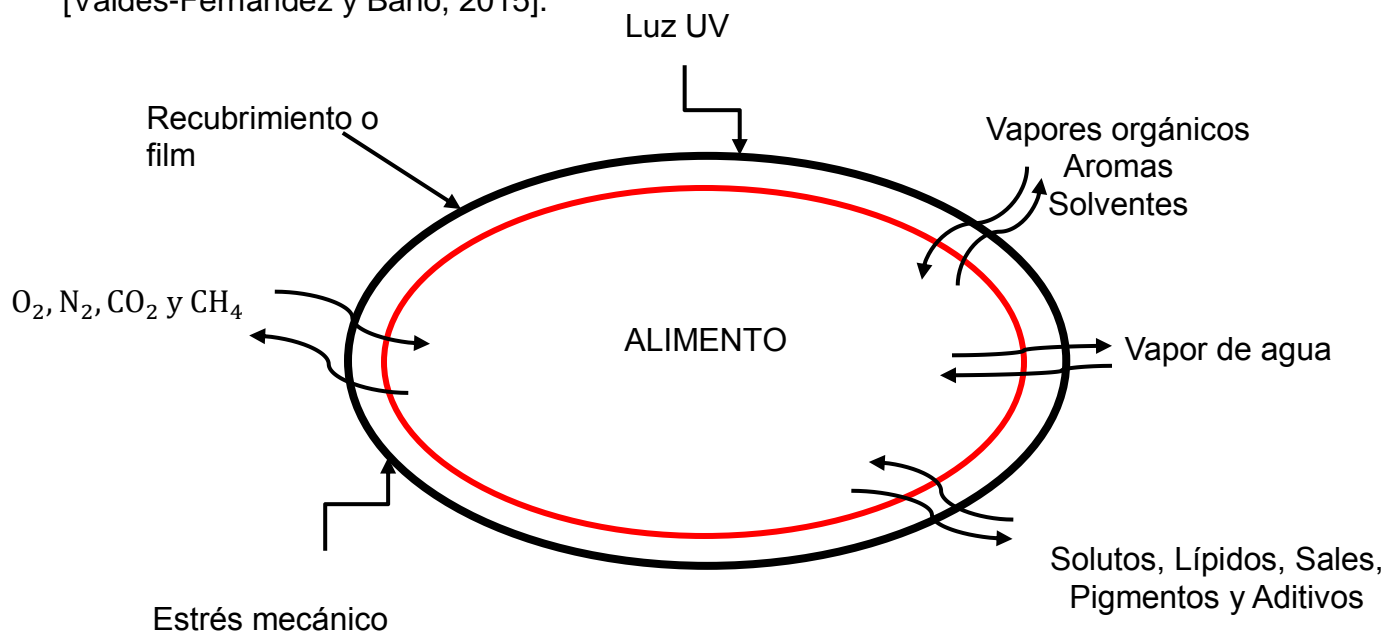


Figura 1. Transferencia que puede ser controladas por barreras comestibles [Valdés, 2015].

La función de la película comestible se utiliza para soporte aditivos alimenticios; pueden ser usados para incorporar agentes antimicrobianos, antioxidantes y otros; en localizaciones específicas de los alimentos. Así se puede conseguir exaltar una propiedad funcional en formada localizada sin elevar excesivamente la concentración general del aditivo en el alimento. También retardan la migración de la humedad; ya que la velocidad de transferencia de humedad entre un alimento y la atmosfera que lo rodea puede ser reducida si el producto entero es recubierto por una película [Miramont, 2012].

Cabe mencionar que también retardan la migración de aceites y grasas; son películas basadas en polímeros hidrofílicos, son altamente impermeables a grasas y aceites, le confiere atributos deseables cuando el alimento está destinado a ser freído en aceite. Se emplean para retener compuestos volátiles del flavor en donde las películas basadas en hidrocoloides pueden desarrollar este efecto. Otra de las funciones de las películas comestibles es su capacidad de retener el transporte de gases (O_2 , CO_2): el cual es un modo primario de deterioro de muchos alimentos involucra la oxidación de lípidos, vitaminas, componentes del flavor o pigmentos. Las películas también disminuyen la velocidad de la respiración aeróbica de futas frescas y vegetales [Miramont, 2012].

Estas propiedades dependen fundamentalmente de la composición que presentan los hidrocoloides; estos se dividen en proteínas, lípidos, polisacáridos o compuestos cada uno de ellos le confiere a la película comestibles diferentes características como son proporcionar brillo al alimento, retardar la oxidación enzimática, el transporte de gases, disminuye la pérdida de humedad, también pueden ser utilizados como vehículos de aditivos y de antimicrobianos a continuación se describen algunas de las características que le confieren a las películas comestibles; de la misma manera como las ventajas y desventajas que llegan a presentar; que es necesario la utilización de plastificantes, el uso de solventes; las películas comestibles son cada vez más utilizados en la industria alimentaria porque no dañan la superficie del alimento, son biodegradables.

1.2 Composición de películas comestibles.

1.2.1. *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 [Parzanes, 2012].

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.

1.2.2. *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 hidrofílicas y por lo tanto constituye una pobre barrera a la pérdida de humedad [Valdés-Fernández y Baño, 2015].

1.2.3. 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].

1.2.4. 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].

A continuación, se menciona que las películas comestibles pueden ser también a base de emulsiones; y así mismo incluir aditivos o solventes para mejorar su inocuidad en la superficie del fruto, resistencia, actúan como vehículos.

1.2.5. Películas basadas en emulsiones

Las películas comestibles basadas en emulsiones se pueden obtener mediante dos pasos; el primer paso es la formación de la película hidocoloide y el segundo paso es la formación de la película de lípido mediante la separación de fases tras la preparación de una emulsión. Los emulsificantes favorecen la dispersión de los lípidos en la matriz hidocoloide; proporcionándole la capacidad de mejorar la película comestible para impregnar el alimento, forma una capa continua en la superficie del mismo; en estos casos las películas comestibles a base de emulsificantes pueden ser añadidas con agentes plastificantes que aportan flexibilidad a la película comestible [Quintero *et al.*, 2010].

1.2.6. Aditivos

Las formulaciones de las películas pueden incorporar otros componentes o aditivos con distintas funciones. Las películas pueden actuar como vehículos o portadores de ciertos aditivos con el fin de mejorar la conservación y/o propiedades organolépticas [Porras, 2009]. Estos pueden ser tecnológicos y proporcionarle a la película comestible una propiedad mecánica; también puede ser funcionales le proporcionan determinado comportamiento de la película comestible [Soazo, 2012].

1.2.7. Uso de solventes

Es necesario el uso de un compuesto que sea adecuado e inocuo para alimentos generalmente se limita al uso de agua con una gran variedad de valores de pH para poder solubilizar al polímero [Fadiño, 2016].

La aplicación de las películas comestibles aplicada en la superficie de la naranja puede ser formuladas a partir de las diferentes fuentes como se mencionó anteriormente; también se pueden elaborar a base de mezclas de (proteína, polisacáridos y lípidos) estas actúan como antioxidantes y antimicrobiano a la vez; el objetivo de la utilización

de películas comestibles es mejorar la calidad de la naranja extendiendo su vida útil, y proporcionando un valor agregado en el producto; también se aplica la película comestible en la superficie de la naranja para disminuir la pérdida de agua, color y regula el pH y la acidez durante el almacenamiento [Fernández *et al.*, 2017].

1.2.8. *Plastificante*

Los plastificantes son sustancias de bajo peso molecular; son incoloros dentro de la matriz polimérica para incrementar la flexibilidad de la película comestible, la dureza, suavizan la rigidez de la estructura de la película, incrementando la movilidad de las cadenas poliméricas y reduciendo las fuerzas intermoleculares y disminuye la formación de grietas en la superficie [Fadiño, 2016]. Entre los plastificantes más utilizados están el glicerol, propolenglicol, sorbitol, polietilenglicol 200 y polietilenglicol 400; los plastificantes deben ser compatibles con los polímeros y así conseguir las propiedades deseables de la película [Aguilar-Méndez y San Martín, 2012]. La formación de una película comestible presenta distintos procesos de formación los cuales se explican a continuación.

1.3 Formación de las películas comestibles.

Es un proceso en el que se obtiene una fase sólida ordenada a partir de una fase líquida; existen dos mecanismos generales para la formación de películas: el proceso seco se basa en las propiedades termoplásticas de los biopolímeros calentados por encima de su temperatura de transición vítrea en procesos tales como extrusión o moldeado por compresión, en condiciones de bajo contenido de agua [Valdés-Fernández y Baño, 2015]. Esta es utilizada generalmente para películas comestibles elaborados a base de proteínas; es un proceso en el que la desnaturalización desestabiliza las moléculas de proteínas, las cuales dan lugar a la formación de una matriz polimérica entre las partículas [Solano-Doblado *et al.*, 2018]. Por otro lado, el proceso húmedo; es el método de la formación de la película comestible que se da mediante la disolución formadora de películas, donde los polímeros son inicialmente dispersados o solubilizados en fase líquida y posteriormente secados [Valdés-Fernández y Baño, 2015].

Dentro de estos mismos procesos para la elaboración y formación de las películas comestibles se involucran las siguientes etapas como la coacervación, el retiro de solvente, solidificación de la disolución, gelación térmica, microfluidizada y pulverización electrohidrodinámica.

1.3.1. Coacervación

Consiste en el cambio de fase del polímero formador; puede ser compleja o simple. La simple da la precipitación del hidrocoloide mediante la modificación de propiedades como el calor, alteraciones del pH o añadiendo disolventes. En la compleja se altera la carga, poniendo en contacto dos macromoléculas que se neutralizan entre ellas [Valdés-Fernández y Baño, 2015].

1.3.2. Retiro del disolvente

En este proceso se forma y se estabiliza una estructura molecular por interacciones físicas y químicas; la solución formadora de películas comestibles se incorpora en un disolvente como puede ser agua, etanol, ácido acético, etc., que contiene aditivos como plastificantes, agentes reticulación o sultos [Solano-Doblado *et al.*, 2018]. Permite la formación de la película sólida mediante la evaporación a la temperatura y humedad relativa deseada [Valdés-Fernández y Baño, 2015].

1.3.3. Solidificación de la disolución

Esta técnica es empleada en películas de naturaleza lipídica, la tasa de enfriamiento influye en el estado polimórfico predominante [Valdés-Fernández, Baño, 2015]. Cabe destacar que este método las macromoléculas junto con el plastificante; son disueltas hasta su homogenización y son vertidas en capas finas sobre moldes [Solano-Doblado *et al.*, 2018].

La formación de películas generalmente involucra diferentes tipos de enlaces (iónico, covalentes, puentes de hidrógeno, interacciones electrostáticas, fuerzas de Van der Waals) entre las cadenas que conforman al polímero, formando una red semirrígida que atrapa e inmoviliza al solvente.

Como se esquematiza en la **Figura 2**. Existen dos tipos de fuerzas; la primera fuerza es la de cohesión que actúa entre las moléculas del polímero, y la segunda fuerza es adhesión que ejercer entre la película y el soporte en donde se están formando. La cohesión y la adhesión están relacionadas con la estructura, composición química, peso molecular, ramificaciones, polaridad y distribución de grupos polares de la cadena polimérica.

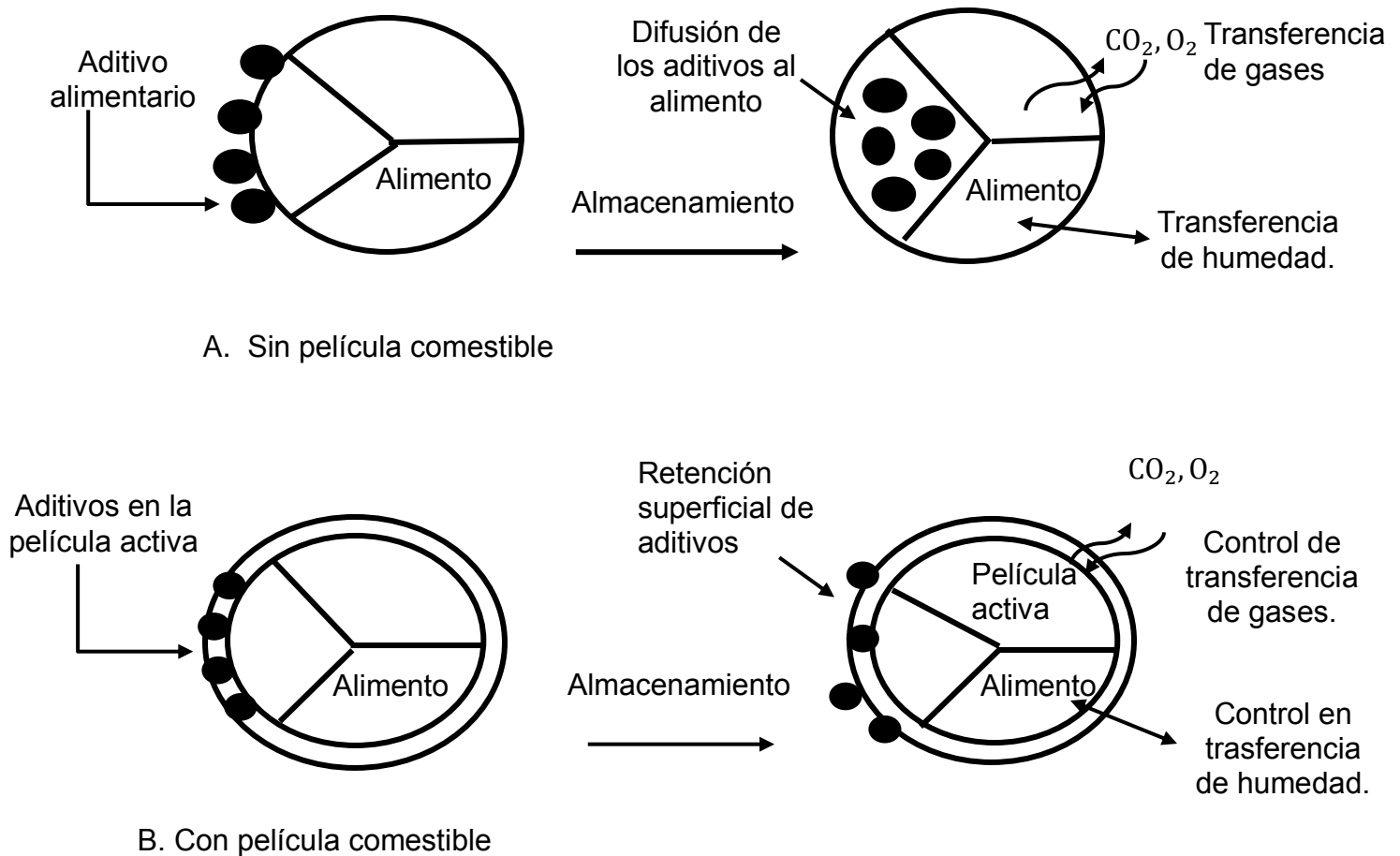


Figura 2. Representación esquemática de A) sin película y B) con película comestible [Solano 2018].

Para la formación de la película va a depender de las siguientes variables: la desnaturalización y enlaces cruzados se utilizan para tener un orden molecular. La funcionalidad del polímero también está relacionada con las características del solvente. La solvatación polimérica puede producir películas más eficientes. Como se muestra en la **Figura 2** las películas comestibles van a controlar la transferencia de gases, control de la transferencia de humedad y retención superficial de aditivos.

1.3.4. Gelación térmica

Se basa en la aplicación de un tratamiento térmico; permitiendo la formación de un gel estable; que presenta una estructura rígida. Este proceso es comúnmente utilizado cuando las películas comestibles son formadas a base de proteínas, el cual lleva a cabo el proceso de una desnaturalización; lo que con lleva a una desestabilidad en las moléculas de las proteínas dando como resultado un entramado estable entre las partículas [Solano-Doblado *et al.*, 2018].

1.3.5. Microfluidización

Es un proceso en un medio mecánico de alta energía para la formación de emulsiones; en el cual la dispersión pasa a través de microcanales que cuenta con un dispositivo de bombeo de alta presión; permitiendo de esa manera la obtención de nanopartículas las cuales le otorgan a las películas comestibles características físicas como la estabilidad y control sobre el tamaño del glóbulo [Solano-Doblado *et al.*, 2018].

1.3.6. Pulverización electrohidrodinámica

Es la automatización del líquido de la solución formadora de la película comestible, el cual se da por medio de las fuerzas eléctricas, y lo que ocurre es que el líquido va a salir por la boquilla con un alto potencial eléctrico. Cabe mencionar que una de las ventajas que proporciona este método es que se obtiene gotas con un diámetro de 100 μm , con lo cual la medición del tamaño de partículas y la carga pueden ser medidos con mayor facilidad; en el caso del tamaño este puede llegar a controlarse en cierta media por medios eléctricos [Solano-Doblado *et al.*, 2018].

Como se ha mencionado anteriormente existen diferentes tipos de hidrocoloides por ello las películas se clasifican de la siguiente manera; el tipo de polisacárido, proteína, resinas, ceras, ácidos grasos y compuestos que se pueden utilizar para la elaboración de solución formadora de películas comestibles.

1.4. Clasificación de las películas comestibles.

En la **Figura 3** se presenta la clasificación de las películas comestibles en función de las características químicas de los componentes en la formulación como son:

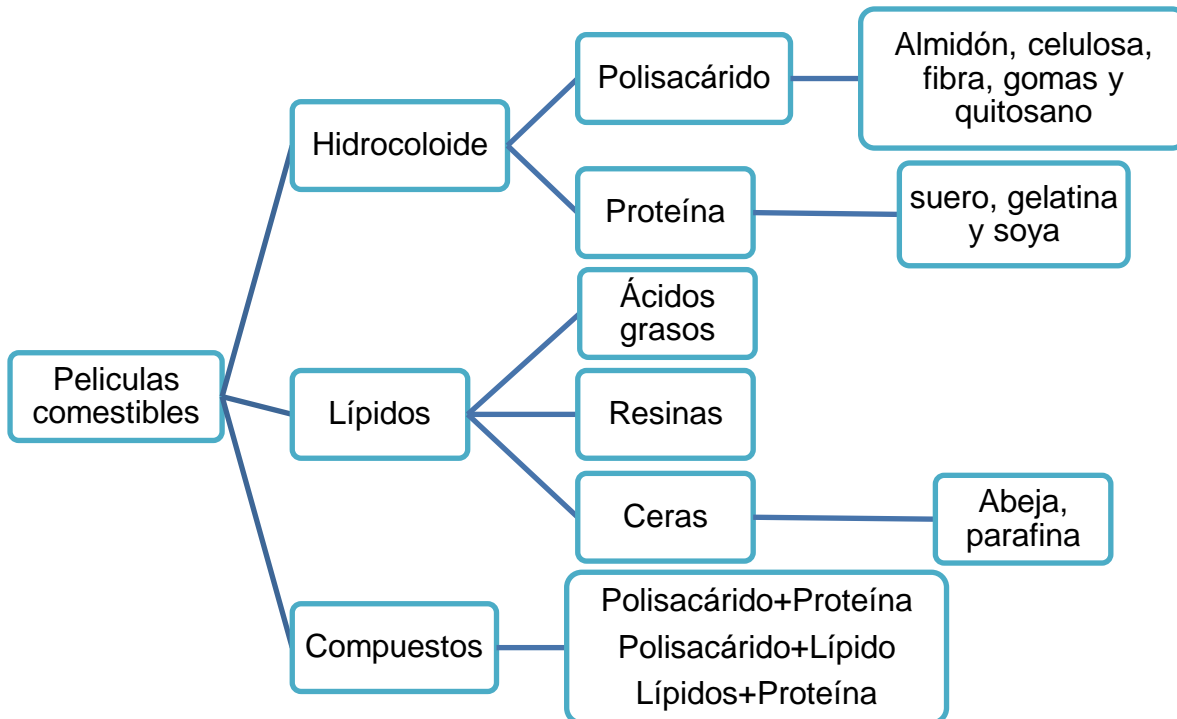


Figura 3. Clasificación de películas comestibles aplicadas en los alimentos.

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 determinará las propiedades de la película comestible [Valdés-Fernández y Baño, 2015].

1.4.1. Películas comestibles a base de proteínas

La formación de una red macromolecular de proteína requiere de tres pasos: El primer paso es la ruptura de enlaces intermoleculares de baja energía que estabilicen a los polímeros en el estado nativo. El segundo paso consta del arreglo y orientación de las cadenas poliméricas y por último es la formación de una red tridimensional que se estabilice por la formación de nuevos enlaces [Montalvo *et al.*, 2003]. Algunas propiedades de las películas comestibles a base de proteínas son las conformaciones secundarias, terciarias y cuaternarias de las proteínas pueden ser modificados por varios agentes físicos (temperatura, presión y tratamientos mecánicos) o químicos (ácidos y adición de lípidos). Esos agentes se utilizan para optimizar la interacción entre aminoácidos y favorecer la formación de polímeros con mayor estabilidad. Las proteínas globulares deben ser desnaturalizadas por calentamiento, empleo de medios acuosos ácidos o básicos o por solventes; con la intención de formar estructuras más extendidas que son requeridas para la formación de películas [Montalvo *et al.*, 2003].

1.4.2. Películas comestibles a base de polisacáridos

Los polisacáridos son polímeros que contienen grupos hidroxilos de carácter hidrofílico, por esta razón poseen alta adherencia a los productos alimenticios. Las películas comestibles preparados con estos componentes forman una barrera frente al intercambio gaseoso, pero reducida protección a la pérdida de humedad. Poseen monómeros de carácter simple en comparación a las proteínas, y debido a la complejidad de su estructura molecular, resultan películas comestibles flexibles que no forman grietas al ser colocados en los alimentos [Ramos-García *et al.*, 2010]. Este tipo de películas confiere las ventajas como son sus propiedades similares a los plásticos, son compatibles con los alimentos, portadores de agentes antioxidantes o antimicrobianos; presentan inconvenientes como una baja resistencia mecánica y su alta capacidad para absorber la humedad atmosférica. Los polisacáridos pueden reducir los niveles internos de O₂ y elevar los de CO₂, reduce la deshidratación, rancidez oxidativa y oscurecimiento superficial prolongando así la vida de anaquel de los productos vegetales frescos [Elizondo-Camacho *et al.*, 2011].

1.4.3. Películas comestibles a base de lípidos

Los lípidos, ceras y resinas son componentes reconocidos por sus propiedades protectoras frente a la deshidratación de los productos hortofrutícolas, así como proporcionar brillo, mejorar la apariencia y reducir la senescencia. Sin embargo, al ser compuestos hidrofóbicos, no se adhieren bien a la superficie de los productos. También depende de cuál sea el estado en el que se encuentren los lípidos ya sea de manera líquida este ofrece una menor resistencia a la transmisión de vapor de gases que cuando se encuentran en estado sólido y exhiben baja resistencia en las propiedades mecánicas [McHugh, 2000].

Las formulaciones lipídicas forman laminas gruesas y quebradizas, por lo que es recomendable emplearlas con la incorporación de componentes proteicos o polisacáridos con el objeto de generar interacciones sinérgicas [Ramos-García *et al.*, 2010]. Existen distintas formas de aplicación de las películas y recubrimientos comestibles en diferentes superficies las cuales se dividen de la siguiente manera.

1.4.4. Formas de aplicación de la película comestibles:

Casting

Consiste básicamente en la obtención de una dispersión uniforme compuesta por biomoléculas (polisacáridos, proteínas y lípidos), plastificantes y agua. Luego se vierte sobre una placa de material inocuo (acero inoxidable) donde se deja secar para que se forme el film. La velocidad de secado junto con la temperatura y humedad son condiciones determinantes para la calidad del film (transparencia, consistencia, y propiedades mecánicas); por lo tanto, deben ser controladas correctamente. Una vez finalizando el secado se tiene un film de gran tamaño, el cual es fraccionado para ser aplicado sobre los alimentos a tratar [Parzanes, 2012].

Cabe mencionar que existen dos tipos más de aplicación para las películas comestibles que son las técnicas de inmersión o spray; pero son más utilizadas para los recubrimientos comestibles.

Inmersión

Esta aplicación consiste en la aplicación de las matrices comestibles sumergiendo el alimento en la solución formadora. Se utiliza especialmente en aquellos alimentos cuya forma es irregular que requieren de una cobertura uniforme y gruesa [Porras, 2009]. Esta técnica de aplicación es la más utilizada en el recubrimiento y películas comestibles para frutas, vegetales y productos cárnicos; en estos casos el producto debe ser lavado y secado previamente después se sumerge en la solución para garantizar un mojado completo [Krochta *et al.*, 2002].

Spray

Esta técnica se basa en la aplicación de la solución formadora presurizada; la cual permite obtener un recubrimiento comestible más finos y uniformes; este tipo de aplicación se usa en alimentos de superficie lisa o para la separación de componentes de distinta humedad de un alimento compuesto [Porras, 2009].

Después de lo anterior expuesto se seleccionó los componentes para la solución formadora para la película comestibles ya que pueden ser mixtos o compuestos con la adición de plastificante; lo que le confiere flexibilidad y elasticidad a la película comestibles ya que presenta ventajas como alargar la vida útil de la naranja, la reducción de pérdida de peso y conservación de las propiedades fisicoquímicas para este trabajo de investigación se considera que los materiales más adecuados para la película comestible; se presentan las características de los biopolímeros que se utilizan.

2. Materiales formadores de las películas comestibles.

Las películas comestible son matrices continuas que están formuladas a base de lípidos, proteínas, polisacáridos o mezcla de estos componentes; como se menciona anteriormente confieren diferentes propiedades fisicoquímicas; en este trabajo se emplearon materiales como almidón de papa (mejora el brillo), suero de leche (barrera al O₂) y alginato de sodio (elasticidad) para formar la matriz polimérica; la cual sirve como vehículo para compuestos antimicrobianos; a continuación se profundiza cada uno de los componentes que se utiliza para la elaboración de la película comestible para alargar la vida útil de la naranja.

2.1. Almidón

El almidón es un polisacárido de reserva energética y de gran importancia, pues es un constituyente importante en la dieta del hombre desde tiempos remotos. Es el segundo carbohidrato más abundante después de la celulosa; y es el primero en importancia al ser utilizado ampliamente en la industria de los alimentos, debido a que en la industria alimentaria se le da muchas aplicaciones como agente estabilizadores, emulsionantes, humectantes, espesantes, entre otras [Fennema, 2000].

El almidón se encuentra en forma de gránulos insolubles en los granos o semillas, tubérculo, tallos y raíces de las plantas, en las cuales la principal fuente de reserva energética que es utilizada durante los periodos de germinación y crecimiento de las plantas [Fennema, 2000]. El tamaño, forma y composición de los gránulos depende de la bioquímica de los amiloplastos, así como también de la fuente botánica, e incluso de la fisiología de la planta. Por lo tanto, tenemos que conocer como están compuestos loa almidones, cuáles son sus estructuras, su porcentaje de almidosa y de amilopectina.

Estructura del almidón

El almidón es un polímero que está constituido únicamente por la unión de moléculas de glucosa; el cual se compone de dos tipos de polisacáridos, amilosa y amilopectina, son polímeros de glucosa unidos por enlaces glucosídicos en α (1-4) y con diferentes propiedades.

La amilopectina es el componente principal de la mayoría de los almidones y se compone de un número de cadenas delimitadas entre sí por un enlace α (1-6), dando lugar a una estructura ampliamente ramificada de alto peso molecular [Fennema, 2000]. Los almidones con alto contenido de amilosa exhiben una mayor temperatura de transición vítrea, la cual es resistente a la tensión, elasticidad, pero presentan menor elongación a la rotura cuando el contenido de amilosa es bajo.

Los almidones son de gran interés debido a su gran abundancia; presentan bajo costo para su producción y su biodegradabilidad; cabe destacar que sus propiedades van a variar dependiendo de la fuente de su obtención. Algunas características similares presentes en los almidones de distinta fuente de derivación son las siguientes transparentes, insípidos e inoloros; por lo tanto, no producen ningún cambio en el sabor y aroma de los alimentos.

Tal como se muestra en el **Cuadro 1** existen distintos tipos de almidones los cuales se encuentran en los cereales, tubérculos y puede llegar el caso que en algunas frutas como es el caso de polisacáridos de reserva energética; este tipo de almidones son los que se utilizan para la formación de las películas comestibles con sus características físicas y químicas que le proporciona cada uno.

Cuadro 1. Características físicas y químicas de distintos tipos de almidones [Fennema, 2000].

Fuente	Tamaño (mm)	Amilosa %	Solubilidad a 95°C (%)	T° de gelatinización (°C)	Forma
Maíz regular	5-25	26	25	62-80	Redondo
Maíz cereo	5-15	-1	23	63-74	Redondo
Amilomaíz	2-30	>80	12	85-87	Redondo
Papa	5-10	22	82	56-69	Almeja

Como se menciona anteriormente el contenido de amilosa es importante considerarlo, para la elaboración de las películas comestibles debido a su propiedad de formar geles; por otro lado, la amilopectina es más estable que la amilosa debido a la limitación de enlaces de hidrogeno, que le van a conferir fluidez, alta viscosidad y elasticidad. A continuación, se presenta las estructuras de la amilosa y amilopectina y como están constituidas.

2.1.2. Amilosa

La amilosa es un polímero lineal que está compuesto por cientos de unidades de glucosa unidas por enlaces entre el carbono 1 y el carbono 4 como se puede apreciar en la **Figura 4**, por lo tanto, está constituido por uniones glucosídicas α (1-4). Constituye una cuarta parte del almidón total; este posee propiedades hidrofílicas por la presencia de grupos hidroxilos y es la responsable de la gelificación; forma redes tridimensionales [Vaclavick *et al.*, 2002].

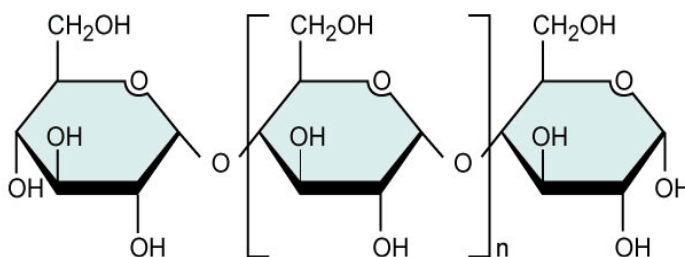


Figura 4. Estructura monomérica de la amilosa [Barrera, 2014].

En la **Figura 4** la amilosa está bajo la forma de hélices; las soluciones acuosas de la amilosa no son estables, sobre todo cuando la temperatura desciende. Está constituida por anillos de glucosa unidos entre sí se disuelve fácilmente adquiriendo una estructura secundaria en forma helicoidal en la cual cada vuelta de la hélice comprende seis unidades de glucosa [Barrera, 2014].

2.1.3. Amilopectina

La amilopectina posee cadenas de glucosa que presentan uniones glucosídicas α (1-4) con ramificaciones cada 15-30 unidades de glucosa en la cadena en α (1-6), las uniones son entre el carbono 1 de glucosa y 6 de la ramificación. Por si solos pueden gelificar, puesto que las moléculas no pueden asociarse, son los responsables de que la estructura del granulo del almidón y forma tres cuartas partes del almidón total [Vaclavick *et al.*, 2002].

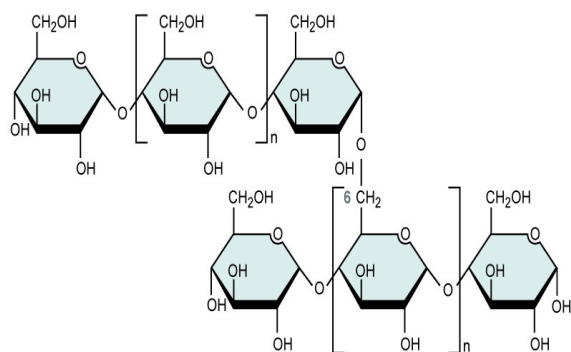


Figura 5. Estructura monomérica amilopectina [Vaclavick *et al.*, 2002].

En la **Figura 5** la amilopectina presenta un grado de cristalinidad, es la estructura que más absorbe agua y es en gran parte responsable de la hinchazón de los gránulos del almidón [Barrera, 2014]. En diferentes artículos científicos, la elaboración de películas comestibles se ha utilizado ampliamente los polisacáridos, como es el caso de los almidones, en especial para la conservación de las frutas por medio de la película comestibles ya que se busca reducir la pérdida de agua, retardar el envejecimiento, conferir brillo y conservar el color, permitiendo de esa manera mejorar la calidad y el precio de estos productos [Agama-Acevedo *et al.*, 2013]. El almidón como bien se sabe se puede obtener de distintas fuentes naturales como es la papa, arroz, maíz, yuca entre otros; se demostró que la aplicación de la solución formadora a base de almidón de papa con aloe vera y cera de carnauba, presentaron diferencias benéficas ya que le proporciono una barrera y retraso la respiración lo que por consecuencia se obtiene un menor grado de deterioro [Velásquez-Moreira y Guerrero *et al.*, 2014]. Por consiguiente, se utilizó el almidón de papa por sus características que le proporciona a las películas comestibles mejorando el brillo y la textura de la superficie de la naranja.

2.2. Almidón de papa

La papa es identificada botánicamente como (*Solanum tuberosum subsp.*); contiene carbohidratos, proteínas, vitaminas como ácido ascórbico, sustancias fenólicas y ácido nucleicos. El contenido de almidón de la papa varía entre 15% y 20% de su peso con un alto contenido de fósforo con 0.08%. Este almidón es un polisacárido que conjuntamente con lípidos, proteínas y ácidos nucleídos, conforman las principales clases de moléculas biológicamente activas; es un factor de suma importancia en la elaboración de alimentos siendo la materia prima en esta industria por sus características de baja temperatura de gelatinización, baja tendencia a retrogradarse, resistencia a la degradación enzimática, bajo contenido residual de grasas y proteínas.

En el almidón de papa, la amilopectina se encuentra entre el 70 y 80% en peso, independientemente del tamaño de los gránulos; estas características hacen que el almidón sea una fuente valiosa para la obtención de biopolímeros [Hernando *et al.*, 2013]. Cabe destacar que el almidón de papa por su relación que existe entre amilosa y amilopectina es un valor importante en la formación de las películas comestibles; ya que afectara las propiedades mecánicas y físicas; en general cuando hay un incremento en el contenido de amilosa conferirá una película comestible con mayor dureza; pero independientemente del contenido de amilosa, las películas comestibles a base de almidón presentan propiedades mecánicas limitadas, lo que quiere decir que son quebradizas, pero por otra parte mejora las características de la flexibilidad [Courtney *et al.*, 2012]. El uso de películas comestibles a base de almidón nativo de papa en naranja le confiere una mejora en el brillo y textura de la corteza, reduce el deterioro de la calidad fisicoquímica y organoléptica, también reduce la pérdida de peso, el intercambio de gases; por ello la implementación de esta nueva tecnología se debe a que la naranja es susceptible a la manipulación en su recolección lo que conlleva la disminución de su vida útil y exista la presencia del moho *Penicillium digitatum* [Pérez *et al.*, 2004]. Se consideró a la proteína de suero de leche como otro componente importante para la solución formadora de las películas comestibles debido a sus propiedades funcionales como gelificante, estabilizante, espumante y a su interacción de los enlaces intermoleculares que se forman.

2.3. Proteína de suero de leche (WPI).

Algunas propiedades funcionales de la proteína de suero de leche que destacan y que le caracteriza son como agente gelificante, propiedades emulsificación, estabilizante y espumante; estas propiedades se dan por las interacciones entre la α -lactoalbúmina y la β -lactoglobulina.

Proteínas presentes en el suero de leche

El suero de leche se denomina como proteínas séricas que tienen excelentes propiedades funcionales; presenta aminoácidos como lisina, triptófano y aminoácidos azufrados por estas características el suero de leche es el más utilizado en la industria alimentaria; pero sus proteínas que son más utilizadas son las siguientes: Las principales proteínas que la componen son: α -lactoalbuminas, β -lactoglobulinas, seroalbuminas bovina (BSA) e inmunoglobinas. Las β -lactoglobulinas; esta proteína contiene 50 a 60% del total de la proteína del suero. La lactoglobulina es una fuente rica en cisteína un aminoácido esencial, que es importante para la síntesis del glutatión. Los monómeros de β -Lg contienen un grupo sulfhidrilo libre y dos enlaces disulfuro bajo condiciones apropiadas esta proteína participa rápidamente en reacciones de intercambios sulfhidrilo-disulfuro consigo misma y con otras proteínas.

La α -lactoalbuminas; esta proteína se considera cerca del 25% de la proteína total del suero. En la glándula mamaria, la α -lactoalbumina actúa como coenzima en la biosíntesis de la lactosa. En algunos países, esta proteína se utiliza comercialmente en fórmulas infantiles para hacerla más similar a la leche humana. La α -lactoalbúmina (α -La), al igual que la α -Lg es una proteína globular con cuatro enlaces disulfuro. Estos enlaces mantienen la estructura globular y la estabilizan contra la desnaturalización. Seroalbúmina bovina (BSA) es una larga proteína globular. Contiene un grupo sulfhidrilo libre. La unión de la BSA con ácidos grasos libres y otros lípidos estabiliza la molécula contra la desnaturalización y además actúa como vehículo de agente antimicrobiano, también como barrera selectiva para la migración de oxígeno [Guerrero-Beltrán y Vázquez, 2013].

Se debe considerar la masa molecular es de 14 200 g/mol y tiene un punto isoeléctrico que va de un intervalo entre 4.2 y 4.5. La α -lactoalbuminas puede realizar fenómenos complejos de asociación y disociación que son dependientes del pH, se puede cristalizar fácilmente.

2.3.1. Películas comestibles a base de WPI

Se realizó un estudio de película comestible a partir de proteína de suero de leche, hidroxipropil metilcelulosa, como fase hidrofílica y cera de abeja y carnauba como fase lipídica; en el cual se quería cubrir rebanadas de manzana; en el estudio se comprobó que la combinación de la solución formadora lograba una reducción en el oscurecimiento enzimático; esto fue atribuido este efecto a la alta propiedad de barrera al oxígeno que presenta las proteínas [Guerrero-Beltrán y Vázquez, 2013]. Las películas comestibles basadas en WPI confieren excelentes barreras al O₂, de la misma forma confiere el control de la permeabilidad al vapor de agua; sus propiedades mecánicas mejoran considerablemente debido a la adición de un agente plastificante; con ello las películas comestibles mejoran así sus propiedades mecánicas, otra propiedad que le confiere la WPI a las películas comestibles son propiedades como barrera de aceite y al aroma. [López-Enríquez *et al.*, 2016]. Diferentes industrias utilizan la combinación de proteína con polisacáridos debido a que son buenos materiales para la elaboración de películas comestibles, muestran excelentes propiedades mecánicas, en este caso se usa el alginato de sodio debido a que confiere características como estabilizante, emulsificante y gelificante a continuación se presenta las interacciones del alginato de sodio, su estructura y las propiedades que le confiere a las películas comestibles. [Méndez-Reyes *et al.*, 2015].

2.4. Alginato de sodio.

Los alginatos son los polisacáridos más abundantes presentes en las algas marinas, Comprenden hasta 40% de su peso seco; son los componentes estructurales de la pared celular de las algas cuya función principal es dar rigidez, elasticidad, flexibilidad y capacidad de enlazar agua.

Los alginatos se presentan como una mezcla de sales como se muestra en la **Figura 6**, los cationes que comúnmente se localizan en el agua de mar y principalmente son Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^{+} , estas proporciones en las que están unidos los iones están unidos al alginato dependen de su composición. Los alginatos son una familia de polisacáridos lineales, conteniendo cantidades variables de ácido β -D-manurónico y ácido α -L-glurónico.

La viscosidad de las soluciones de alginatos depende de la longitud de las moléculas, cuando mayor sea la longitud de las cadenas, más alta será la viscosidad, al disolverse en agua las moléculas se hidratan y aumentan su viscosidad; se debe de considerar también el factor del peso molecular debido a que, a mayor peso molecular, mas viscosas resultan sus soluciones [Avendaño-Romero *et al.*, 2013].

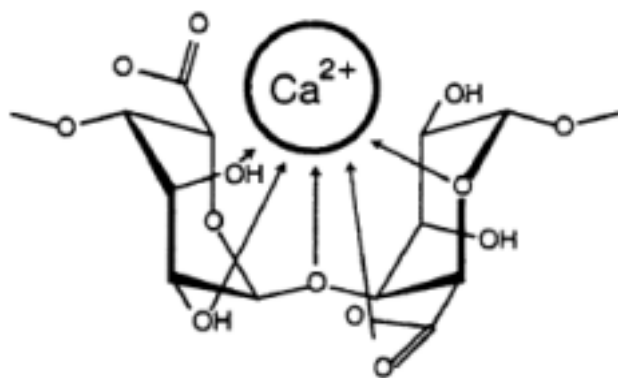


Figura 6. Estructura monomérica del alginato [León,2014].

Se tiene que destacar que para la solución formadora de las películas comestibles se deben de considerar los siguientes puntos como son las propiedades del alginato de sodio, la estabilidad que presenta y las características que presenta la película comestible.

2.4.1. Propiedades del alginato de sodio

Los alginatos de sodio, potasio, calcio y amonio, ácido algínico y el alginato de propilengicol, son aditivos alimenticios reconocidos como inocuos y seguros según la FDA. La aplicación de los alginatos se basa en las siguientes propiedades: La primera es la habilidad que tienen como espesantes al ser disueltos en agua lo que genera un

aumento en la viscosidad, la segunda es la capacidad de retención del agua, la tercera es la formación de geles y la cuarta se basa en la propiedad de formar películas le confiere transparencia y propiedades mecánicas [León, 2014].

2.4.2. 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].

2.4.3. Formación del gel

El alginato de sodio gelifica por la presencia de cationes multivalentes como el calcio, como se observa en la **Figura 7** lo que convierte a este en un proceso irreversible. Los cationes de calcio interactúan con los grupos COO^- de las moléculas del alginato vecinas formando así alginato de calcio, reemplazando los iones de sodio [León, 2014].

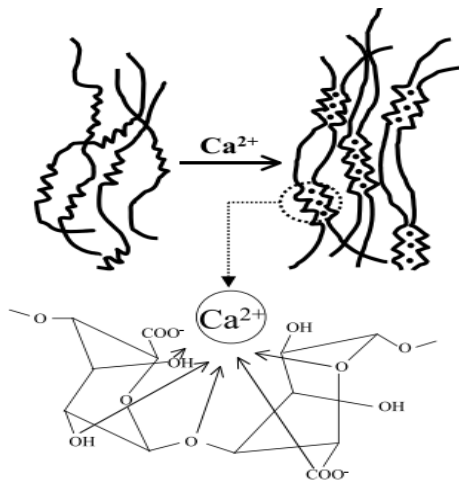


Figura 7. Gelificación del alginato en presencia de cationes calcio [Santacruz, 2014]

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 mencionar que también las películas comestibles con alginato de sodio confieren la firmeza en el tejido del fruto; controlando en gran medida la hidrólisis del ácido pectínico en la pared celular del fruto que llega a promover la pérdida de fluidos en las células del fruto que como consecuencia lo hace más suave y este factor tiene relación con el ataque microbiológico que promueve la degradación celular; otro de los atributos en frutas que se observa es el grado de brillo que puede proporcionar el alginato de sodio, de igual manera la conservación del color en la superficie de la fruta durante el periodo de almacenamiento [Méndez-Reyes *et al.*, 2014]. Citado anteriormente la utilización de películas comestibles se ha diversificado y cada vez más se busca su aplicación en diferentes alimentos como las frutas, vegetales y productos cárnicos; controlando así la transferencia de gases, el crecimiento microbiano que pueda estar presente, y proporciona características deseadas por el consumidor como son apariencia, frescura, firmeza, color y calidad por ello México tiene como objetivo seguir

manteniendo su posición en la fruticultura como el quinto país productor de naranja a nivel mundial; por consiguiente cada vez se buscan diferentes métodos de conservación y de igual manera que sean biodegradables. Así mismo es necesario la adición de un agente plastificante se utilizan para aumentar la flexibilidad y elasticidad de los polímeros, de igual manera ayuda en las condiciones de fusión; el plastificante actúa como un lubricante interno reduciendo las fuerzas de Van der Waals que están presentes en las cadenas poliméricas. Por ello se utiliza el plastificante glicerol ya que es el más utilizado, y con mayor facilidad de conseguir; se presenta a continuación las características que este plastificante le confiere a la película comestibles que se emplea para prolongar la vida útil de la naranja.

2.5. Plastificante.

De acuerdo con la definición de la norma ASTM (ASTM-D-833), un plastificante es un material que se incorpora a un plástico para facilitar su procesado y mejorar su flexibilidad o distensibilidad. La adición de un plastificante puede hacer que disminuya la viscosidad. La incorporación del glicerol como agente hidrofílico facilita la absorción de las moléculas de agua a través de la película mejorando las propiedades de permeabilidad de vapor de agua [Seymour, 2002]. Los plastificantes que se utilizan en la industria alimentaria incluyen:

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

Con los diferentes tipos de plastificantes se utiliza el glicerol por el fácil acceso y bajo costo, cabe mencionar que es el más utilizado en la formación de películas comestibles.

Glicerol

Es un polialcohol de una cadena carbonada de tres átomos de carbono y tres grupos hidroxilos ($C_3H_8O_3$) como se aprecia en la **Figura 8**. Su molécula posee un gran número de grupos alcohólicos (primarios y secundarios), los cuales pueden ser remplazados por otros grupos funcionales y así llegar a formar derivados como los ésteres, aminas y aldehídos.

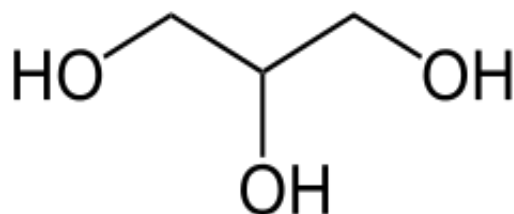


Figura 8. Estructura del glicerol [Seymour, 2002].

Es un líquido incoloro, inodoro, de baja toxicidad ambiental, soluble en agua y otros solventes polares, es insoluble en hidrocarburos; es también una sustancia higroscópica con un pH neutro implica la liberación de cationes hidronios, hidroxilos cuando se disuelve en agua; es químicamente estable bajo condiciones normales de almacenamiento y manejo [Seymour, 2002].

2.5.1. Función del plastificante en la formación de películas comestibles

Los plastificantes producen un aumento del volumen libre de la estructura polimérica y de la movilidad molecular de los polímeros, disminuyendo así la razón entre la región cristalina y la región amorfa; disminuyendo de esa manera la temperatura de transición vítrea; esos cambios llevan a disminuir la fragilidad de las películas e incrementar su flexibilidad y dureza [Krochta *et al.*, 2002].

La mayoría de los plastificantes contienen grupos hidroxilos, los cuales forman puentes de hidrogeno con los biopolímeros; y aumenta el volumen libre y la flexibilidad de la

película. 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]. Como se menciona anteriormente la utilización de nuevos métodos de conservación como es el caso de películas comestibles es para inhibir la presencia de podredumbre y del moho *Penicillium digitatum* en la superficie de la naranja para alargar su vida de anaquel.

2.6. Naranja.

El origen de la naranja se dio hace miles de años en Asia, en la región del sur de China a Indonesia; pero las naranjas dulces llegaron en Europa alrededor del siglo XV. Las naranjas comenzaron a ser cultivadas en las islas del Caribe en el siglo XV cuando Cristóbal Colón llevó las semillas; los exploradores españoles son los responsables de llevar naranjas a Florida en el siglo XVI [Stampella, 2015].

Existen dos especies de naranja: dulce (*Citrus sinensis*) y amargas (*Citrus aurantium*); la naranja dulce es la que se consume normalmente, tanto en crudo como en jugos mientras la naranja amarga no se consume en crudo y es más utilizada para elaborar mermeladas, confitura, licores y aceites esenciales [Stampella, 2015]. Consta de varios carpelos o gajos fáciles de separar que contiene una pulpa de color entre anaranjado y el rojo, jugosa y succulenta. Posee varias semillas y numerosas células jugosas cubiertas por un exocarpio coriáceo o cáscara de color anaranjado cuyo interior es blanco [Stampella, 2015], a continuación, se presenta la taxonomía de la naranja:

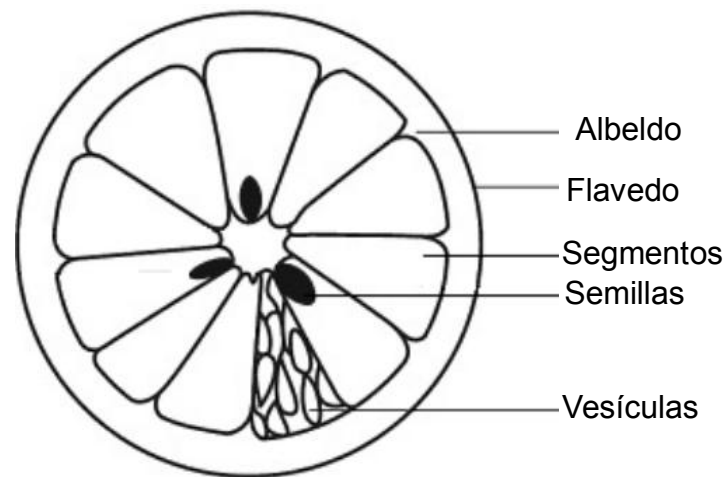


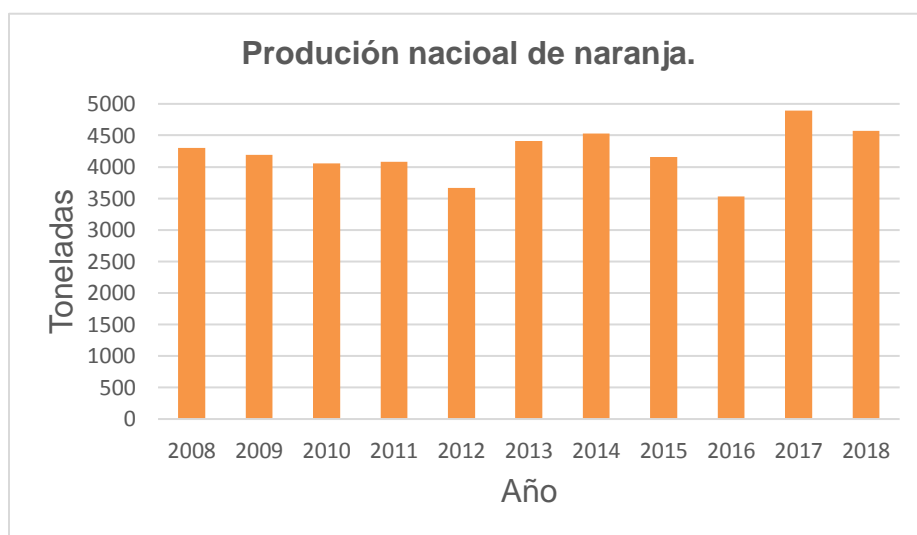
Figura 9. Taxonomía de la naranja [Stampella, 2015].

La taxonomía de naranja se puede observar en la **Figura 9** se divide en el flavedo es la cascara, el cual está formado por una epidermis e hipodermis en esta parte está compuesta por pequeñas vesículas que contienen los aceites esenciales: el albeldo también forma parte de la cascara, pero es donde está contenida la mayor parte de la pectina.

La problemática que en México se presenta en la producción de la naranja es la poca disponibilidad de variedades y materiales y que estén certificados los viveros, bajo nivel tecnológicos e la producción, uso indiscriminado de agroquímicos, por último, el manejo inadecuado de plagas y enfermedades. Otra de la problemática que existe es dentro de la postcosecha e industria esto debido a la poca infraestructura para un manejo en la etapa postcosecha, centros de producción muy distantes de los puertos, falta de homogeneidad y estandarización del producto, ausencia de investigación e implementación de prácticas que alarguen la vida útil de los productos cosechados y la poca implementación de BPM y otras normas de calidad [SAGARPA, 2016].

2.6.1. Producción y consumo

Se realizó un estudio que muestra el comportamiento de la producción nacional de naranja que tiene la capacidad de incrementarse de 4.6 % a 8.5 % lo que quiere representar un crecimiento del 86.6 %; en la **Gráfica 1** se observa la producción de naranja que ha presentado México en los últimos años [FAO, 2018]. En los años del 2008 al 2011 la producción de mantuvo entre 4051 a 4200 toneladas; en el 2012 hubo una baja en la producción del 30 por ciento, produciendo un aproximado de 3666 toneladas ese año esta baja se pudo dar por la presencia de mohos.



Grafica 1. Producción de naranja por año [FAO, 2018].

Como se aprecia en el **Grafico 1** en los años que va desde el 2012 al 2016 hubo una caída significativa en la producción de naranja, esto pudo ser ocasionado por las condiciones climáticas, la presencia de podredumbre en la superficie del fruto, el 2017 incremento la producción un 40% más, con aproximadamente 5 000 toneladas por año; debido a los datos que se han presentado a lo largo de los años se buscan nuevas tecnologías para la conservación de la naranja como es el uso de películas comestibles de esta manera se controla las pérdidas o disminución en la producción tanto para las exportaciones como el consumo interno.

2.6.2. Principales productores

Por más de una década, México se ha posicionado como una potencia en la producción de cítricos, pero sobre todo de naranja; se producen 4.5 millones de toneladas de naranja al año y son exportadas 49 mil toneladas lo que genera una ganancia de los 17 millones de dólares al año; a los países que se envía más este cítrico son Estados Unidos, Canadá, Reino Unido y Japón. Cabe mencionar que México es el quinto productor mundial de naranja los estados en los que más se produce este cítrico son Veracruz, Tamaulipas, San Luis Potosí [SAGARPA, 2017].

Los estados como Veracruz su producción es aproximadamente de un 44% de toneladas, Tamaulipas con 14% de las toneladas, San Luis Potosí con 8% de toneladas, estos estados conjuntan el 67 por ciento del total cosechado en el país [SIAP, 2017].

Existen diferentes técnicas de conservación que se han utilizado en los últimos años, pero este tipo de técnicas pueden llegar afectar la apariencia, aroma o sabor del fruto; cabe mencionar que estas técnicas son costosas por eso se buscan nuevas alternativas de conservación como es el caso de las películas comestibles.

2.6.3. Técnicas de conservación

La finalidad de los procesos de conservación de frutas y hortalizas frescas lo que se busca es prolongar su vida y la calidad comercial; con ello se propiamente controlar la tasa de transpiración, respiración e inhibir el desarrollo de enfermedades, algunas técnicas como la refrigeración, daño por frío, calor, escaldado, daño por calor, son técnicas de conservación pueden llegar hacer muy costosas, y de la misma manera llegar a dañar la superficie de las frutas y hortalizas; a continuación se mencionan las condiciones que deben de tener las diferentes técnicas de conservación :

Refrigeración

El tratamiento más efectivo para prolongar la vida útil postcosecha de productos agrícolas es el almacenamiento a baja temperatura entre 8.3°C a 10°C con 85 - 90 % de humedad relativa, puede prolongar la vida del fruto almacenado durante dos a cinco semanas [Miramont, 2012]. De la mano viene el daño por frío en donde se presenta una decoloración interna y superficial, tiene presencia de áreas cafés endógenas, sabor desagradable, áreas de la pulpa saturadas de agua, picaduras, descomposición o un deterioro acelerado. También provoca una maduración no uniforme o ausencia de maduración; por último, llega a tener una incidencia de patógenos y desarrollo de enfermedades [Barreiro-Méndez y Sandoval, 2006].

Aplicación de Calor

El calor se basa en la desnaturalización de proteínas, lo que produce una desactivación de las enzimas, y por lo tanto provoca la desaparición de los efectos de sus actividades; incluida la paralización y eliminación de microorganismos [Parra-Coronado y Hernández, 2008]. En esta técnica de conservación se utiliza el escaldado este método suele aplicarse a las frutas antes de someterlas a otros procesos como el enlatado, se usa agua o vapor durante pocos minutos a una temperatura de 95 – 100 °C [Parra-Coronado y Hernández, 2008]. Con la tecnología de conservación a base de calor este presenta daños como es 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 pardeamientos de las áreas magulladas [Parra, *et al.*, 2008]. Estas técnicas son utilizadas para mejorar la calidad, proteger a la naranja de la presencia de podredumbre o de la presencia de diferentes tipos de moho del género *Penicillium* el cual los que están presentes en la superficie de la naranja son *Penicillium digitatum*, *Penicillium italicum* a continuación se muestran los síntomas, que les causa, que provoca y como se infecta la superficie de la naranja.

2.6.4. Mohos presentes en la naranja

De los mohos presentes que afectan a los cítricos del género *Penicillium* se caracteriza por formar conidios en una estructura ramificada semejante a un pincel que termina en células conidiógenas llamadas fiálides; sus colores típicos varían de azul a azul-verde. Algunas de estas especies producen la podredumbre azul y verde por mohos en los frutos cítricos; el *Penicillium* se encuentra en casi todas las partes, siendo este comúnmente el género de hongos más abundante en el suelo; su fácil proliferación es un gran problema para la naranja; algunas de estas especies producen toxinas las cuales causan que el alimento ya no sea comestible [Becerra-Juárez *et al.*, 2010]. Las especies que atacan con mayor frecuencia a los frutos cítricos son los siguientes: El *Penicillium digitatum*: Este moho provoca la enfermedad conocida como moho verde de los cítricos, el cual causa la podredumbre blanda; el primer síntoma es la presencia de una mancha redonda sobre la superficie del fruto; si la temperatura es la favorable para su proliferación la lesión crece rápidamente y lo cubre con un moho blanco que pronto se hace verde; las esporas pueden sobrevivir en el suelo y en los empaques; las esporas no germinan en la superficie del fruto hasta que la piel presente daños; otra condición que favorece el crecimiento es la humedad elevada [Becerra-Juárez *et al.*, 2010].

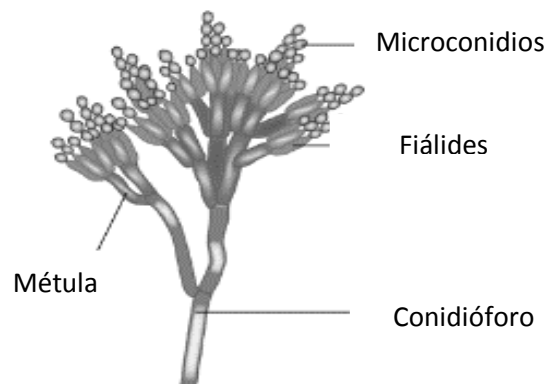


Figura 10. Morfología del *Penicillium* [Becerra-Juárez *et al.*, 2010].

En México se estima pérdidas en la citricultura nacional del 40% de la producción postcosecha esto se debe al impacto de las enfermedades fúngicas en la naranja; pero puede variar la pérdida debido a que cada región es distinta se debe a las cuestiones de manejo, las condiciones del suelo, clima y la variedad del fruto [Ochoa *et al.*, 2007].

Penicillium italicum: Este es un patógeno de los cítricos; causa la enfermedad del moho azul y produce de igual manera la podredumbre blanda. El área productora de esporas en la superficie del fruto en descomposición tiene un color azul brillante y está rodeada por un micelio blanco; este hongo va a penetrar en el fruto a través de heridas presentes en el fruto, pero también puede extenderse desde los frutos infectados a los sanos solo por contacto [Becerra-Juárez *et al.*, 2010].

2.6.5. Control de las enfermedades postcosecha

Las enfermedades más importantes postcosecha de frutos cítricos en este caso de la naranja son las podredumbres verdes provocada por el moho *Penicillium digitatum*; para el control de estas enfermedades se realizan principalmente por fungicidas químicos sintéticos, tales como el imazalil o el tiabendazol. Este tipo de fungicidas químicos son fáciles de aplicar, proporcionan un efecto curativo o presenta un efecto preventivo contra nuevas enfermedades. Cabe mencionar que la naranja que llega ser tratada con fungicidas convencionales el porcentaje de pérdidas es de 2 - 4% mientras que sin un tratamiento de refrigeración las pérdidas alcanzarían el 15 - 30% [Salvador, 2015].

Algunos factores que disminuyen la eficiencia de los fungicidas es el modo de aplicación ya sea por espray, ducha o por inmersión, el tipo de mezcla puede ser acuosa o a base de cera; también dependerá la especie, variedad y la edad de la fruta [Salvador, 2015].

Existen diferentes tipos de tratamientos para combatir las enfermedades que se presentan en la superficie de las frutas como de las hortalizas estos tratamientos pueden ser químicos y biológicos; estos deben de ser de baja toxicidad.

Métodos químicos de baja toxicidad

Algunos productos químicos alternativos a los fungicidas deben ser sustancias naturales o de síntesis que presentan efectos residuales sobre el medio ambiente y toxicológicos sobre personas y animales.

Entre las sustancias naturales destacadas por su elevada actividad antifúngica son los extractos de plantas y aceites esenciales, compuestos aromáticos no volátiles como es el caso del acetaldehído, hexanal, benzaldehído; Aunque la eficiencia no iguala a los fungicidas convencionales estos productos químicos de baja toxicidad son de fácil disponibilidad y aplicación con precios bajos [Salvador, 2015].

Métodos biológicos

Este tipo de biofungicidas para el control de enfermedades en la naranja son muy poco utilizados debido a que no todos los países cuentan con normativas específicas para la utilización de este tipo de tratamientos para la prevención del moho *Penicillium digitatum* [Salvador, 2015]. Esta técnica provoca un gran impacto al medio ambiente, afectando al consumidor, otro de los puntos a considerar es que el uso de biofungicidas pueden llegar a provocar resistencia de los microorganismos. Como se mencionó anteriormente el fruto de naranjo al presentar un adecuado medio de cultivo se comienza a desarrollar las condiciones necesarias para que comience la proliferación del *Penicillium digitatum* por ello a continuación se presenta una descripción sobre las condiciones fisicoquímicas, los síntomas, la epidemiología que favorecen su crecimiento sobre superficies de naranja.

2.7. *Penicillium digitatum*.

Los *penicilios* son mohos comunes los cuales se desarrollan sobre los más diversos sustratos como son granos, paja, cuero y frutas. Su identificación se base en las características morfológicas; su importancia de estos mohos se debe a que causa deterioro y producen toxinas. Este género se caracteriza por formar conidios en una estructura ramificada semejante a un pincel que termina en células conidiógenas; las ramificaciones de un pincel poliverticilado son ramas, rámula. Los filamentos o hifas alcanzan un diámetro entre dos o tres micrómetros y tienen septos con un poro central que es visible al microscópio óptico; la pared de las fiálides es siempre lisa y esta puede formar de ánfora o ser casi cilíndricas. Los *penicilios* crecen sobre los alimentos preparados o sus materias primas, ya sean de origen animal o vegetal, debido a que si de halla la actividad del agua y los nutrientes necesarios Un aumento en la humedad relativa en una fruta almacenada lo cual incrementa la actividad de agua; favoreciendo así la contaminación del moho [Carrillo, 2003].

En el **Cuadro 2** se expresa el intervalo de temperatura adecuada para la proliferación del moho entre 6 y 37 °C, siendo 25°C la temperatura óptima a esta temperatura con un intervalo de 48 horas la naranja presenta infecciones irreversibles; los primeros síntomas empiezan aparecer entre los primeros tres días aproximadamente [Delgado-Arce y Pérez, 1997].

Cuadro 2. Temperatura y actividad de agua para el crecimiento de algunas especies [Carrillo, 2003].

Especies	Temperatura °C			Actividad de agua	
	Rango	Óptimo	Mínima	Óptima	
<i>P.aurantiogriseum</i>	-2 a 32	23	0.81-0.83	0.98	
<i>P.brevicompactum</i>	12-30	23	0.80-0,82	0.99	
<i>P.citrinum</i>	<5-37	26-30	0.80-0.84		
<i>P.digitatum</i>	6-37	20-25	0.90	0.99	

Por consiguientes es necesario estas condiciones para que comience la proliferación del moho, por ello se necesita conocer los síntomas, el tipo de epidemiología que ocurre en la superficie de la naranja.

2.7.1. Síntomas

Los síntomas inducidos por el ataque del *P. digitatum* en frutos cítricos, inicialmente se aprecia en la cascara como un punto pequeño de 2 - 3 mm de diámetros, de aspecto acuoso, blando ligeramente deprimido y algo decolorado; a temperatura ambiente de 24 °C, la mancha se expande rápidamente en unas 24 a 36 horas aproximadamente; hasta alcanzar un diámetro de 2 - 4 cm [Delgado-Arce y Pérez, 1997].

En el caso del moho *P. digitatum*, el área esporulada es de un color verde oliva y se presenta rodeada por una amplia zona de alrededor de 1 - 2 cm de micelio blanco y de una estrecha banda de cascara blanda de aspecto acuoso. El moho *P. digitatum*, provoca podredumbres acuosas en frutos cítricos; por su producción de enzimas pectolíticas, que ocasionan la degradación de la lámina media de las paredes celulares; los frutos afectados se modifican acelerando su maduración y reduciendo su vida de almacenamiento [Delgado-Arece y Pérez, 1997].

2.7.2. Epidemiología

La epidemiología de las enfermedades ocasionadas por el patógeno *P. digitatum*, es la presencia de esporas que son diseminadas por corrientes de aire y pueden sobrevivir periodos aparentemente largos en el suelo, en el ambiente de las empacadoras y los locales de almacenamiento de los cítricos; este moho germina sobre la superficie de los frutos en presencia de agua libre, pero como ya se mencionó anteriormente únicamente penetra a través de heridas en la cascara; cabe mencionar que se registra una mayor incidencia en frutos que son cosechados durante los periodos de lluvia o de alta humedad relativa; este moho necesita una humedad relativa de 80% para que esté presente en fruto [Delgado-Arece y Pérez., 1997].

La capacidad de modificar el pH puede provocar que este se incremente o que disminuya; por lo cual se habla de los mohos alcalinizantes y mohos acidificantes en este caso el moho *Penicillium digitatum* va acidificar el pH de la naranja secretando diferentes ácidos orgánicos como el ácido cítrico y glucónico [Prusky *et al.*, 2003].

Se han realizado estudios de películas comestibles o recubrimientos comestibles para la inhibición del moho *Penicillium digitatum* en naranjas; pero la mayoría de los trabajos solo se enfocan de manera microbiológica; dejando de lado la apariencia e interacciones que llegan a tener la solución formadora de películas comestibles. Por ello en este trabajo se busca ver de manera fisicoquímicamente, y con la utilización de diferentes matrices poliméricas, no solo con un polisacárido y el antimicrobiano; también se busca que no presentes cambios significativos en la apariencia de la naranja; Por otro lado, se busca comprobar la utilización del gel aloe vera como antimicrobiano para la inhibición del moho *P. digitatum* [Prusky *et al.*, 2003].

Existen diferentes compuestos naturales que presentan propiedades antimicrobianas y uno de ellos es el aloe vera el cual reduce la inhibición del moho *Penicillium digitatum* en la superficie de la naranja; de esta manera se optó por el uso este; debido también a que por su composición tienen características gelificantes, interactúa con el alginato de sodio, almidón de papa y el suero de leche ya que el aloe vera cuenta con iones calcio; otro punto a considerar es su bajo costo y que se obtiene fácilmente.

2.8. Aloe vera.

Sábila nombre científico *Aloe vera* roviene de la familia botánica *Liliaceace* (*aloaceae*). La sábila se caracteriza por no tener tallo aparente como se observa en la **Figura 11** tiene hojas carnosas, lanceoladas, como se las cuales se encuentran agrupadas y forman una roseta; también tiene flores tubulares de color amarillento que cuentan con espigas que se sitúan en el extremo del tallo erguido [Boudrean *et al.*, 2009].

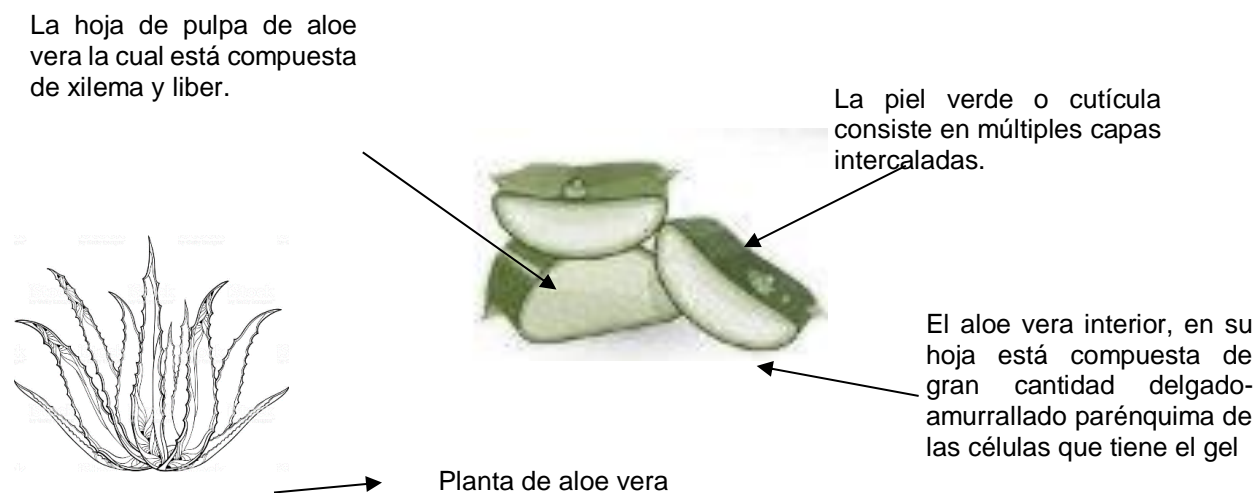


Figura 11. Taxonomía del *aloe vera* [Boudrean *et al.*, 2009].

En la **Figura 11** se observa la taxonomía del *aloe vera* donde la planta se compone de raíz, tallo, hojas las cuales crecen alrededor del tallo a nivel del suelo en forma de rosera; que va desde el centro hacia arriba, crece el tallo al florecer forma densos racimos. Las hojas tienen forma de lanceoladas y dentadas con pinchos que sirven como protección de la planta; el parénquima mejor conocido como pulpa o gel se localiza en la parte central de la hoja este representa un 65 al 80 % del peso total de la planta [Fernández-Domínguez *et al.*, 2012].

2.8.1. Composición

El gel está compuesto de agua, mucilagos y una variedad de compuestos; entre esos compuestos se encuentran fenoles, como la aloína y la aloemodina, sacáridos (manosa, glucosa, fructosa, celulosa, glucomanano, acemanos); vitaminas A, C y E del complejo B; enzimas como la amilasa y la catalasa, y cuenta con minerales como el calcio, hierro y zinc, está conformado con aminoácidos como la lisina, la cisteína y la glicina y ácidos grasos. Se atribuyen algunas propiedades del aloe vera a la presencia de diversos azúcares contenidos en el gel de las hojas, entre las que se destacan la fructosa, el aloérido, la célula, los glucomananos neutros, los galacturonanos, la arabinosa, principalmente y también a la presencia de compuestos fenólicos como la aloína, el aloe emodina, la 4-hidroaloina, el 5-hidroaloina [Boudreau *et al.*, 2009].

El gel extraído de la pulpa del *aloe vera* ha recibido un interés por la capacidad de actuar como recubrimiento su actividad antioxidante como respuesta a la presencia de compuestos de naturaleza fenólica y el hecho que genera entre 4 y 2 reducciones logarítmicas en el crecimiento del micelio de mohos como el *Penicillium digitatum* [Quintero *et al.*, 2010].

Se ha comprobado que en el caso de la pérdida de peso en frutos y la utilización de películas comestibles a base del gel de *aloe vera* mostró un efecto positivo a la reducción de la pérdida de humedad cuyo efecto está basado en las propiedades higroscópicas que permite la formación de una barrera al agua entre el fruto y el ambiente que lo rodea, evitando de esta manera la transferencia externa. También el gel de *aloe vera* actúa como barrera al oxígeno de la atmósfera circundante, por tanto, presenta un menor proceso del deterioro oxidativo [Valero *et al.*, 2014].

La actividad antifúngica del gel de *aloe vera*, incluye su eficacia frente a patógenos de frutos como el moho *P. digitatum*, su actividad antimicrobiana del gel *aloe vera* está basada en la supresión de la germinación y la inhibición del crecimiento del micelio y se le atribuye a la presencia de más de un compuesto activo; además el gel *aloe vera* reduce el crecimiento de 17 especies bacterianas ; siendo la cantidad necesaria para inhibir el crecimiento menor para bacterias Gram +; esto debido a que el gel *aloe vera*

cuenta con derivados tales como la saponinas, acemanan y antraquinonas los cuales poseen actividad antibiótica [Valero *et al.*, 2014].

Como se menciona anteriormente el aloe vera cuenta con aminoácidos como la lisina, valina, fanilamnina, metionina, ácido aspártico, ácido glutámico, arginina y serina; en donde la lisina es la que interviene en los mecanismos de resistencia a las tensiones externas, en cuanto a la alanina participa en la síntesis de la clorofila; la valina interviene como mecanismo de resistencia en condiciones adversas; la metionina es precursor del etileno este incrementa la calidad y la maduración del fruto. También ha demostrado la capacidad antimicrobiana debido a que bloquea la síntesis de los ácidos nucleídos en las bacterias, por la presencia de antraquinonas los cuales son metabolitos secundarios como aloin, barbaloin y ácido aloético que actúan como mecanismo de defensa ya que aportan un efecto antimicrobiano. También el aloe vera contiene saponina y aleotina que tienen un carácter antiséptico con un amplio espectro bactericida y antimicrobiano; en conjunto estos compuesto tiene la capacidad de neutralizar las toxinas microbianas; por lo tanto el aloe vera es capaz de inhibir el crecimiento del moho *Penicillium digitatum* presente en la superficie de la naranja [Pulido-Soler y Becerra, 2016].

A los componentes de la solución formadora de películas comestibles, la materia prima y por último la película comestible se realizan una caracterización con las siguientes pruebas como son calorimetría, potencial zeta, textura, colorimetría; con ello comprobar si la película comestible es apta para su utilización en la superficie de la naranja y si retarda la aparición de podredumbre y la presencia del moho *Penicillium digitatum*.

Capítulo II Caracterización fisicoquímica.

Análisis de colorimetría

El color es una característica de calidad de gran importancia, debido a que es el primer aspecto que perciben los consumidores esta característica determina la aceptación o el rechazo del producto. El colorímetro de triestímulos consiste en una luz blanca proveniente de una fuente- patrón la cual incide sobre el alimento bajo un ángulo de 0° y este se refleja con un ángulo de 45° o viceversa. La luz que es reflejada pasa a través de filtros que es medida por una fotocélula. Existen tres atributos que son básicos en el color los cuales son tono, valor y croma; el tono es el nombre del color el cual se distingue de una familia de otra; de colores cromáticos como el rojo del amarillo. El segundo atributo el valor es la luminosidad que representa el color esta es la cualidad en la cual se distinguen los colores claros de los oscuros y finalmente el atributo croma es la fuerza del color o también se puede considerar como la intensidad de un tono [Atzingen *et al.*, 2005]. En la **Figura 12** se aprecia el diagrama de las coordenadas de color.

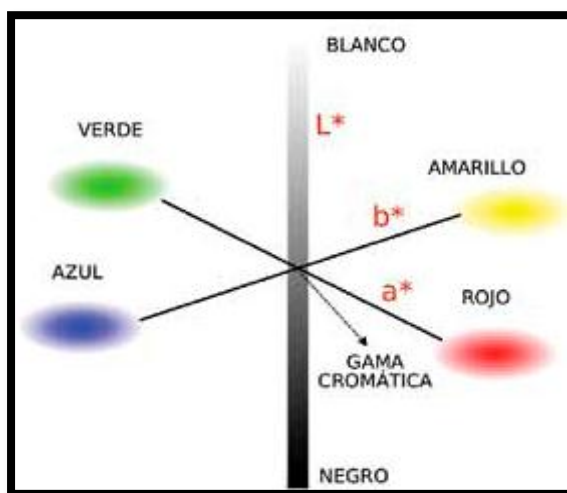


Figura 12. Coordenadas de color [Atzingen *et al.*, 2005].

En la **Figura 12** el sistema de colores CIE-Lab considera los valores de luminosidad L^* van de cero (negro) a 100 (blanco), a^* indica el ángulo HUE (tono) con una escala de verde (-60) a rojo (+60); b^* de igual manera indica el ángulo HUE (tono) en una escala de azul (-60) a amarillo (+60) [Atzingen *et al.*, 2005].

Análisis térmico

El análisis térmico es un procedimiento en las que se mide una propiedad física de una sustancia o de producción de reacción en función de la temperatura; mientras la sustancia se somete a un programa de temperatura controlado. Este método tiene aplicación tanto en el control de calidad como en la investigación de productos industriales como polímeros [Faraldos y Goberna, 2002]. El análisis térmico incluye diferentes técnicas bajo este mismo principio en el **Cuadro 3** se enlistan las que son comúnmente empleadas y su determinación para un análisis de muestra.

Cuadro 3. Análisis térmico [Faraldos y Goberna, 2002].

Determinación	Método (TA)	Abreviación
Masa	Termogravimétrica	TGA
Diferencia de temperatura	Análisis térmico diferencial	DTA
Entalpía	Análisis calorimétrico	DSC
Longitud, volumen	Dialometría	-----
Deformación	Análisis termomecánico	TMA
Corriente eléctrica	Termoestimulación de corriente	TSC

Para esta investigación de la formación de películas comestibles para su empleo en la superficie de naranja se utiliza el análisis térmico diferencial el cual es una técnica en la cual se mide la diferencia de temperatura que existe entre una sustancia y un material de referencia en función de la temperatura la sustancia y el patrón se somete a un ciclo con la temperatura es controlada. En este ciclo la temperatura implica el calentamiento de la muestra y del material de referencia; de esta manera la temperatura de la muestra aumenta linealmente con el tiempo: pero el diferencial de la temperatura este se toma de la temperatura de la muestra y la temperatura de referencia la cual se controla y se representa frente a la temperatura de la muestra para dar un termograma diferencial [Skoog, 2001].

Es una técnica cualitativa que indica la temperatura a la cual tiene lugar el cambio energético y si este proceso es endotérmico o exotérmico; en la **Figura 13** se muestra

la gráfica la cual nos permite detectar por medio de picos las temperaturas a las cuales se dan transformaciones fisicoquímicas de la muestra dependiendo de la forma, orientación del pico [Quinn *et al.*, 2015].

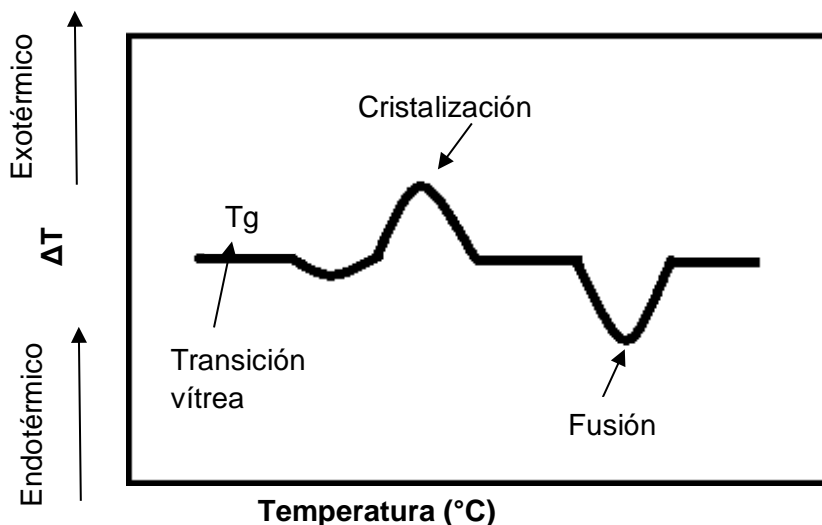


Figura 13. Representación gráfica del análisis DTA [Quinn *et al.*, 2015].

El análisis térmico diferencial nos permite evaluar las mediciones físicas (cambios de fase, cristalina, fusiones, diagrama de fases, cambios de estado líquido y líquidos cristalinos) y químicos (descomposición, deshidratación y formación vítrea de los materiales) [Terrazas-Hernández *et al.*, 2015].

Potencial electrostático

Los biopolímeros cuando están en solución presentan una carga eléctrica, la cual es generada por la presencia de grupos ionizables y se tiene que considerar las condiciones que presenta la solución, como es su concentración, pH y la disponibilidad de contraiones. El potencial zeta se puede considerar de igual manera como la diferencia de potencial entre el medio de dispersión y la capa estacionaria del fluido anexa a las partículas dispersadas. En la **Figura 14** se presenta el gráfico de la potencial zeta; el cual tiene un valor máximo en la superficie de la partícula y va ir disminuyendo gradualmente hasta aproximarse a cero a medida que se aumenta la distancia.

Las partículas dispersadas en un sistema acuoso adquieren una carga de superficie; ya sea por ionización de los grupos de superficie o por la absorción de especies cargadas [Szymczyk *et al.*, 2008].

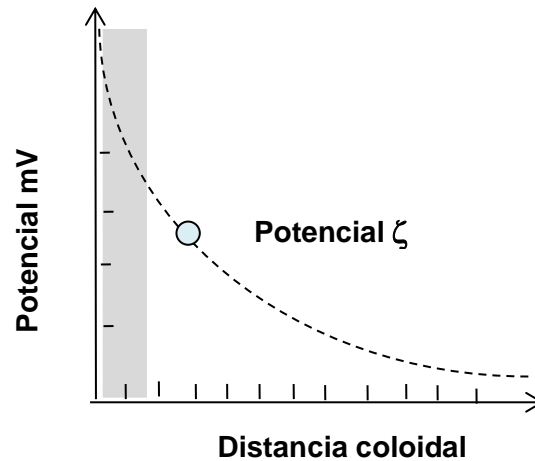


Figura 14. Representación gráfica del potencial zeta [Szymczyk *et al.*, 2008].

Cada coloide contiene una carga eléctrica la cual produce una fuerza de repulsión electrostática mutua entre las partículas adyacentes; si la carga que presenta es lo suficientemente alta, los coloides permanecerán dispersos y en suspensión. Al reducir o eliminar la carga que tiene el efecto opuesto provocando que los coloides se aglomeren y se asienten de manera constante o formen una matriz interconectada. Las partículas cargadas están rodeadas por una capa difusa de iones neutralizantes; esto ocasiona un potencial eléctrico del orden de milivoltios que se desarrolla a través de la capa difusa entre el coloide y la mayor parte del líquido [Malvern, 2004].

Ángulo de contacto

El ángulo de contacto es considerado una propiedad superficial de los sólidos que cuantifica su tendencia a la hidrofobicidad como parámetro que analiza los mecanismos de interacción entre la fase sólida y líquida. Para que se obtenga una lectura precisa los materiales no deben ser granulometrías finas; debido a que se basa en la medida del ángulo que se forma entre una gota o burbuja adyacente a una superficie plana y lisa.

Este análisis fisicoquímico del sistema de flotación que contiene distintas fases, se debe considerar las interacciones entre ellas utilizando las energías interfaciales por unidad de área. También puede favorecer o no la adhesión de una de las fases sobre la otra lo que indica si presenta una mayor o menor mojabilidad [Arenas y Cañasas., 2007].

En la **Figura 15** se aprecia la representación gráfica del ángulo de contacto; cuando se coloca una gota en la superficie sólida; no absorbente este alcanza la condición de equilibrio.

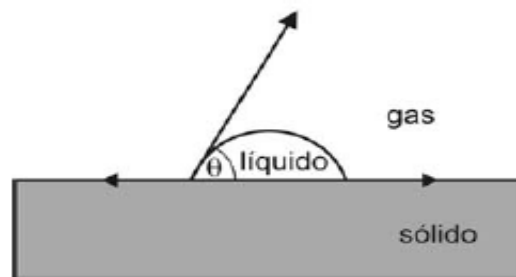


Figura 15. Representación gráfica del ángulo de contacto [Arenas y Cañasas, 2007].

La medición del ángulo de contacto es un método para caracterizar la interacción entre un líquido y una superficie; ya que cuando la gota de agua no penetra en el sustrato la interacción es caracterizada por un ángulo de contacto si la superficie es suave y homogéneo; cuando el líquido penetra o se llega a expandir en el sustrato la interacción puede ser caracterizada por un ángulo de contacto dinámico como función del tiempo [Marmur, 2006]. El ángulo formado entre la interfaz sólido- líquido e interfaz líquido-vapor, cuyo vértice está donde las tres interfaces se encuentran y constituyen el ángulo de contacto como se aprecia en la **Figura 15**.

Técnicas de medición

El ángulo de contacto se mide usando un dispositivo llamado goniómetro; la medición se toma a partir de una proyección sobre una pared generalmente graduada; la cual esta proyección resulta al incidir una fuente de luz sobre la gota dispuesta.

La ecuación de Young describe la interacción que existe entre las fuerzas de adhesión y cohesión se determina con la siguiente ecuación:

$$\gamma^{sv} = \gamma^{sl} + \gamma^{lv} \cos \theta \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde γ^{sv} es corresponde a la tensión superficial de la interfase sólido-vapor; γ^{sl} corresponde a la tensión superficial de la interfase sólido-líquido y γ^{lv} es la tensión superficial de la interfase líquido-vapor por ultimo $\cos \theta$ es el ángulo de contacto.

Cabe mencionar que en la superficie la cual la gota forma el ángulo de contacto mayor que 90° , es una superficie hidrofóbica; esto implica que la mojabilidad, adhesividad y la energía superficial del sólido son bajas en el caso que la superficie sea hidrofílica se observará un ángulo de contacto menor a 90° y la mojabilidad, adhesividad como la energía superficial del sólido serán más altas; se puede apreciar mejor en la **Figura 16** [Barrera, 2014].

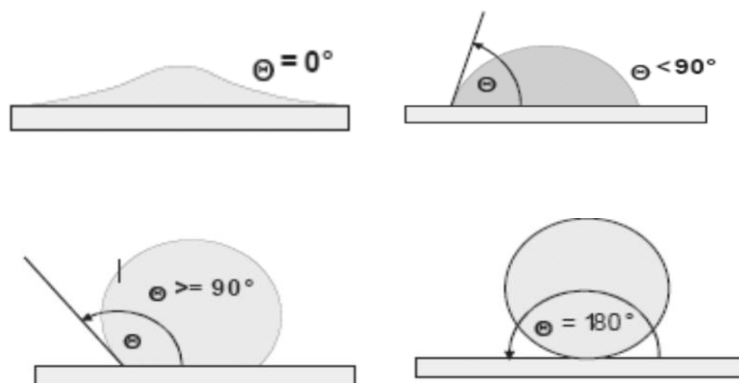


Figura 16. Representación del ángulo de contacto de hidrofóbica e hidrofílica [Barrera, 2014].

Elasticidad

Es la extensión a la que un alimento comprimido retorna a su tamaño original cuando se retira la fuerza. Por medio de la relación entre la fuerza de tensión y la correspondiente a la deformación en el momento en el que se da la ruptura de la película comestible [Sánchez-González et al., 2011].

Un cuerpo es perfectamente elástico si la deformación ocurre instantáneamente con la aplicación de un esfuerzo; esta deformación desaparece completa e instantáneamente cuando se retira el esfuerzo que ha sido aplicado. Se asume generalmente que existe una relación biunívoca entre el estado de esfuerzo y la deformación en los cuerpos elásticos, de aquí que los efectos son dependientes del tiempo y estos sean excluidos [Castro, 2007].

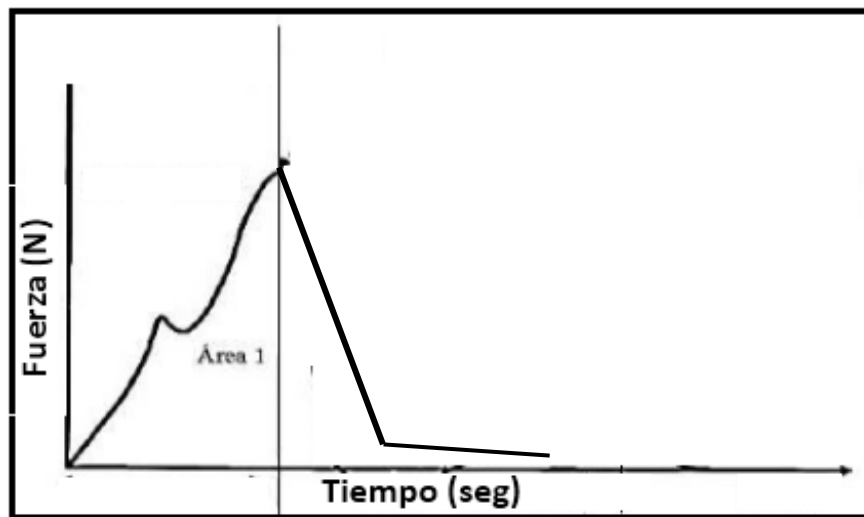


Figura 17. Gráfica del análisis de elasticidad [Castro, 2007].

En la **Figura 17** se observa que, la elasticidad es el momento en el que la muestra recupera entre el término del primer ciclo de compresión y el inicio del segundo; en otras palabras, la elasticidad es la altura que la muestra recupera entre el término del primer ciclo de compresión y el inicio del segundo es lo mismo que (distancia 2/ distancia 1) [Castro, 2007].

Permeabilidad del vapor de agua

Es la cantidad de vapor en gramos que pasa por una unidad de superficie de un material de espesor unitario por unidad de tiempo cuando entre sus paredes existe una diferencia de presión unitaria. El objetivo de la prueba es obtener por medio de aparatos simples, confiables valores de transferencia de vapor de agua a través de materiales permeables y semipermeables, expresadas en unidades adecuadas [Medrano-Carballo

et al., 2010]. Las condiciones de prueba se deben seleccionar según las circunstancias del uso que más se acerque a la utilidad son los siguientes: Uno de ellos es el ámbito este método determina la transmisión de vapor de agua de los materiales a través de los cuales el paso del vapor de agua; se debe considerar el papel, películas de plástico u otros materiales laminados [Medrano.Carballo *et al.*, 2010]. La otra es la división del método ASTM E96/E 96M-05 en este caso la muestra de la prueba es sellada en la boca de los tubos de ensayos las cual contiene un desecante en el fondo y luego se coloca el montaje en una atmosfera controlada. Se pesa periódicamente para determinar la tasa de vapor de agua de circulación controlada en la desecante [Medrano-Carballo *et al.*, 2010]. Como se mencionó anteriormente y como se aprecia en la **figura 18** para tener una mejor idea de cómo se lleva a cabo la técnica de ASTM-E96/E 96M-05/Agua: en este caso la prueba se sella la boca del tubo de ensayo con contenido de agua y se coloca después el montaje en una atmosfera controlada; se pesa periódicamente con ello determinar el vapor de agua de circulación desde el agua hacia la atmosfera controlada [Medrano-Carballo *et al.*, 2010].

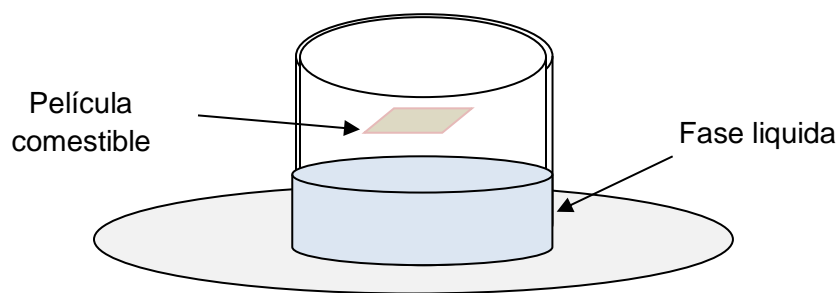


Figura 18. Representación de la medición de permeabilidad al vapor [Medrano-Carballo *et al.*, 2010].

El efecto que presenta el moho cuando existe humedad limitada retarda su proliferación; en cambio para que se da más rápido la proliferación de moho este necesita la presencia de una herida o una abertura en la corteza de la naranja para el inicio de la infección; debido a que las heridas son un factor determinante en la resistencia y susceptibilidad de la naranja a la infección [Ballester, 2007].

Justificación

En México se busca utilizar y desarrollar nuevos métodos de conservación en la materia fitosanitaria con ello impulsar el acceso a mercados como la Unión Europea, Asia-Pacífico y una mayor parte de Estados Unidos. Por ello el desarrollo de películas comestible ha tomado mucha importancia ya que el uso de este tipo de materiales permite preservar y retrasar el deterioro de los alimentos lo que conlleva a la reducción de pérdidas aproximadamente de 350 millones de pesos [SAGARPA, 2016]. En caso de que México quiera seguir ampliando el comercio exterior; las exportaciones de naranja en 2015 tuvieron un total de 17.7 millones de dólares, con un volumen de 49,2 mil toneladas, las cuales fueron comercializadas en Estados Unidos, Canadá, Reino Unido y Japón; además se explora abrir mercados potenciales en Alemania, Rusia, Francia, Arabia Saudita y Hong Kong; por ello la importancia la aplicación de nuevas tecnologías de conservación como lo es la película comestible para prevenir la proliferación de hongos, aumentar su tiempo de vida y mejorar la calidad [SAGARPA, 2016]. La naranja es un fruto no climatérico y por consiguiente durante la maduración su tasa de respiración y niveles de producción de etileno son bajos; por ello se emplean distintos métodos de conservación como son las atmosferas controladas, escaldado, tratamientos a base calor o frío, pero hoy en día los consumidores quieren alimentos menos procesados [Kader, 1999].

Según Ibargüen et al (2015), consideró que la utilización de películas comestibles inhibe la proliferación de hongos, se realizó la caracterización de los materiales que forman la matriz polimérica mediante la potencial zeta, pH, calorimetría, ángulo de contacto, y texturales; para alargar la vida útil de la naranja. Esta investigación fue desarrollada tomando en cuenta la problemática anterior, que es la pérdida monetaria que se presenta en la naranja por la presencia de podredumbre; por ello se elaboró una película comestible a base de almidón de papa, alginato de sodio, proteína de suero de leche con extracto de aloe vera, que aporte y mantenga las características de calidad deseables por el consumidor como el color, sabor, sólidos solubles para alargar la vida útil de la naranja.

Capítulo III Objetivos

Objetivo general

Evaluar el efecto de diferentes concentraciones de extracto de aloe vera e hidrocoloides, mediante pruebas fisicoquímicas para su aplicación sobre superficies de naranja para preservar su calidad.

Objetivos particulares

- ❖ Caracterización de almidón de papa, alginato de sodio y proteína de suero de leche mediante pruebas fisicoquímicas (pH, potencial zeta) para su potencial aplicación en la formación de películas comestibles.
- ❖ Determinar la formulación para una solución formadora de a base de almidón de papa, alginato de sodio y proteína de suero de leche adicionada con extracto de aloe vera en la formación de una película comestible.
- ❖ Caracterizar una película comestible mediante pruebas fisicoquímicas (calorimetría, pH, potencial zeta) con la finalidad de preservar la calidad de la naranja.
- ❖ Analizar el efecto de las películas comestibles como potencial inhibidor del daño postcosecha en superficies de la naranja por medio cualitativo (color, °Brix) para prolongar su vida útil.

Hipótesis

La adición de extractos de aloe vera en películas comestibles proporcionará propiedades mecánicas y físicas adecuadas y logrará preservar la calidad postcosecha cuando se aplique sobre la superficie de la naranja.

Capítulo IV Materiales y métodos

Caracterización de los materiales (almidón de papa y proteína de suero de leche) mediante pruebas (viscosidad, pH, potencial electrostático); estas pruebas se realizaron a los materiales por separado, con el fin de conocer cómo interactúan juntos [Ibargüen, 2015].

Materiales

El gel de *aloe vera* (grado alimenticio) fue adquirido en tienda naturista (Estado de México). El aislado de proteína de suero de leche, alginato de sodio fueron proporcionado por (Davisco Foods International Inc. USA.), el almidón de papa se compró en (AVEBE, S.A. DE CV, México), el glicerol como plastificante fue adquirido en material de laboratorio (México); por último, la naranja se obtuvo del mercado local (Estado de México).

Caracterización de la naranja

Acondicionamiento de la materia prima

La materia prima se adquirió en el mercado de San Cristóbal Ecatepec, México, las naranjas fueron seleccionadas con base al tamaño, color, uniformidad y que no presente ningún daño visible. Posteriormente se lavaron y enjuagaron con abundante agua durante un tiempo de 25 min; con la finalidad de asegurar la eliminación total de la cera en la superficie.

Elaboración y caracterización de las películas comestibles

Preparación de la solución formadora de las películas

Se prepararon soluciones acuosas a partir de almidón de papa, alginato de sodio, proteína de suero de leche, glicerol, y empelando como agente antimicrobiano gel de *aloe vera*, utilizando las concentraciones que se expresan en el **Cuadro 4**

Cuadro 4 Concentraciones para la solución formadora de películas.

Material	Concentración (%)	
	Formulación 1	Formulación 2
WPI	4	6
Glicerol	10	10
Aloe vera	75	50
Almidón de papa	2	2
Alginato de sodio	1	2

Elaboración de la película comestible

Se tomaron 30 mililitros de la solución formadora y se vertieron en placas de vidrio de 20 x 10 centímetros, las cuales se colocaron en una vitrina a temperatura ambiente durante un tiempo de 24 horas. Las películas comestibles formadas fueron retiradas de las placas y almacenadas en una caja hermética en un periodo de 3 días a temperatura ambiente.

Acondicionamiento de las películas comestibles

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%.

Aplicación de la película comestible en la naranja

La técnica de aplicación utilizada es la de inmersión, donde las naranjas son sumergidas en cada una de las formulaciones con un tiempo de 3 minutos, posteriormente fueron secadas con ventilación.

Métodos

Análisis Colorimétrico

El color de la naranja se determinó con y sin película comestible con el uso del *colorímetro Milonta CR-300*; tomando tres lecturas sobre el eje ecuatorial de superficie de la naranja con y sin película; el colorimétero medie el color a través de tres filtros de banda ancha correspondientes a las curvas espectrales de sensibilidad.

Se utilizó la escala CIELab, mediante las coordenadas de luminosidad (L^*) representa la diferencia entre blanco y oscuro, los componentes a^* y b^* representan coordenadas de color, de los datos obtenidos se calcula croma y Angulo HUE para obtener el valor de ΔE , se calcula de la siguiente manera:

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

el cual nos indicará el cambio de color de las diferentes formulaciones de la matriz polimérica, y también como caracterización de la naranja como una medida de control de calidad [Mathias-Rettig *et al.*, 2014].

Evaluación del pH

El análisis de pH se utiliza el *potenciómetro pHs-p3 pH Meter (JP Selecta, España)* se basa en las medidas del potencial de celdas electroquímicas en ausencia de corrientes apreciables, este instrumento de medición de pH tiene por objeto transformar el potencial del electrodo en una indicación correspondiente al pH de la solución a medir [Rodríguez-Alzate *et al.*, 2012].

Para la medición del pH de la naranja, almidón de papa, proteína de suero de leche se utilizaron 40 mililitros de cada muestra, el pH mide los iones de hidrogeno mediante la generación de una pequeña cantidad de tensión en el sensor; se tomaron por triplicado las lecturas para cada tratamiento. [González y Morales, 2017].

Evaluación de la acidez titulable

La acidez se determinó de acuerdo con la norma NMX-F-118-1984; donde indico que se ocupó un matraz Erlenmeyer de 250 mililitros se colocó una alícuota de 10 mililitros de jugo al cual se le adiciono 40 mililitros de agua destilada; mezclándolos durante un tiempo de 2 minutos y agregar de 2 gotas de fenolftaleína al 0.1%. En la bureta se colocó la solución estándar de NaOH al 0.1 N; la acidez del producto se expresa como el porcentaje del peso del ácido predominante que se encuentra en la muestra [Mathias-Rettig *et al.*, 2014].

Evaluación de solidos solubles

El índice de refracción fue evaluado con el método que se basa en la medida directa del ángulo de refracción; se determinó mediante un refractómetro digital en el cual el valor es obtenido de manera directa. Para la determinación de los °Brix se utilizó el *refractómetro digital RX-500 (Atago 325 Estados Unidos)* de la naranja se colocó una gota el cual nos genera el valor obtenido. Esta técnica es importante su realización ya que los °Brix representan el porcentaje de sacarosa que hay en el jugo de la naranja y es un parámetro indicativo de la madurez de la naranja ya que los valores se incrementan en el periodo de maduración [Aguilar-Méndez y San Martin, 2012].

Evaluación del espesor

El espesor de la película comestible, se midió mediante un *micrómetro digita Mitutoyo Digimatic de Alta Exactitud*, también es llamado tornillo de Palmer. Se tomaron tres mediciones en tres puntos diferentes de la superficie de la película comestible; los tres puntos fueron en las esquinas y en el centro esta prueba sirvió para la caracterización fisicoquímica de la película comestible; tomando tres mediciones para cada formulación [Ibargüen *et al.*, 2015].

Análisis térmico

Se realizó un análisis térmico diferencial (DTA); se basa en los cambios de masa como resultado de una variación de temperatura o por someter un material a una temperatura establecida durante un periodo definido. Los cambios de masa identificados permiten

determinar bajo qué condiciones los materiales se descomponen [Rodríguez y Villegas, 2012]. De igual da conocer la resistencia de los materiales utilizados para la formación de la película comestible esta determinación en las películas comestibles va a definir las condiciones de temperatura a la cual los materiales comienzan a descomponerse [Espita-Pérez *et al.*, 2013].

El calorímetro *TGA-DTA-2960 DT* tiene una balanza se coloca una muestra de 3-10 µg que es la parte clave del equipo, es la que registra la masa inicial de la muestra, los cambios de masa durante el análisis y la masa final de la muestra con una precisión de +/- 1 µg. El horno infrarrojo es el que provee la temperatura de 20 -120°C de análisis y regula la tasa de variación de temperatura; en la cámara del horno hay un sensor de temperatura de alta precisión que registra la temperatura constante y que evita que el sistema sobrepase la temperatura definida. Esta técnica es empelada para caracterizar la desintegración y estabilidad térmica de los diversos materiales utilizados [Rodríguez y Villegas, 2012].

Análisis del potencial electrostático

La medición del potencial electrostático sirve para conocer cuál es el margen en el cual todavía se puede maniobrar los componentes; ya que los polímeros en soluciones contienen una carga eléctrica [Porras, 2009]. Para esta prueba cada uno de los biopolímeros se dispersó por separado en agua destilada a las concentraciones de 0.1% (p/p) para alginato de sodio, almidón de papa, *aloe vera* y para proteína de suero de leche; después de su preparación fueron almacenadas durante 24 horas para que alcanzaran una adecuada hidratación. Para el potencial electrostático se utiliza el equipo *Zetasizer Nano Zs* (*Malvern Instruments Ltd., Worcestershire, UK*) para la solución acuosa de proteína de suero de leche se adecuo a diferentes pH (3.30 a 7.33); el pH de la solución acuosa de la proteína de suero de leche se ajustó mediante el uso de soluciones valoradas de ácido (HCl 0.1N) y base (NaOH 0.1N); el objetivo de esta prueba es conocer sus cargas electrostáticas y con ello comprobar si existe o no interacción entre los biopolímeros los resultados se expresan en movilidad electroforética.

Evaluación del ángulo de contacto

El ángulo de contacto para su medición se usa el *goniómetro* (*Camp-Plus Micro X6 110V*, Tantec, USA) el ángulo de contacto es un parámetro fundamental para caracterizar las propiedades de hidrofiliicidad, humectación y biocompatibilidad en los materiales. El funcionamiento de la medición de ángulo de contacto se basa en que se coloca una gota sésil mide la mojabilidad de la superficie solida por un líquido; se mide el ángulo formado por el plano tangente de la interface liquido-gas y el plano formado por el sólido en contacto trifásico sólido, liquido-gas y el ángulo obtenido para cada tipo de contacto se expresa en radianes [Gea Jódar, 2006].

El funcionamiento se basa en la medición del ángulo de contacto mediante una proyección de una gota sobre la superficie graduada; el quipo permite enfocar la proyección, así como modificar el posicionamiento sobre la placa en la cual se coloca la película comestible y se deja caer la gota sobre ella [Porras, 2009].

Análisis de elasticidad

La elasticidad o altura que la película comestible recupera respecto a la que tenía inicialmente durante el tiempo que transcurre desde que acaba la primera compresión hasta que empieza la segunda. Es adimensional para esta prueba se utiliza el *Texturometro EZ-S SHIMADZU* con una distancia de 15 mm y una velocidad de 30 mm por minuto, se ocupó una geometría esférica de 1mm [Hleap, 2010].

Evaluación de permeabilidad al vapor de agua

La permeabilidad del vapor se realizó de acuerdo a la norma ASTM E96-05, ISO 7783 y NFT 30-018; utilizando el método de la copa húmeda; pero se cambió la técnica; en vez de copas se utilizan frascos herméticos los cuales se llenan con agua destilada hasta alcanzar una distancia de 6 mm medidos desde el borde superior, la película fue cortada y colocada sobre una malla de igual diámetro. Posteriormente se sellarán con silicón los bordes de contacto entre la película y el frasco; la pérdida o ganancia en el peso de las películas comestibles a las dos diferentes formulaciones fueron monitoreadas con respecto al tiempo, la medición del peso fue registrada por una balanza analítica con precisión de 0.0001g; pesando las películas comestibles en un periodo de tres días. Cabe mencionar que la permeabilidad al vapor de agua se define como la velocidad del vapor de agua por unidad de área del material y por unidad de diferencia de presión que existe entre dos superficies específicas a condiciones determinadas de temperatura y humedad; para comprender más como se realiza esta prueba en el trabajo de investigación ir a la **Figura 18** [Escobar *et al.*, 2009]. En el siguiente capítulo se presentan los resultados obtenidos durante la investigación, así como su discusión.

Capítulo V Resultados y Discusión

Empleando la metodología descrita anteriormente, se presenta los resultados obtenidos de la caracterización de la materia prima (naranja), como de los biopolímeros (almidón de papa, alginato de sodio, proteína de suero de leche) y por último la caracterización de la película comestible.

Análisis de color y pH

La calidad de la fruta en este caso la naranja radica en el color del fruto; este parámetro se considera como maduración organoléptica en la cual es la etapa donde se alcanza la característica del color, aroma y sabor; donde da lugar a las transformaciones físicas, bioquímicas y fisiológicas que determinan la calidad y su vida útil. La función del colorímetro es describir la coloración de la epidermis de la naranja en la cual se midieron en varios puntos de su superficie, hay dos tipos de colores el cual se considera al primario como el dominante en la superficie de la fruta y el color secundario es aquel se solo se presenta en ciertas zonas del fruto siendo denominado como moteado.

Cuadro 5. Resultados de los valores de ΔE y pH de la naranja.

Muestra	ΔE	pH
Naranja	88.1270 \pm 2.4	2.8
	90.8364 \pm 2.4	3.4
	93.9891 \pm 2.4	3.6
Media	90.9842	3.3
D.S	2.4	0.34

El color inicial se ocupará para hacer el cálculo de ΔE como se muestra en el **Cuadro 5**, los datos de ΔE se tomaron como parámetros de control para posteriormente ser

comparados entre el producto sin película comestible y el producto con película comestible. Cabe mencionar que se encuentran dentro del intervalo teórico que va de 95 a 100 de variedad de naranja de valencia lo que sugiere que al fruto se le aplico etileno de forma exógena lo que provoca el cambio de coloración verde a una coloración anaranjada, de igual manera muestra un incremento en la tasa respiratoria [Agustí,2010]. Con respecto a los valores de pH experimentales de la naranja se considera como indicador de la madurez; se obtuvieron intervalos próximos a los valores teóricos que van de un rango de 2-5, el pH de la naranja que se muestra en el **Cuadro 5** con valores que van de 2.8 a 3.6 van aumento debido al estado fisiológico que presenta la naranja este punto se encuentra en el estado de maduración perfecto [Ladaniya, 2008],. Como se menciona en los antecedentes la superficie de la naranja se puede ver afectada por la presencia de podredumbre y del moho *Penicillium digitatum* el cual necesita un pH óptimo de 4 para que exista la presencia de éste y también que exista daños en la cáscara de la naranja para una rápida proliferación del moho; por ello con la ayuda de la película comestible ayuda a preservar la calidad y prevenir la proliferación del *Penicillium digitatum* debido a su permeabilidad al vapor de agua.

Acidez titulable

La acidez titulable se determinó para medir la concentración del ácido orgánico presente en la naranja; ya que los ácidos orgánicos influyen en el sabor, color, la estabilidad microbiana y en la calidad para la conservación, con tres repeticiones.

Cuadro 6. Resultados del % de acidez de la naranja.

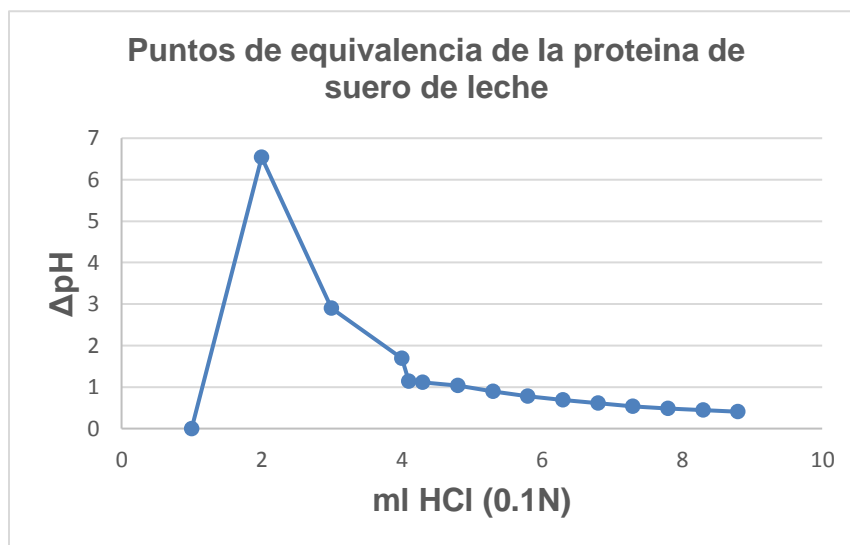
Muestra	Ácido orgánico	Meq	% de Acidez
Jugo de naranja	Ácido cítrico	0.64	1.27%
			1.27%
			1.13%
Media			1.22
D.S.			0.07

La medición de la acidez titulable nos indica su maduración ya que la concentración del ácido cítrico disminuye durante la maduración como consecuencia de la dilución provocada por el aumento del tamaño del fruto y de la metabolización; este descenso de la concentración de ácido cítrico y el incremento gradual de los azúcares durante el desarrollo del fruto. En este caso con los valores que se muestran en el **Cuadro 6**, el valor teórico es de 1.08; y los valores obtenidos experimentalmente se encuentran por arriba con un intervalo de 0.8-1.0 lo que sugiere que con respecto a la acidez que no se encuentra en la maduración perfecta, debido a que el etileno no ha alcanzado su nivel máximo, ya que a medida que el fruto madura se reduce la acidez. Se presentan los resultados de las actividades preliminares para los polisacáridos.

Puntos de equivalencia proteína suero de leche (WPI)

Los puntos de equivalencia se determinaron mediante una derivada numérica del pH en función del volumen de HCl ($\Delta\text{pH}/\Delta V$), como se observa en la **Gráfica 2** se obtiene a partir del punto de inflexión de la curva que presenta el cambio de pH.

- Puntos de equivalencia de la proteína de suero de leche



Gráfica 2. Puntos de equivalencia de la proteína de suero de leche.

En la **Gráfica 2** se puede apreciar que al agregar 2 mililitros de HCl con un pH de 6.54 es donde se empieza a neutralizar la proteína de suero de leche. Lo que indica que las fuerzas electrostáticas son más bajas y que las moléculas del agua interactúan menos con la β -lactoglobulina, ya que la proteína se encuentra de forma monomérica presenta

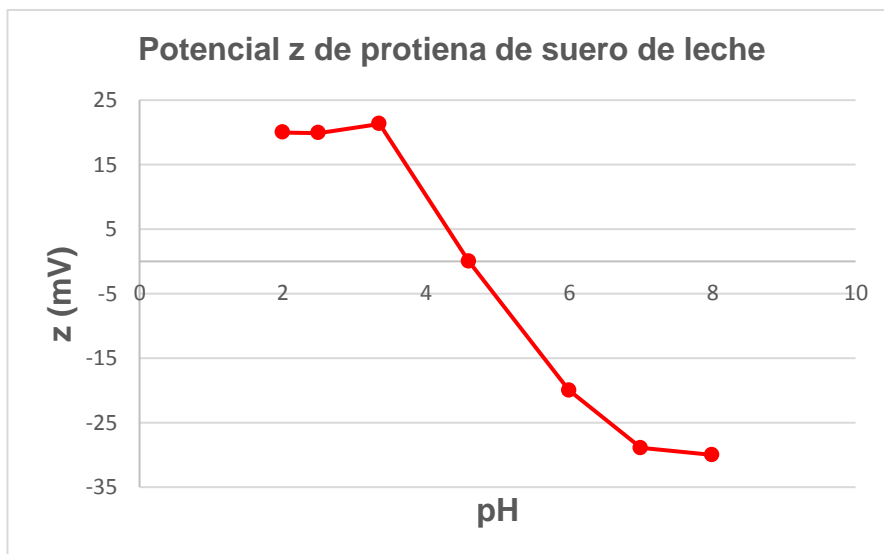
gran estabilidad; a partir del punto de inflexión y cuando el pH es próximo a 3.5 - 5.2 se empiezan a formar tetrámeros/octámeros reversibles los cuales no presentan ningún cambio en la compactación de la proteína. La adición de mililitros de solución de HCL a la WPI al ajustar el pH se da una interacción que llega a influir en el potencial zeta; favoreciendo la interacción de la proteína de suero de leche con cargas opuestas cambiando la interacción de los grupos funcionales, con ello se logra ocultar los grupos funcionales presentes en la matriz logrando que no interactúen con otros grupos funcionales para limitar. Otra prueba como actividad preliminar de los polisacáridos es el potencial zeta que presentan.

Potencial zeta

El acomodo de cargas que están presentes en la interfase sólido-líquido y el balance de los iones de carga contraria en la superficie sólida hace referencia a la doble capa eléctrica; la cual también se conoce como la capa difusa. El potencial electrostático divide la doble capa y la capa difusa esta es visualizada como una atmosfera cargada rodeando al hidocoloide. Se realizó la potencial zeta para los hidocoloides utilizados en la solución formadora de películas comestibles; también se llevó acabo con diferentes pH como en el caso de la **Gráfica 3** de la proteína de suero de leche fue con un pH de 3.35 y de 7, para el caso del alginato de sodio tuvo con un pH de 2 y 7.9; pero para el aloe vera y el almidón de papa no se cambió su pH [Callejas, 2012].

Para la WPI se le aplicó un campo eléctrico con un voltaje a la solución la cual se mueve con la velocidad dando como relación el potencial zeta el cual se obtiene por la movilidad electrofóretica se relaciona con la estabilidad y el comportamiento de la proteína de suero de leche.

A continuación, se presenta el comportamiento de la proteína de suero de leche en la **Gráfica 3**.



Gráfica 3. Potencial zeta experimental de la proteína de suero de leche.

Se puede apreciar en la **Gráfica 3**, la potencial zeta experimental de la proteína de suero de leche tienen un comportamiento semejante al que se presentó teóricamente; hay que mencionar que por encima de un pH de 7.5 y por un pH por debajo de 3.5 la β -Lactoglobulina se encuentra en forma de monómeros mientras que si alcanza un pH entre 3.5 y 5.2 tendrá una forma de octómeros; la proteína de suero de leche va interactuar con el alginato de sodio.

Se observó que en el punto isoeléctrico ($pI=4.67$) la proteína de suero de leche deja de tener carga e interrumpe el campo eléctrico, provocando que los enlaces involucrados en la estabilización de las estructuras secundarias y terciarias se despliegan favoreciendo su interacción entre los grupos hidrófobos, lo que hace que se reduzca a interacción proteína - agua. Cabe mencionar que para valores de pH por debajo y por encima del punto isoeléctrico las condiciones de la proteína de suero de leche le proporcionar cargas netas positivas o negativas lo que hace que más moléculas de agua interactúen con la proteína de suero de leche.

Potencial zeta del almidón de papa y del aloe vera

El potencial zeta es un parámetro que mide la magnitud de la repulsión/atracción electrostática entre el almidón de papa y el aloe vera; para conocer el tipo de carga que presentan si esta es lo suficientemente alta los hidrocoloides permanecerán dispersos, si es una carga menor formaran una matriz interconectada, en este caso no se cambió el pH en ninguno de los dos.

En **Cuadro 7** para el caso de la potencial zeta del almidón se presenta un potencial zeta negativo de -14.4 mV, el cual no muestra ningún cambio en un pH de 2 a 10, y también se mantiene con un potencial zeta de -15 o 17 mV.

Cuadro 7. Potencial zeta del almidón de papa y del aloe vera.

Polímero	Potencial Zeta (mV)	mV	Área (%)
Almidón de papa	-14.4	-14.1	98.5
		-36.2	1.5
Extracto			
Aloe vera	-15.0	-19.4	52.8
		-9.71	47.2

Pero cabe mencionar que no se cambió el pH del almidón de papa, pero se encuentra solo a 0.6 alejado del intervalo de los valores teóricos. Como el almidón de papa muestra un valor de -14.4 mV presenta un carácter aniónico quiere decir que los grupos aniónicos presentes en el almidón se reacomodan a través de todo el granulo para bloquear la asociación molecular por medio de la repulsión iónica lo que le confiere la estabilidad de la película comestibles.

Un estudio realizado por Marsh *et al.* (2000) utilizo almidón de papa mostrando un potencial zeta de -18 mV en todos los valores de pH en un rango de pH 2-10, pero en este estudio se le añadió un tratamiento con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) en ese caso se encontró con un potencial zeta constante de -11 mV en un rango de pH de 2.5-10.

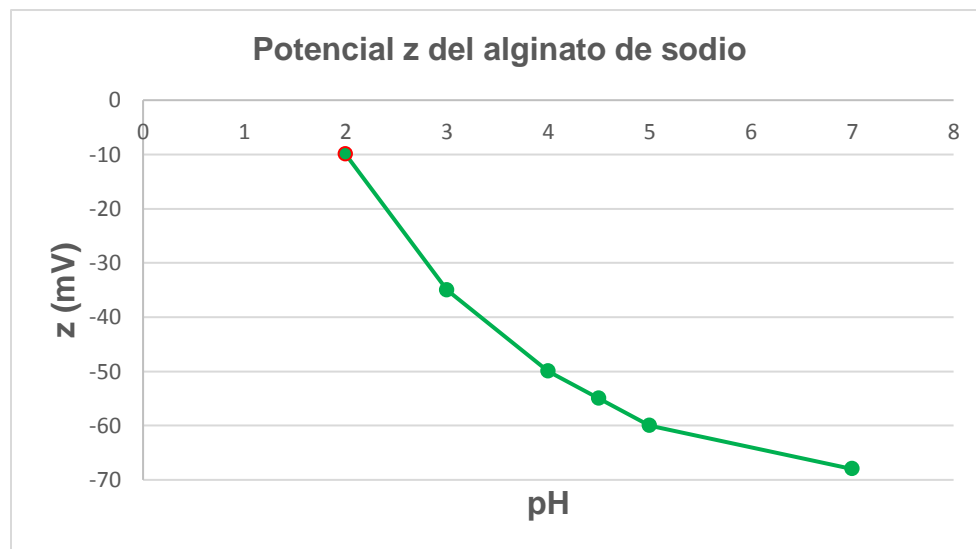
Por otro lado, en el **Cuadro 7** para el aloe vera tiene una carga negativa de -15 mV; tomando en cuenta los resultados del potencial zeta del aloe vera se clasifica como inestable

Como se mencionó anteriormente con los resultados del potencial zeta de todos los materiales para la formación de la película comestible si existen interacciones como la proteína de suero de leche con el alginato de sodio interactúan entre si debido a que se da la protonación carboxilos en el manurónico y los grupos guluronicos. De la misma manera el alginato de sodio tiene interacción con el gel de *aloe vera*, almidón de papa ya que contiene iones calcio en su composición, estos comienzan a reemplazar al sodio en los extremos carboxílicos del alginato; por su valencia múltiple estos cationes actúan atrayendo electrostáticamente los extremos aniónicos de dos cadenas adyacentes de alginato [León, 2014].

Potencial zeta del alginato de sodio

El potencial zeta se midió con el fin de comprobar la carga de superficie del alginato de sodio ya que contribuye con la magnitud de atracción o repulsión de sus partículas.

A continuación, se presenta la **Gráfica 4** el potencial zeta del alginato de sodio en suspensión, en este caso si se cambió el pH que presenta en alginato de sodio.



Gráfica 4. Potencial zeta experimental del alginato de sodio.

Se puede apreciar que el potencial zeta del alginato de sodio se mantuvo negativo en intervalos de pH de 2-7; cambiando fuertemente a -70 mV a pH de 7 y a ligeramente negativo de -10 mV a pH 2 como se mencionó anteriormente en el potencial zeta de la proteína de suero de leche estos hidrocoloides interactúan entre si esta interacción se puede llevar a cabo porque existe la protonación de los grupos carboxilos en el manurónico y los grupos guluronicos. El efecto que tiene en la formación de la película comestible es que le va a conferir la flexibilidad. Comparado con el trabajo de Zhang *et al.* (2016) presenta el potencial zeta de un sistema mixto entre la proteína de suero de leche y el alginato de sodio; lo que sugiere que a valores de ph mas bajos, el potencial zeta mixto tiende hacia las moléculas del alginato, lo que sugiere que se formo un complejo electrostático el cual es dominado por la presencia de moléculas aniónicas del alginato.

Caracterización de la película comestible

La película comestible para la protección de la superficie de naranja, para la solución formadora de la siguiente manera se utilizó (almidón de papa, proteína de suero de leche, alginato de sodio con extracto de aloe vera), se prepararon dos formulaciones de la siguiente manera.

Cuadro 8. Formulación de la solución formadora para películas comestibles.

Material	Concentración (%)	
	Formulación 1	Formulación 2
WPI	4	6
Glicerol	10	10
Aloe vera	75	50
Almidón de papa	2	2
Alginato de sodio	1	2

Las concentraciones de las formulaciones se basaron en el estudio preliminar del potencial zeta de los compuestos; para determinar la carga eléctrica de cada biopolímero (almidón de papa, proteína de suero de leche, alginato de sodio y extracto de aloe vera) con ello conocer su interacción. De igual manera por un estudio realizado por Courtney (2012), se demostró que las películas comestibles formuladas con alginato de sodio al 1-3% muestran propiedades mecánicas y de barrera; en el caso del almidón al 2% presenta propiedades de propiedades mecánicas y físicas. El trabajo elaborado por Ibargüen *et al.* (2015) utilizó aloe vera como base en la elaboración de películas comestibles y agregó alginato de sodio obtenido como resultado que la formulación 85:15 de aloe vera/alginato de sodio presentan características físicas, mecánicas y de barrera. Como se observa en las gráficas del alginato de sodio, proteína de suero de leche, almidón de papa y del extracto de aloe vera; estos compuestos muestran las siguientes interacciones el alginato de sodio, almidón de papa y el extracto de aloe vera debido a su contenido de iones calcio en su composición; estos empiezan a reemplazar al sodio que están presentes en los extremos carboxílicos del alginato de sodio; sus cationes actúan atrayendo electrostáticamente los extremos aniónicos.

Angulo de contacto de las películas comestibles

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 comestibles formadas con (almidón de papa (AP), alginato de sodio (AS), proteína de suero de leche (WPI) y extracto de aloe vera (AV)) a las dos diferentes formulaciones se obtuvieron los siguientes resultados.

Cuadro 9. Resultados del ángulo de contacto de las películas comestibles.

Formulación	Angulo de contacto	\bar{x}	D.S.
75% de AV	40		
4% de WPI	36	42	5.89
2% de AP	50		
1% de AS			
50% de AV	30	29	0.82
6% de WPI	29		
2% de AP	28		
1% de AS			

En el **Cuadro 9** se observó que los intervalos de los ángulos para las dos diferentes formulaciones son menor de 90° , lo que quiere decir que no hay interacción de la película comestible con las moléculas de agua; quiere decir que los grupos hidrófobos no permiten que el agua se extienda. Estas películas comestibles poseen superficies hidrofílicas, ya que exhiben alguno de contacto para la formulación 1 (75% de aloe vera, 4% de WPI, 2% de almidón de papa y 1% de alginato de sodio) de $\theta < 42$ y la formulación 2 (50% de aloe vera, 6% de WPI, 2% de almidón de papa y 2% de alginato de sodio) $\theta < 29$. La hidrofobicidad de la superficie se ha utilizado como la sensibilidad que tiene la proteína de suero de leche a la humedad; esta generalmente se evalúa a partir del contacto entre la superficie de la película comestible y la gota de agua; las películas comestibles que utilizan proteína de suero de leche tienen valor de ángulo de contacto mayores esto debido a que estas son más repelentes al agua. Por otro lado, las películas formadas con alginato de sodio en un estudio realizado por Fazilah *et al.* (2011) demostró que este tiene una alta solubilidad esto puede ser explicado por su

naturaleza hidrofílica del compuesto. Por lo tanto no propician las condiciones adecuadas para que se dé la proliferación del moho *Penecillium digitatum* ya que preserva la calidad de la naranja; retardando que este llegue a su pH óptimo de 4 para que empiece su crecimiento.

Espesor

Para la medición del espesor en las películas comestibles se midió en el centro y en las esquinas derecha e izquierda, y se obtuvieron los valores promedio de tres repeticiones.

Cuadro 10. Espesor de las películas comestibles.

Formulación	Espesor	Espesor esquina	Espesor esquina
	centro (mm)	derecha (mm)	izquierda (mm)
75% de aloe vera	0.00790	0.00785	0.00730
50% de aloe vera	0.00965	0.00715	0.00800

Existe una diferencia significativa con respecto al espesor de las diferentes formulaciones esto debido al manejo que se tuvo al ser transportadas a la caja hermética en cual tenía una humedad relativa de 88% con bromuro de sodio; afectando la uniformidad de las películas comestibles.

Como se observa en el **Cuadro 10** no hay una diferencia significativa con respecto al espesor de las dos formulaciones de 50 y 75% de extracto de aloe vera; el espesor está relacionado con la cantidad de glicerol debido a la estructura de este que permite la interacción con el resto de los biopolímeros por medio de los puentes de hidrógeno que reducen el entrecruzamiento entre la proteína de suero de leche para crear una red proteica menos compacta; la medición del espesor es importante ya que puede llegar a afectar las propiedades mecánicas y de barrera de la película comestible; con ello se puede comprobar si retarda la aparición de podredumbre en la superficie de la naranja.

Permeabilidad del vapor de agua

Una de las propiedades más importantes en la elaboración de las películas comestibles es la permeabilidad del vapor de agua. Para obtener el valor de PVA se debe de graficar en el eje de las x los días y el eje de las y el peso; después se obtiene la pendiente, con la siguiente formula se obtendrá el valor:

$$P = \frac{G \cdot L}{A \cdot \Delta p}$$

Donde G es el valor de la pendiente, L es el espesor, A el área y Δp el peso inicial menos el peso final.

Cuadro 11. Permeabilidad del vapor de agua

Formulación	Día	Peso (g)	PVA (g h ⁻¹ m ⁻² Pa ⁻¹)
		\dot{x}	
75% de aloe vera	1	0.1742	-----
	2	0.40050	0.2263
	3	0.4669	0.0664
50% de aloe vera	1	0.2112	-----
	2	0.3341	0.1229
	3	0.3565	0.0224

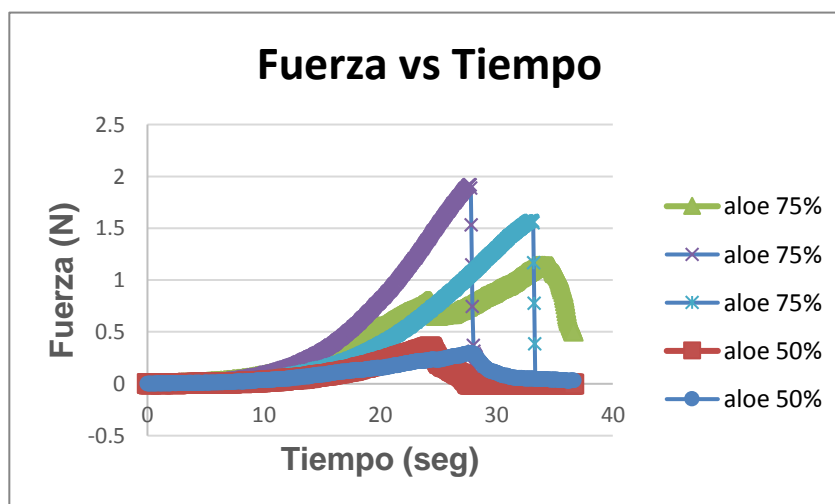
En el **Cuadro 11** se observan los valores de permeabilidad del vapor de agua; hay que destacar que solo se realizó 3 mediciones esto a que las películas comestibles ya no pueden ser manipuladas para la medición del peso ya que absorben la humedad lo que indica que las dos formulaciones son débiles a la resistencia del agua; la película comestible con aloe vera como es de carácter hidrofóbico el cual permite la interacción con el agua mientras con la adición del alginato de sodio y proteína de suero de leche, almidón de papa reduce la permeabilidad al vapor de agua; como se mencionó anteriormente interactúan con los iones calcio disminuyendo así la disponibilidad de los

grupos hidrofóbicos inhibiendo la interacción con el agua. Un estudio realizado por Ibargüen *et al.* (2015) en películas comestibles con aloe vera y alginato de sodio presento una reducción en la permeabilidad al vapor cuando aumenta la concentración de alginato de sodio, se atribuyó a las posibles interacciones entre el aloe vera y los componentes contenidos en el alginato, provocando que disminuya la disponibilidad de los grupos hidrófilicos del gel aloe vera, por lo que se reduce la transmisión del vapor del agua.

Una vez que determinada la concentración de las películas comestibles se procede a probarlas en la superficie de la naranja para observar el funcionamiento con las siguientes pruebas.

Elasticidad de las películas comestibles

El fenómeno de elasticidad se puede ver en la **Grafica 5**, donde se comparó las dos formulaciones de la película comestible las cuales se aprecian en el **Cuadro 8**; mientras más concentración de polisacáridos y proteínas; mayor será la tendencia de las moléculas en la película a unirse y esto resulta en un fuerte enlace químico; este fenómeno se produce el parámetro de elasticidad.



Grafica 5. Fuerza contra tiempo.

La elasticidad que presentan las películas comestibles estudiadas se debe a los componentes que integran la matriz polimérica (polisacáridos, antimicrobiano y plastificantes); lo que quiere decir que al realizar la prueba mecánica se pudo observar que ambas resisten la fuerza que aplica la geometría esférica de 1 mm, con una distancia de 15 mm y una velocidad de 30 mm por minuto; esta resistencia se atribuye a la composición que contiene el glicerol, el cual le proporciona flexibilidad por la disminución de la atracción intermolecular entre las cadenas poliméricas. Sin embargo, la película comestible formulada con 50% de aloe vera, 6% de proteína de suero de leche, 2% de alginato de sodio y 2% de almidón de papa presentaron una menor resistencia a la fuerza y un desplazamiento menor el cual fue de 4 mm en comparación con la formulación con 75% de aloe vera, 4% de proteína de suero de leche, 2% de almidón de papa y 1% de alginato de sodio en la **Gráfica 5** se aprecia una mayor resistencia a la fuerza aplicada por el texturometro, esto se debe a la concentración del extracto de aloe vera.

Análisis calorimétrico

Para el análisis calorimétrico la muestra fue de alginato de sodio, almidón de papa y proteína de suero de leche el peso de la muestra es de 3-10 μg con una temperatura con un intervalo de 20°C a 120°C.

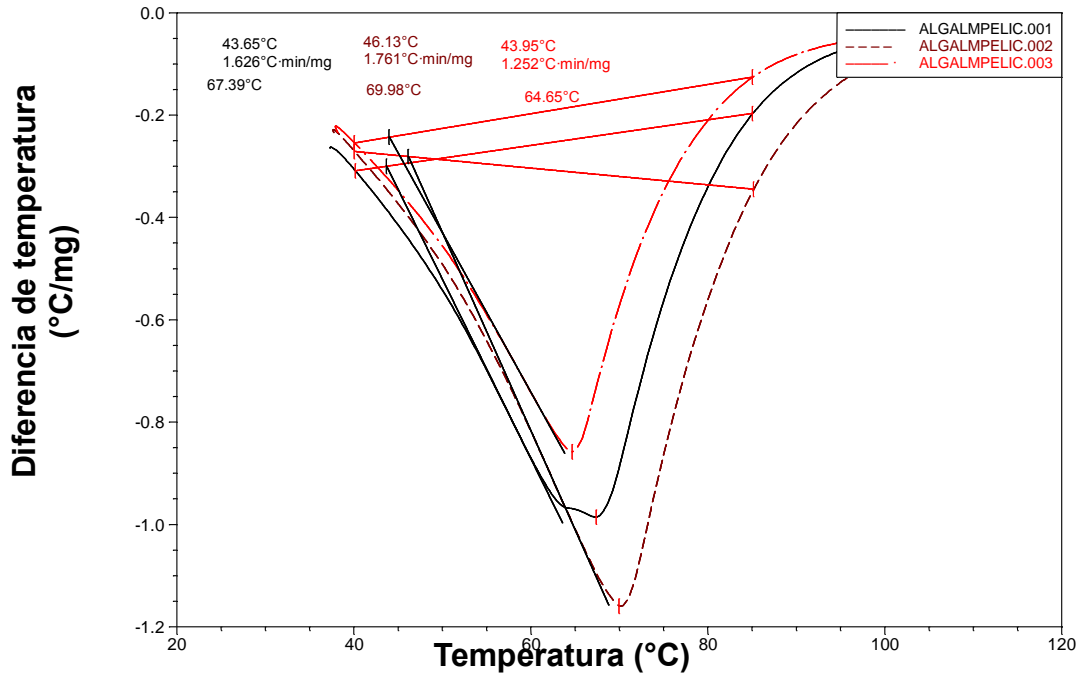


Gráfico 6. Gráfico de análisis térmico.

Como se observa en la **Gráfica 6**; el pico representa el momento en que la temperatura induce la transformación fisicoquímica y revela el exceso de agua; así mismo se aprecia que absorben energía lo que quiere decir que es endotérmica debido a que su pico se encuentra hacia abajo; para el alginato de sodio con una temperatura de 67.39 °C, almidón de papa con 69.98 °C y proteína de suero de leche 64.65 °C con las temperaturas es el punto en el que ya se desnaturalizan los biopolímeros.

Cuando aparece un pico endotérmico quiere decir que la solución formadora de la película comestibles alcanza la temperatura de fusión, esta temperatura indica si los biopolímeros son cristalinos; el ancho del pico hace referencia al tamaño y grado de perfección de los cristales.

*Resultados de la naranja con la película comestibles**Color*

Se sacaron los promedios del ΔE y se graficaron a sus distintas condiciones para observar cuanto cambio la tonalidad del color; se realizó para una naranja de control lo que quiere decir que no se le aplicó la película comestible; naranja con película comestible con la formulación 1 y la formulación 2 con un tiempo de 1 día, 5 días y 2 semanas a 27 frutos.

Cuadro 12. Resultados del ΔE en la naranja con la película comestible.

Día	Muestra	ΔE
1	Naranja control	105.41±3.48
	Naranja 75% de aloe	96.86±1.49
	Naranja 50% de aloe	95.90±1.59
5	Naranja control	84.42±4.06
	Naranja 75% de aloe	93.05±6.21
	Naranja 50% de aloe	97.09±1.37
15	Naranja control	60.86±2.52
	Naranja 75% de aloe	84.83±2.36
	Naranja 50% de aloe	81.64±6.49

En el **Cuadro 12** se observan los valores de ΔE de naranja con y sin películas comestibles, presentan una disminución en la tonalidad del color; lo que sugiere que existe la degradación de la clorofila de la piel de los cítricos durante la maduración y la senescencia, lo que supone una pérdida de la coloración verde y un desenmascaramiento de los carotenos los cuales son los pigmentos de color amarillo y naranja.

Como se puede apreciar en el **Figura 19** y en el **Cuadro 12**, las condiciones y el cambio que sufrió la naranja durante un periodo de 1, 5 y 2 semanas a temperatura ambiente.

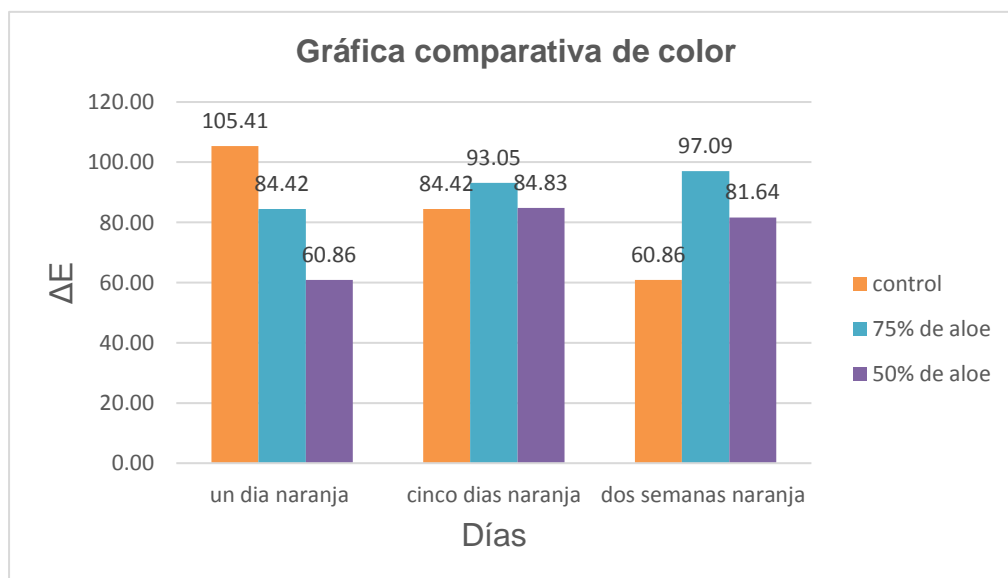











Figura 19. Grafica comparativa de los ΔE .

En la **Figura 19** se observa como fue cambiando el valor de ΔE , es más notorio en la naranja de control ya que fue disminuyendo empezó el día uno con 105.41, en 5 días es de 84.42 y en 2 semanas fue de 60.86; en cambio las naranjas que se les aplicó la película comestible por medio del método de inmersión se mantuvo constante sin ningún cambio tan significativo como con la naranja de control. Además, la aplicación de la película comestible retrasa el proceso de senescencia, debido a que crea una barrera semipermeable a gases.

Como se mencionó anteriormente el uso de la película comestible en la naranja retarda el envejecimiento de los tejidos la cual inicia después de la maduración; se caracteriza por la pérdida del contenido celular, oscurecimiento enzimático ocurre debido a la oxidación, la deformación por la pérdida de turgencia y la apareciendo de pudriciones causadas por el moho *Penicillium digitatum*.

El cambio de color es por la degradación de la clorofila; la cual comienza con la degradación y la oxidación de la clorofilasas la cual provoca cambios en la coloración entre amarillo y rojo; esta coloración son los carotenoides presentes en la naranja.

Cuadro 13. Cuadro comparativo de la naranja con y sin película.

Día	Muestra	Naranja control	Naranja con 75% de aloe vera	Naranja con 50% de aloe vera
1 día				
5 días				
15 días				

Las naranjas fueron almacenadas en una caja hermética a temperatura ambiente, en el **Cuadro 13**, se observa los cambios que sufre la naranja a lo largo del almacenamiento; como se aprecia la naranja de control es la que presenta los cambios más significativos ya que empieza con el proceso de transpiración el cual es la principal causa de deterioro fisiológico durante el período poscosecha, provocando en el naranja control arrugamiento y ablandamiento sino también acelera la senescencia.

Acidez de la naranja con y sin película comestible

Se mide el porcentaje de acidez de la naranja de los días uno, cinco y quince, a la naranja de control, con película al 75% y 50% con extracto de aloe vera.

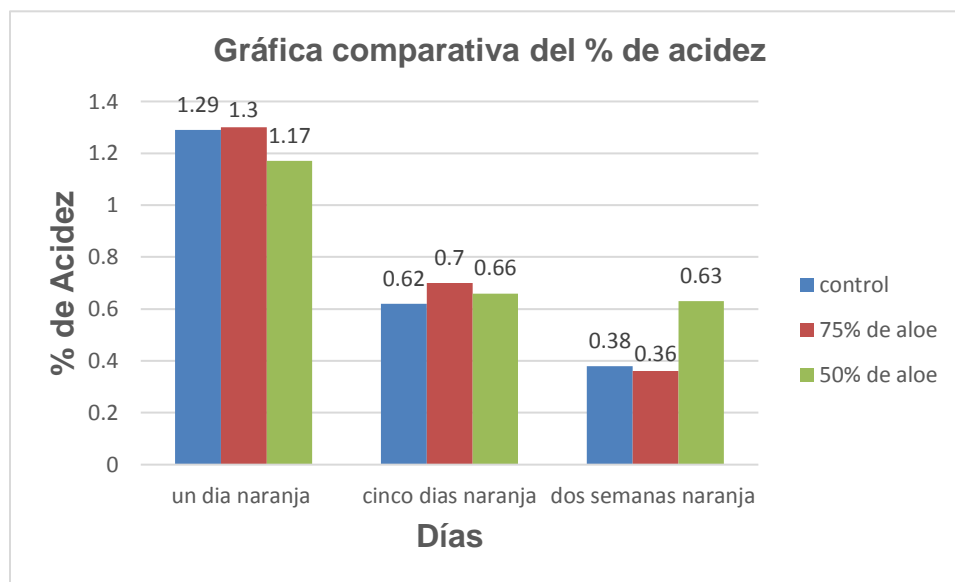


Figura 20. Grafica comparativa del% de acidez de la naranja con y sin película.

Se puede apreciar en el **Figura 20** se observa que, aunque se utiliza la película comestible hay un gran cambio significativo en el % de acidez, esto debido a que las naranjas utilizadas aun no llegaban a la maduración y como se aprecia en el **Cuadro 13** las naranjas muestran una distinta coloración, lo que nos indica que no tienen el mismo tiempo de maduración, aunque se compraron en el mismo lugar; las condiciones que tiene cada muestra ver el **Cuadro 8**. También la reducción de los ácidos orgánicos en este caso el ácido cítrico presente en la naranja es por los procesos fisiológicos y menos infección fúngica; lo que nos indica que preserva la calidad de la naranja.

Se aprecia la existencia de una relación inversa entre el color y la acidez; que a mayor madurez la naranja presentara un menor porcentaje de acidez lo que presenta una disminución en la tasa de la respiración provocando cambios en la acidez del jugo y el contenido de azúcares. Comparado con el trabajo realizado por Buitrago *et al* (2016) obtuvo valores en un rango de 0.97 a 1.18 e indica que no se presentaron interacciones entre los tratamientos con sorbato de potasio y el tiempo de almacenamiento.

°Brix

Se determinó los °Brix en la naranja pero con y sin película comestible y en diferentes tiempos de almacenamiento fueron 1, 5 y 15 días a temperatura ambiente.

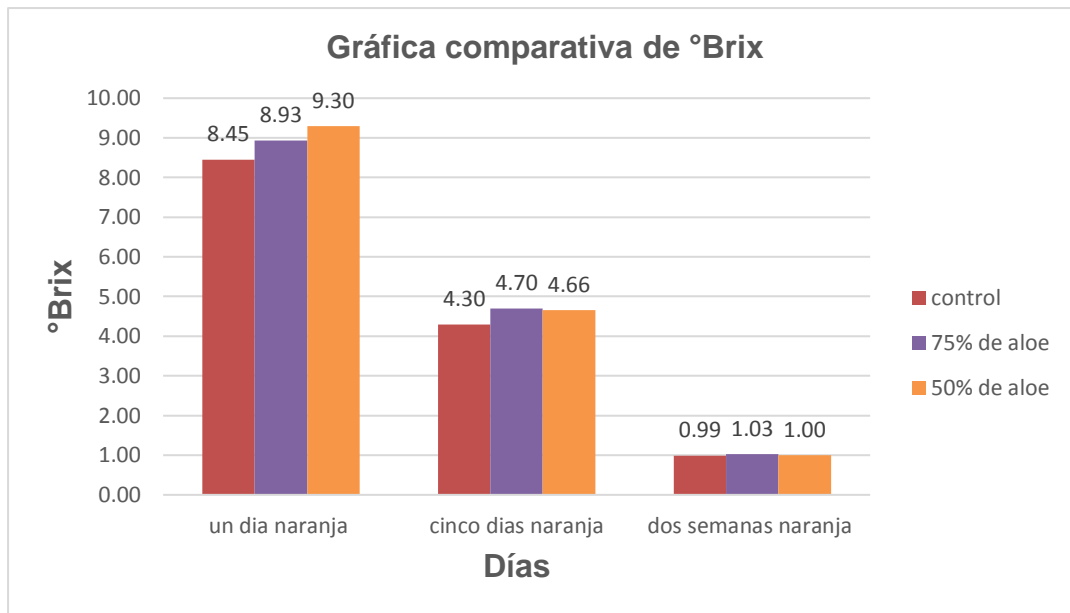


Figura 21. Gráfico comparativo de los °Brix en la naranja con y sin película.

El tratamiento que se refiere en el **Cuadro 8**; como se aprecia en el **Figura 21** se observó una reducción en los sólidos solubles esta disminución se le atribuye al aumento de la intensidad respiratoria, debido a que una parte de los azúcares es utilizada en el proceso respiratorio; sin embargo, como se implementó la película comestible en la superficie de naranja y presenta propiedades de barrera; la respiración se desplaza hacia rutas anaerobias generando compuestos volátiles, como el acetaldehído y etanol que puede llegar a provocar mal sabor y aroma. De igual manera durante este proceso existe la pérdida de moléculas almacenadas que representan reserva de energía en la naranja provocando el aceleramiento de la senescencia. Los datos de acidez y °Brix muestran el índice de maduración de la naranja lo que mostró que la acidez representa el proceso metabólico el cual provoca un incremento de los carbohidratos totales y el decremento del ácido cítrico; estas dos están asociadas con la calidad que presenta la naranja; cabe destacar que depende también del tiempo de almacenamiento al cual es sometido.

Conclusiones

Las películas comestibles son una alternativa para preservar la calidad de los alimentos en específico de la naranja y evitar así la aparición de podredumbre y retardar la senescencia. A partir del alginato de sodio, almidón de papa y WPI con extracto de aloe generan películas comestibles con una apariencia, homogénea, suave, con una tonalidad opaca y no presentaron roturas.

De acuerdo con el análisis de potencial zeta de los biopolímeros, muestran que si existe una interacción entre los grupos calcio que están presentes en el almidón de papa, proteína de suero de leche y extracto de aloe vera con los grupos carboxilos del alginato de sodio.

En el ángulo de contacto para la formulación con mayor concentración de aloe vera presenta un valor más grande cuando se comparó con el control. Las propiedades de barrera de las películas comestibles; se encontró que el *aloe vera*; almidón de papa, alginato de sodio y WPI presentan propiedades hidrofílicas; obteniéndose así películas comestibles con una baja permeabilidad al vapor de agua

Los resultados de elasticidad indican que ambas formulaciones presentan resistencia debido a las concentraciones de WPI con alginato de sodio y almidón de papa, por lo tanto, mayor será su tendencia de las moléculas a unirse; resultando la formación de un fuerte enlace químico.

En la medición del color en la superficie de la naranja se encontró que la modificación de color sugiere que con la formulación de 50% de aloe vera y 6% de WPI retarda la aparición de pardeamientos en la superficie de la naranja.

En este trabajo se encontró que las películas comestibles a base almidón de papa, WPI y alginato de sodio con extracto de aloe vera; inhiben significativamente de podredumbre y preserva la calidad, durante el tiempo de evaluación, lo que sugiere que el empleo de estos recubrimientos prolonga la vida útil del fruto de la naranja.

Bibliografía

- Agama - Acevedo E, Juárez-Gracia E, Evangelista-Lozano S, Rosales-Reynoso O, Bello-Pérez L. (2013) “Características del almidón de maíz y relación con las enzimas de su biosíntesis.” *Agrociencia*. 47 (1): 1-12.
- Aguilar-Méndez M.A., San Martín-Martínez. E. (2012) “Caracterización y aplicación de películas a base de gelatina-carboximetilcelulosa para la preservación de fruto de guayaba”. Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional. México.
- Agustí Manuel (2010). “Fruticultura”. México : Mundi-Prensa pag 159
- AOAC Official Method 942.14. (2005). Acidity (Titrable) of Fruit Product. Official method of Analysis of AOAC International, ed 18. Cap. 37 pag 10.
- Archundia K, Santacruz S, Coloma J. (2016). “Caracterización física de películas comestibles a base de cáscara de plátano (*Musa Paradisica*).” Universidad Laica Eloy Alfaro de Mabi, Ecuador. 43 (4) : 394-399.
- Arenas N G, Cañasa A L. (2007). “Procedimiento para medir ángulo de contacto en sólidos particulados finos”. *Scientia et Technica* año XIII, No. 36. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia. pag. 833
- Atzinge M.C, Machado P, Silva M.E. (2005). “Evaluación de la textura y color de almidones y harinas en preparaciones sin gluten”. *Cienc. Tecnol. Aliment.* 4 (5) : 319-323.
- Avedaño-Romero G.C, López-Malo A, Pañou E. (2013). “Propiedades del aginato y aplicaciones en alimentos”. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*. pag 87-96.

- Avila. R. Lopez-Malo. A. (2008) “Aplicación de sustancias antimicrobianas a películas y recubrimientos comestibles”. Temas selectos de Ingeniería en Alimentos pag 4-13.
- Ballester Frutos A. R. (2007) “Resistencia frente a la infección por *Penicillium digitatum* durante la postcosecha de los frutos cítricos, bases moleculares y metabolismo de fenipropionoides”. Universidad de Valencia, España.
- Barreiro-Méndez J, Sandoval-Briceño A.J. (2006). “Operaciones de Conservación de Alimentos por Bajas Temperaturas.” 1ª edición, editorial Equinoccio.
- Barrera González C. (2014). “Mojabilidad: medición del ángulo de contacto por el método de la gota cautiva”. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Becerra-Juárez G.P, Morelos-Sosa E.M. y Malo-López .A. (2010) “Hongos fitopatógenos de alta importancia económica; descripción y métodos de control”. Temas selectos de Ingeniería en Alimentos pag 14-23.
- Boudreau D. Mary y Belanp. A. Federick. (2009). “An evolution of the biological and toxicological properties of *aloe barbadensis* (Miller) *aloe vera*”. Journal of Environmental Science and Health part 24:1; pag 103-134.
- Buitrago A.L. Plaza L.M, Orellana L, Wessel-Beaver L. (2016) “Películas comestibles para extender el largo de vida útil de naranja (*Citrus sinensis*) frescas peladas.” Universidad de Puerto Rico. 100 (1) : 43-56
- Callejas-Hernández J, García-Prieto F, Cruz-Reyes E. V, Santillán-Marmolejo Y. (2012). “Caracterización fisicoquímica de un lactosuero potencialidad de recuperación de fosforo”. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Hidalgo.
- Cante-Rios N. R, Galvis-Perilla E. C. (2011). “Establecer la factibilidad técnica del proceso de coagulación en una planta de agua residual, para una industria de sacrificio avícola, por medio de la correlación del potencial z”. Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Bogotá, Colombia.

- Carmona-Gallegos J, Cordobés F, Guerrero-Cornejo A, Martínez I, Parta-López P, (2007). “Influencia del pH y la fuerza iónica sobre la gelificación térmica de proteínas de la yema de huevo” . *Grasas y aceites*, 58 (2) : 289-296.
- Carrillo L. “Los hongos de los alimentos y forrajes” (2003). Universidad Nacional de Salta Argentina, Argentina.
- Castro Montero E. (2007). “Parámetros Mecánicos y Textura de los Alimentos”. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéutica, Chile.
- Courtney-Dominguez. M.F y Mungia- Jimenez.M.T. (2012). “Películas comestibles formuladas con polisacáridos; propiedades y aplicaciones”. *Temas selectos de Ingeniería en Alimentos* pag 110-121.
- Delgado-Arce R, Pérez-Iarza G. (1997) “Características biológicas de *Penicillium digitatum*, *P. italicum* y *P. ulaiense* en postcosecha de citrus” Universidad de la Republica, Uruguay.
- Elizondo-Camacho M, Budrit-Vega J, Campos-Gallo A (2011). “Uso de nanomateriales en polímeros para la obtención de bioempaques en aplicaciones alimentarias”. *Rev. Soc. Quim Perú*. 77(4) : 292-306.
- Escobar. D. S, Silvera. C. Harispe. R. Márquez. R. (2009). “Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base a aislado de proteínas de suero lácteo: estudio de dos métodos de elaboración y del uso de sorbato de potasio como conservador”. *Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay*, Uruguay. No. 4 pag 33.
- Espita-Pérez J P, Du Xian-Wen, Bustillos-Avena R J, Soares-Ferreira Nilda de F, McHugh-H. T. (2013). “Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties – A review”. *Food Hydrocolloids* pag 1-10.
- Fadiño Pinzon I.M. (2016) “Biopolímeros funcionalizados para la conservación de alimentos” Copcyta.

- Faraldos M. y Goberna C. (2002) “Técnicas de Análisis y caracterización de materiales”. Eds Biblioteca de Ciencias.
- Fennema O. (2002) “Química de los Alimentos” editorial Acribia, segunda edición. España.
- Fernández- Domínguez. R.N, Vázquez -Arzate.I, Pérez-Chanoa.J.J, Chanes-Welti.J.S, Gonzales. S.J, Domínguez-Calderón. G, Febles-Garibay. y Gutiérrez F.G. (2012) “El gel de aloe vera, estructura, composición química, procesamiento, actividad biológica e importancia en la industria farmacéutica y alimentaria”. Revista Mexicana.
- Fernández M. N, Echeverría C. D, Mosquera A. S y Paz P. S. (2017) “Estado actual del uso de recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas”. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 15(2): 134-141.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2018). “Citrus fruit fresh and processed”. <http://www.fao.org/3/a-i8092e.pdf>
- Garch-Casaubon P, Salinas-Lamgshng P, Acosta I. F, Lemer-Meyer C. S, Franco-Delgado D y Lizaur-Peréz A. B. (2018)” pH de los alimentos ¿Una herramienta para le manejo de los pacientes con reflujo gastroesofágico? Revista Mexicana de Pediatría.
- Gea-Jodar P.M. (2006) “Mojado en condiciones de no equilibrio sobre superficies reales”. Universidad de Granada, España.
- Gil A. “Tratado de nutrición composición y calidad nutritiva de loa alimentos” tomo II ed. Panamericana 2 edición.
- González M, Morales B, (2017) “Poscosecha de frutos; maduración y cambios bioquímicos.” Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.
- Guerrero-Beltrán J.A, Vázquez-Briones M.C. (2013). “Recubrimientos de frutas con biopelículas” Temas Selectos de Ingeniería en Alimentos. 7 (2): 5-14.

- Herando-Pardo O, Castañeda J.C, Armando-Ortiz C. (2013). “Caracterización estructural y térmica de almidones provenientes de diferentes variedades de papa.” Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, Colombia. 62 (4): 289-295.
- Hleap I.H, Velasco A.V. (2010) “Análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*Oreochromis sp.*)” Facultad de Ciencias Agropecuarias, Colombia. 8 (2) : 47-55.
- Ibargüen O.A, Pinzón I.M, Arbelaéz-Arias L.M. (2015) “Elaboración y caracterización de películas comestibles a base del gel aloe vera (*Aloe barbadensis Miller L.*). Universidad de Quindío, Colombia.
- Kader A.A, (1999) “Fruit maturity, ripening and quality relationships”. University of California, Okland.
- Krochta J, Mulder-Johmston C. (2002) “Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities.” Food Technology ISSN:0015-6639. 51: 61-74.
- Ladaniya Milind (2008). “Citrus Fruit: Biology, Technology and Evaluation”. USA : Elsevier Inc.
- 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.
- López-Enríquez F. D, Cuatin-Ruano Y. L, Andrade C. J y Osorio-Mora O. (2016) “Evaluación de un recubrimiento comestible a base de proteínas de lactosuero y cera de abeja sobre la calidad fisicoquímica de uchuva (*Physalis peruviana L.*)” . Acta Agron. 65 (4) :326-333.
- Malvern Instruments (2004). “Zeta potential theory.” Editor Malvern Instrumentes. Zetasizer Nano Series User Manual. England.
- Marmur A. “Measurement and Interpretation of Contac Angles”. Israel Institute of Technology. Soft Meter.

- Marsh R. A, Waigth S.G. (2000) "The effect of pH on the zeta potential of wheat and potato starch" Verlag Chemie 34 (5) : 149-152.
- Mathias-Rettig K, Ah-Hen K. (2014). "El color en los alimentos un criterio de calidad medible." Universidad Austral de Chile, Chile. 42 (2): 39-48
- McHugh T.H. (2000). "Protein.lipid interactions in edible films and catings." Nahrung/Food. 44 (3): 148.151.
- Medrano-Carballo A. E, Bonilla-Martínez S. E. (2010) "Determinación de la permeabilidad al vapor de agua por el método ASTM E96/E 96M-05 en películas de quitosano". Universidad del Salvador, Buenos Aires. Facultad de Química y Farmacia.
- Méndez-Reyes D. A, Quintero-Cerón J. P, Váquiro-Herrera H. A y Salonilla-Duque J. F. (2014). "Alginato de sodio en el desarrollo de películas comestibles." Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. pag 89-113.
- Méndez-Reyes D.A, Quintero-Cerón J.P, Váquiro-Herrera H.A (2015). "Alginato de sodio en el desarrollo de películas comestibles". Revista Venezolana de Ciencias y Tecnología de Alimentos. 5(2): 89-113
- Miramont S. (2012) "Recubrimientos elaborados a partir de biopolímeros para el soporte de sustancias con actividad antimicrobianas carvacol y sorbatos" Facultad Regional de Buenos Aires, Argentina.
- Miranda S.P, Cárdenas G, López D, Lara-Sagahon A.V. (2003). "Comportamiento de películas de Quitosán compuesto en un modelo de almacenamiento de aguacate." Revista de la Sociedad Química de México. 47 (4): 331-336.
- Montalvo C, Malo-López. A y Palau. E. (2003) "Películas comestibles de proteína, características, propiedades y aplicaciones". Temas selectos de Ingeniería en Alimentos pag 32-46.

NMX-F-103-1983. Alimentos. Frutas y derivados. Determinación de grados Brix. Food. Fruit and derivatives. Determination of degrees Brix. Normas Mexicanas. Dirección general de normas.

Ochoa J. Lm. Hernández-Montiel L.G, Latisnere-Barragaán H, León de La Luz J.L y Larralde-Corona C.P. (2007) “Aislamiento e identificación de hongos patógenos de naranja *Citrus sinensis* L. Osbeck Cultivada en Baja California Sur, México”. SOMENTA. pag 352-359.

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

Parzanes M. (2012) “Películas y recubrimientos comestibles”. Tecnología para la Industria Alimentaria pag 1-11.

Pérez B. et. Al. (2004) “Aplicación de cera comestible en mango. Parte II: estudios fisiológicos asociados a la maduración del fruto durante el almacenamiento comercial”. Revista Iber. Tecn. Poscosecha 6(1): 24-33.

Porras Godínez M. R. (2009) “Comparación de grupos hidrófobos en la superficie de película comestible a base de suero de leche y gama de mezquite mediante el ángulo de contacto”. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Prusky D, Yakoby N. (2003) “Pathogenic fungi: leading of led by ambient pH.” Molecular Plant Pathology. Vol 4. pag 509-516.

Pulido-Soler N y Becerra-Abril J. L. (2016) “ Aloe vera (*Aloe barbadensis MILLER*) en regeneración de ex plantas de agaraz (*Vaccinium meridionale Swartz*). Cultura Científica. pag 14

Quinn F.X, Hatakeyama T. (2015) “Thermal Analysis Fundamentals and Applications to Polymer Science”. West Sussex England 2ed. Editorial John Wiley and Sons. pag 5-11.

- Quintero. C. J, Falfuera V. y Muñoz H. A. (2010) “Películas y recubrimientos comestibles; importancia y tendencias recientes en la hortofrutícola”. Revista Tumbaga pag 93-118.
- Ramos-García M.L, Bautista-Baños S, Barrera-Necha L, Bosques-Molina E, Alia -Tejecal I, Estrada-Carrillo M. (2010). “Compuestos Antimicrobianos Adicionados en Recubrimientos Comestibles para Uso en Productos Hortofrutícolas.” Revista Mexicana de Fitopatología. 28 (1): 44-54.
- Rodríguez E, Villegas E. (2012) “Caracterización de polímeros aplicado el método termo gravimétrico”.
- Rodríguez-Alzate J. E, Ocampo-Montes W. J y Escobar-Escobar M. R. (2012) “Acondicionamiento del sensor pH y temperatura para realizar titulaciones potenciómetros” . Universidad Tecnológica de Pereira Pereira Colombia.
- Romero-Avenidaño G.C, López-Malo A y Palou E. (2013) “Propiedades del aginato y aplicaciones en alimentos”. (2013) Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos pag 87-96.
- Salvador I. M. (2015) “Desarrollo de prototipos para el tratamiento postcosecha de cítricos con radiación UV-C y agua caliente para el control de la podredumbre verde causada por *Penicillium digitatum*”. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Sánchez-González I. Pastor C., Vargas M., González-Martínez C. (2011) “Effect of hydroxypropylmethycellulose and chitosan coatings whit and without bergamot essential oil on quality and safety of cold-stored grapes”. Postharvest Biology and Technology, 60(1); pag 57, 63.
- Sánchez-González L, Vargas M, González-Martínez C, Chéfer M, Chiralt A. (2008). “Incorporación de productos naturales en recubrimientos comestibles para la conservación de alimentos”. Universidad Politécnica de Valencia, España. pag 1-9.

- Santacruz I, Nieto M.I, Moreno R. (2014) “Nuevas aplicaciones de los alginatos en el conformado cerámico.” Instituto de Cerámica y Vidrio. Madrid. 44 (1) : 45-52
- Santiago-Santiago M. (2015) “Elaboración y caracterización de películas biodegradables obtenidas con almidón nano estructurado”. Universidad Veracruzana, Veracruz.
- Secretaria de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (2017). “Cítricos limón naranja y toronja mexicanos.” https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257073/PotencialC_tricosparte_uno.pdf
- Seymour R. (2002). “Introducción a la química de polímeros.” Barcelona, España. Editorial Reverté.
- Skoog D.A. (2001). “Análisis instrumental” Ed.Mc Graw Hill
- Soazo del Valle M. (2012). “Aplicación de recubrimientos comestibles para mantener la calidad de frutillas congeladas.” Universidad Nacional del Litoral, Argentina.
- Solano-Doblado L.G, Alamilla-Beltrán L, Jiménez-Martínez C. (2018). “Películas comestibles y recubrimientos comestibles funcionalizados”. Instituto Politécnico Nacional. México. pag 30-39
- Stampella P. C. (2015) “Historia local de naranja amarga (*Citrus x Aurantium* L., Rutaceae) del viejo Mundo asilvestrada en el corredor de las antiguas misiones jesuíticas de la provincia de misiones.” Universidad Nacional de la Plata, Argentina.
- Szymczyk A, Ianteri Y, Fievet P. (2008) “Influence of Steric Electric and Dielectric Effects on Membrane Potential.” *Langmuir*. 24 (79): 55-62.
- Terrazas-Hernández J.A, Rodríguez-Hernández A.I, Berrios J.J, Iman S.H, Glenn G.M, Vargas-Torres A. (2015) “Efecto de la temperatura y la humedad relativa en películas biodegradables elaboradas a base de almidón de raíz tuberizada de la

- planta de chayote (*Sechium edule sw*) con adición de celulosa o nanopartículas de celulosa”. Universidad del Estado de Hidalgo, Hidalgo. pag 1-5.
- Vaclavik E. (2002) “Fundamentos de ciencia de los alimentos.” Acribia. pag 485.
- Valdés-Fernández D, Baño Bautista S. (2015). “Películas y recubrimientos comestibles una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas”. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 24 (3): 52-57.
- Valero D, Paladines D, Valverde J.M, Diaz Mula H, Serrano M, Martinez Romero D. (2014) “The addition of rosehip oil improves the beneficial effect of aloe vera gel on delaying ripening and maintaining postharvest quality of several stonefruit.” Postharvest Biology and Technology. pag 23-28.
- Velázquez-Moreira A, Guerrero-Beltrán J.A. (2014) “Algunas investigaciones recientes en recubrimientos comestibles aplicados en alimentos”. Temas Selectos de Ingeniería en Alimentos. pag 5-12
- Zamora Rodríguez J. (2009) “Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, catón de Alajuela, noviembre”. Revista Pensamiento Actual. Universidad de Costa Rica. Vol. 9. No. 12-13.