

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA SALUD

Caracterización Físicoquímica de Membranas Elaboradas a Base de Pectina Cítrica y Aloe-gel (*Aloe vera*) Incorporadas con Carvacrol

TESIS PROFESIONAL PRÁCTICA

Que para obtener el título de:

1942
QUÍMICO BIÓLOGO CLÍNICO

Presenta:

Gabriel Humberto Gómez Rodríguez

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



“El saber de mis hijos
hará mi grandeza”



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

APROBACIÓN

Los miembros del jurado designado para revisar la Tesis Profesional de **Gabriel Humberto Gómez Rodríguez** la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el Título de **Químico Biólogo Clínico**.

Dr. Marco Antonio López Mata
Presidente

Dr. Juan Carlos Gálvez Ruíz
Secretario

Dr. Josué Elías Juárez Onofre
Vocal

Dra. Jael Teresa de Jesús Quintero Vargas
Suplente

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecer al Dr. Marco Antonio López Mata por invitarme a desarrollar este proyecto, así como por su apoyo y enseñanzas como maestro, tratando siempre ir más allá de las posibilidades a su alcance. Además, quiero agradecer toda la atención, apoyo y motivación brindada durante el proceso tesis para poder llegar a culminar esta obra, la cual sin duda ha impulsado mi formación como profesionista.

A CONACyT, por la beca que me otorgo para la realización de mi trabajo de tesis a través del proyecto de ciencia básica CONACyT: CB-2014-01, con numero de proyecto 236185.

Al Instituto Tecnológico de Sonora, al Dr. Saúl Ruiz Cruz y su equipo por su apoyo, asesoría y siempre atenta disponibilidad a colaborar en el desarrollo de este proyecto.

Quiero agradecer a la QBC. Paulina Estrada Cárdenas por su apoyo y motivación brindada en los momentos difíciles, siempre dispuesta a ofrecermme su ayuda y, sobre todo, su compañía, cariño y amistad.

A la Dra. Silvia Elena Burruel Ibarra del Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales de la Universidad de Sonora, por su apoyo prestado en las observaciones microestructurales realizadas en este proyecto.

Quiero agradecer al Dr. Jaime Lizardi Mendoza del Grupo de Investigación en Biopolímeros del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad Hermosillo, Sonora, por su apoyo y participación en este proyecto con la realización de algunas mediciones.

Al Dr. Josué Elías Juárez Onofre por abrimme las puertas de su laboratorio e invitarme a conocer sus líneas de investigación más de cerca, por su apoyo desinteresado y su siempre tan grata simpatía que lo caracteriza.

A los integrantes del sínodo, Dr. Marco Antonio López Mata, Dr. Juan Carlos Gálvez Ruíz, Dr. Josué Elías Juárez Onofre y Dra. Jael Teresa de Jesús Quintero Vargas, quienes por sus sugerencias y observaciones me ayudaron en el enriquecimiento de mi trabajo. Agradezco su participación como jurado y les reitero mi admiración y respeto a sus trayectorias.

A mis amigos Miguel Eduardo Renovatto Enríquez y Joshua Michael García Parra, por su disponibilidad y atención prestada al contribuir en el desarrollo de este proyecto mediante su cooperación, agradezco la amabilidad con la que siempre lo hicieron.

Quiero agradecer a mis compañeros y amigos, los cuales me han acompañado a lo largo de nueve semestres en los que hemos pasado un sinfín de gratos momentos y otros no tanto. Agradezco el que se hayan cruzado en mi camino y espero que su futuro este lleno de éxitos que los lleven a desarrollarse plenamente como profesionistas para alcanzar sus sueños y metas en la vida.

Al QB. Mario Fernando Nieblas Vega, por su pasión y destreza con la que me transmitió el amor por esta mi carrera desde mis tiempos como estudiante de preparatoria, un excelente Químico Biólogo, maestro y amigo.

A mis maestros en la universidad, las personas que han marcado el camino a seguir para mi desarrollo profesional como Químico Biólogo Clínico, sin los cuales no me encontraría aquí, agradezco el apoyo y la motivación que siempre nos han brindado a mí y a mis compañeros.

Finalmente, a la Universidad de Sonora, institución que me abrió sus puertas hace algunos años y de la cual estoy orgulloso de pertenecer, en cuyas aulas y laboratorios me formé profesionalmente, mi segundo hogar, mi *alma máter* de la cual porto orgullosamente su escudo y cargo en mis hombros con el prestigio de una gran institución porque...*El saber de mis hijos hará mi grandeza.*

DEDICATORIA

A mis padres, mis dos maestros de vida, a quienes me debo y gracias a ellos estoy alcanzando este logro, ya que, sin sus enseñanzas, apoyo y motivación, nada de esto sería posible.

A mis hermanos, dos grandes amigos y compañeros de vida, Dios me ha dado la oportunidad de coincidir con ellos en esta familia y mi vida no sería igual sin ellos.

CONTENIDO

	Página
LISTA DE TABLAS	8
LISTA DE FIGURAS	9
RESUMEN	10
INTRODUCCION	11
OBJETIVOS	13
General.....	13
Específicos.....	13
ANTECEDENTES	14
Biopolímeros.....	14
Compuestos Bioactivos.....	15
<i>Aloe vera</i>	16
Características de las Hojas del <i>Aloe vera</i>	17
Composición Química del <i>Aloe-gel</i>	19
Aplicaciones del <i>Aloe vera</i>	21
<i>Aloe-gel</i> en la Elaboración de Membranas y Micropartículas.....	22
Pectina Cítrica.....	23
Adición de Pectina Cítrica en la Elaboración de Membranas.....	24
Pectina Cítrica en la Administración Controlada de Fármacos.....	25
Incorporación de Aceites Esenciales en Pectina Cítrica.....	26
MATERIALES Y MÉTODOS	28
Obtención de <i>Aloe-gel</i> de la Planta de <i>Aloe vera</i>	28
Elaboración de Membranas de PC/AG Incorporadas con CAR.....	28
Preparación de la Emulsión Previa.....	28
Elaboración de Membranas.....	29
Evaluación Físicoquímica.....	30
Color y Opacidad.....	30
Transmitancia.....	30
Microestructura.....	30
Permeabilidad al Vapor de Agua (PVA).....	30
Grosor.....	31

Pruebas Mecánicas.....	31
Espectrometría Infrarroja Transformada de Fourier (FTIR).....	32
Análisis Estadístico.....	32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
Evaluación Fisicoquímica.....	33
Color.....	33
Transmitancia y Opacidad.....	34
Microestructura.....	36
Permeabilidad al Vapor de Agua (PVA).....	38
Pruebas Mecánicas.....	40
Análisis de Espectroscopia de FTIR.....	42
CONCLUSIÓN.....	44
RECOMENDACIONES.....	45
ANEXOS.....	46
Anexo 1. Protocolo de Obtención de <i>Aloe-gel</i>	46
Anexo 2. Condiciones Controladas Método ASTM E96-92.....	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1.	Componentes encontrados en <i>Aloe</i> -gel.....	21
2.	Parámetros de color en membranas de PC/AG-CAR.....	34
3.	Transmitancia de luz (%) y opacidad de membranas PC/AG-CAR.....	35
4.	Fuerza de tensión en membranas de PC/AG-CAR.....	41

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Planta de <i>Aloe vera</i>	18
2.	Partes de la hoja de <i>Aloe vera</i>	19
3.	Esquema de la preparación de la emulsión previa.....	29
4.	Esquema de la elaboración de membranas.....	29
5.	Opacidad de membranas según la proporción de PC/AG-CAR incorporado...	36
6.	Microestructura de las membranas de PC/AG-CAR.....	38
7.	Comportamiento de la PVA de membranas a base de PC/AG-CAR.....	39
8.	Espectro de FTIR (4000-500 cm ⁻¹) de membranas de PC/AG-CAR.....	42
9.	Espectro de FTIR (1800-500 cm ⁻¹) de membranas de PC/AG-CAR.....	43

RESUMEN

En la actualidad existe interés por desarrollar nuevos materiales formadores de membranas a base de proteínas, lípidos, polisacáridos y sus combinaciones. En específico, la pectina cítrica (PC) es un heteropolisacárido compuesto principalmente de cadena lineales de ácido α -(1,4)-D-galacturónico y con excelentes propiedades filmogénicas. Por otro lado, el *Aloe vera* es una planta de donde se puede obtener el *Aloe-gel* (AG). El cual, ha sido reconocido por sus propiedades regenerativas en heridas y quemaduras. La combinación de la PC y AG, pueden formar membranas que pueden ser utilizadas como materiales de cubierta de compuestos bioactivos como aceites esenciales. Sin embargo, la principal desventaja de estas membranas es su alta solubilidad en agua, entre otras propiedades mecánicas y de barrera. Una buena alternativa para mejorar las propiedades fisicoquímicas de la membrana de PC/AG podría ser mediante la incorporación de carvacrol (CAR), un fenol monoterpénoide que está contenido en el aceite esencial del orégano y el tomillo. El CAR ha sido reconocido por sus propiedades antimicrobianas y antioxidantes. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar las propiedades fisicoquímicas de membranas de PC/AG incorporadas con carvacrol. Las membranas se prepararon por método de Casting en proporciones 70PC-30AG (% m/m) e incorporadas con carvacrol mediante emulsión previa en proporciones 0% (Control PC y PC/AG), 0.25%, 0.50% y 1.00% (v/v). Las membranas obtenidas fueron caracterizadas con base a sus propiedades físicas (color, grosor, opacidad, transmitancia, microestructura, permeabilidad al vapor de agua (PVA) y fuerza de tensión) y FTIR. Las membranas fueron transparentes, con un incremento en la coloración amarilla y con una disminución en la fuerza de tensión con respecto al aumento de la proporción carvacrol incorporado a la membrana ($p < 0.05$). Además, las membranas también presentaron la capacidad de bloquear la luz UV, mayor PVA con respecto al incremento de carvacrol emulsionado y el análisis de FTIR indicó la presencia del carvacrol en la membrana, que se apreciaron en las imágenes de SEM como microcápsulas de diversos tamaños. Los resultados del presente estudio son un punto de partida para que estas membranas puedan ser consideradas como un biomaterial con posibles aplicaciones en el campo de la biomedicina.

INTRODUCCIÓN

Actualmente existe un gran interés por la búsqueda de materiales biodegradables, extraídos de fuentes naturales y con propiedades formadoras de membranas. La finalidad con la que se obtienen estos materiales es para dar a conocer su posible aplicación en la salud. El uso de compuestos bioactivos extraídos de las fuentes naturales permite crear alternativas seguras que puedan ser utilizadas como primera línea de tratamiento contra distintas enfermedades y/o padecimientos. Esta es una recomendación que ha impulsado en los últimos años la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2013), como una alternativa para reducir el uso de la medicina alópata. Por lo cual, el desarrollo y caracterización de nuevos biomateriales con posibles aplicaciones en la salud humana ha tomado un papel importante en la ciencia de los materiales.

La elaboración de membranas esta principalmente basada en la utilización de materiales biodegradables como proteínas, lípidos, polisacáridos o sus combinaciones. Estas biomoléculas han adquirido un especial interés en su uso para la fabricación de nuevos biomateriales. La combinación de matrices de polímeros a base de polisacáridos naturales ha sido una importante estrategia para la formulación de membranas con la finalidad de mejorar y potencializar determinadas propiedades inherentes. Además, de su facultad de poder o no, incorporar sustancias bioactivas, con o sin interacción química con dicha matriz. Las cuales, están siendo utilizadas como alternativa para mejorar las propiedades antimicrobianas, antioxidante y fisicoquímicas de estos materiales con fines farmacéuticos (Chen y col., 2010; López-Mata y col., 2015; De Jesus y col., 2015.).

En especial, la pectina cítrica (PC) es un compuesto extremadamente complejo, con una gran familia de polisacáridos y que está presente en todas las paredes celulares. Por eso, generalmente se extrae comercialmente de la cáscara de cítricos en condiciones ligeramente ácidas. La estructura de las pectinas varía según la especie de origen, el tipo de tejido y la localización geográfica, además de las etapa de desarrollo, estado ambiental y las condiciones de extracción. La PC es una mezcla heterogénea conformada principalmente por un 65% de cadenas lineales de ácido α -(1,4)-D-galacturónico, que contiene grupos carboxilo, además de un intervalo considerable de distintos azúcares neutros como la ramnosa, galactosa y arabinosa. Estos polisacáridos han sido utilizados durante muchos años en la industria alimenticia como agentes espesantes, gelificantes y estabilizadores coloidales en los alimentos (Cunha y col., 2010; Kumar y col., 2010; Bonnaillie y col., 2014).

Por otro lado, el *Aloe vera* es una planta cactácea perteneciente a la familia *Lilliaceae* originada en la África tropical y ahora cultivada en zonas climáticas cálidas de Asia, Europa y

América. Esta planta es usada tradicionalmente en la medicina natural y en la industria cosmética a través del mundo. Se ha informado que el *Aloe-gel* (AG) extraído de las hojas (pencas), usualmente la única parte utilizable, debido a que se han reportado diversas propiedades benéficas en la salud humana. Estas propiedades también están en función de la composición química en la planta del *Aloe vera*, que, a su vez, depende del clima y las condiciones de crecimiento. Se ha estimado que hay más de 75 compuestos bioactivos contenidos en la hoja de esta planta y algunos de ellos, se ha descrito como antiinflamatorio, acelerador de la sanación de heridas, antimicrobianos y antioxidantes (Rahman y col., 2017). Dentro de todos estos componentes, los polisacáridos son mayormente responsables de la actividad biológica observada en el uso de la planta del *Aloe vera* en sinergia con otra variedad de compuestos presentes en menor proporción como enzimas, proteínas, diferentes compuestos inorgánicos y compuestos fenólicos, como las antraquinonas y antronas (Ahlawat y col., 2011; Silva y col., 2013; Rahman y col., 2017).

Una manera de mejorar y potencializar las propiedades fisicoquímicas y antimicrobianas en la elaboración de matrices poliméricas ha sido mediante la incorporación de compuestos bioactivos obtenidos principalmente de aceites esenciales de plantas y que en conjunto con fármacos y otras sustancias, pueden ser adyuvantes. Esta ha sido una estrategia que se ha utilizado para la elaboración de sistemas terapéuticos-farmacéuticos, donde la matriz polimérica sola o en combinación con otras (híbridas), funciona como un soporte y medio de transporte para la liberación de estas sustancias. En específico, el CAR es un compuesto fenólico monoterpenoide que se encuentra principalmente en el aceite esencial del orégano y en menor proporción en el tomillo y la mejorana, siendo reconocido como un aditivo seguro que posee propiedades antimicrobianas, antioxidantes y un particular aroma que lo hace muy atractivo como un ingrediente en diferentes tipos de comida (Rojas-Cortés y col., 2008; López-Mata y col., 2013). Anteriormente, se ha demostrado que el CAR posee propiedades analgésicas, antioxidantes y antibacteriales cuando es incorporado en matrices poliméricas de naturaleza no antimicrobiana. Esto ha resultado de gran interés en la búsqueda de nuevos sistemas farmacéuticos naturales y de liberación controlada (Guimarães y col. 2011; López-Mata y col. 2013).

OBJETIVOS

General

Caracterizar las propiedades fisicoquímicas de membranas elaboradas a base de pectina cítrica/*Aloe*-gel (PC/AG) incorporadas con carvacrol (CAR).

Específicos

1. Elaborar membranas a base de PC/AG por método de Casting en proporciones 70PC/30AG (% m/m) incorporadas con CAR mediante emulsión previa en proporciones 0% (Control PC y PC/AG), 0.25%, 0.50% y 1.00% (%v/v).
2. Determinar las propiedades físico-ópticas de color, transmitancia y opacidad de membranas a base de PC/AG incorporadas con CAR.
3. Determinar las propiedades de microestructura por microscopía electrónica de barrido (SEM) de membranas de PC/AG incorporadas con CAR.
4. Determinar la permeabilidad al vapor de agua (PVA) de membranas de PC/AG incorporadas con CAR.
5. Determinar las propiedades mecánicas de membranas de PC/AG incorporadas con CAR.
6. Analizar las interacciones químicas por FTIR de membranas de PC/AG incorporadas con CAR.

ANTECEDENTES

Biopolímeros

Los biopolímeros son compuestos de origen natural derivados de la composición, la producción o el desecho de otros organismos. En la actualidad, estos componentes poliméricos están siendo ampliamente aprovechados en la industria para la sustitución de los plásticos derivados del petróleo, reduciendo así, los niveles de contaminación por la basura plástica (Caballero, 2010).

Los polímeros naturales han tenido muy buena aceptación y son preferidos por los consumidores verdes, por su baja toxicidad, bajo costo, su libre disponibilidad y su biodegradabilidad. Sin embargo, los materiales elaborados con polímeros naturales presentan algunas limitaciones como una tasa de hidratación descontrolada, la contaminación microbiana y la tendencia a la viscosidad durante el almacenamiento (Kulkarni y col., 2010).

Por otro lado, en el campo de la medicina, los materiales de los polímeros suelen ser sustancias o conjunto de sustancias de origen natural o sintético que sirven para brindar un beneficio en materia de salud a un organismo, ya sea como tratamiento o sustituyente de una función. Los polímeros naturales deben presentar determinadas características para poder ser aplicados en un organismo, por ejemplo, no deben ser mutagénicos, cancerígenos, tóxicos y/o antigénicos. Dentro de los polímeros naturales podemos encontrar polímeros de origen proteico (como la albúmina y la gelatina) y de carbohidrato (quitosano, quitina y pectinas) entre otros (Infante, 2006).

En la industria alimentaria, los materiales de estos biopolímeros se han utilizado para la elaboración de recubrimientos comestibles o biopelículas. Que son utilizadas como capas delgadas de material biológico comestible dispuestas sobre un producto alimenticio como recubrimiento, cuya función es la de proteger los alimentos con la finalidad de prolongar su periodo de vida, además, estas membranas pueden funcionar como vehículo para el transporte de compuestos bioactivos, que pueden complementar los beneficios de las películas. De esta misma forma, los biopolímeros que se utilizan para aplicación médica y alimentaria generalmente son de matrices de naturaleza proteica, carbohidrato o lipídica. Las características para elegir una matriz polimérica involucran varios puntos que se fundamentan en el consumidor al que va dirigido y el tipo de aplicación. Pero es fundamentalmente que no represente un riesgo para la salud y además sean biodegradables y económicas (Rojas-Cortés y col., 2008).

Dentro de las matrices de biopolímeros que se han venido utilizando, los polisacáridos son los que más se han explotado en la elaboración de películas. Porque tienen la particularidad de

que pueden formar películas con buenas propiedades mecánicas y de resistencia al agua. A diferencia de las películas obtenidas de proteínas, que suelen ser más débiles y quebradizas (Salgado, 2015).

Compuestos Bioactivos

La palabra bioactivo, deriva de *bios* (vida) y *activo* (dinámico, lleno de energía, con energía o involucra una actividad). Aunque la palabra es relativamente sencilla en su expresión, aún su definición, sigue teniendo redefiniciones. En una reunión de consenso, celebrada en la Universidad de Hohenheim en Stuttgart, Alemania y convocada con el tópico biomarcadores y su papel en la evaluación de su eficacia y seguridad, los expertos llegaron al consenso de definir un compuesto bioactivo como “los compuestos esenciales y no esenciales (ejemplo vitaminas o polifenoles) que existen en la naturaleza como parte de una cadena de alimentos y pueden demostrar que tienen efectos sobre la salud humana” (Biesalski y col., 2009). Pero esta definición ha seguido rediseñándose y ampliándose. Recientemente se ha definido como aquellos compuestos que tiene la capacidad y la habilidad para interactuar con uno o más componentes del tejido vivo y que presentan un amplio rango de probables efectos (positivos o negativos), pudiendo ser esta sustancia de origen terrestre o acuático natural o bien, sintético parcial o totalmente (Guaadaoui y col., 2014).

Generalmente los compuestos bioactivos requieren de los biopolímeros como una matriz de transporte o de cubierta. Por eso, han venido siendo ampliamente estudiados en el desarrollo de aplicaciones farmacéuticas, principalmente para modificar la liberación de compuestos bioactivos y/o fármacos en un sitio diana.

Por lo anterior, la necesidad de incorporar sustancias con actividad farmacológica ha llevado a la generación de nano y micropartículas poliméricas como novedosas alternativas biomédicas. La incorporación de compuestos bioactivos en matrices poliméricas a través de estos sistemas tiene como objetivo principal el garantizar la entrega de los compuestos bioactivos al sitio diana que se trate (Rojas-Cortés y col., 2008). Constantemente se siguen descubriendo nuevos compuestos bioactivos que ayudan a mejorar y potencializar diversas propiedades existentes en los biopolímeros. Principalmente sus propiedades fisicoquímicas y el efecto antimicrobiano que pueden inducir como mediadores de una red de señales que potencializan la respuesta frente a diferentes microorganismos (Mazzoli y col., 2017).

Los compuestos bioactivos, también conocidos como metabolitos secundarios incluyen a antibióticos, micotóxicas, alcaloides, pigmentos primarios, hormonas de crecimiento de plantas,

compuestos fenólicos y aceites esenciales. Los cuales, tienen una gran diversidad de propiedades entre las cuales se encuentran, la reducción el estrés oxidativo y reducen el riesgo de padecer ciertas enfermedades como cáncer y arterosclerosis, entre otras. Debido a que estos pueden neutralizar los radicales libres presentes en los procesos oxidativos intracelulares (Del Toro-Sánchez y col., 2015).

En específico, el carvacrol (CAR) es un compuesto bioactivo, que químicamente es un compuesto fenólico monoterpenoide, que se encuentra principalmente en el aceite esencial del orégano y en menor proporción en el tomillo y mejorana. El CAR ha sido reconocido como un aditivo seguro y además posee propiedades antimicrobianas, antioxidantes y un particular aroma que lo hace un ingrediente atractivo en los diferentes tipos de comida. Estudios previos ha demostrado que la incorporación de CAR a matrices poliméricas de naturaleza no antimicrobiana, puede mantener el efecto de CAR y funcionar como un eficaz compuesto bioactivo con propiedades analgésicas, antioxidantes y antibacteriales. Esto ha resultado atractivo para la industria farmacéutica y por eso, se siguen estudiando como parte de un sistema que puedan inducir una liberación controlada del CAR (Guimarães y col. 2011; López-Mata y col. 2013).

Aloe vera

El *Aloe vera* (AV) es una planta cactácea perteneciente a la familia *Liliaceae* originaria de la África tropical y ahora cultivada en zonas climáticas cálidas de Asia, Europa y América. Con la llegada de los conquistadores europeos a América fue como el AV se introdujo en varias regiones del continente, siendo aceptada por muchas culturas (Rahman y col., 2017). Específicamente en México, el AV es popularmente conocido como “sábila”, esta es una planta cuyos beneficios son conocidos desde hace mucho tiempo y los cuales han trascendido de generación tras generación siendo aprovechados aún, hoy en día. Las especies del género *Aloe sp* que se encuentran con mayor presencia en el país son: *Aloe vera* y *Aloe ferox*, pero es la primera especie mencionada la que con mayor frecuencia se utiliza como opción terapéutica tradicionalmente (INE, 2014). Todos los conocimientos heredados por las civilizaciones de la antigüedad sobre las propiedades de esta planta son las que ha llevado a investigadores de todo el mundo a tratar de conocer más sobre sus características. Así como, encontrar la manera de explotar sus beneficios a través de nuevos usos y aplicaciones significativas (Medel y Ortiz, 2006).

En los últimos años, se ha promovido su uso, debido a sus diversas propiedades y esto ha generado una alta demanda por la planta. Aunque la cáscara ha sido reconocida con propiedades importantes en la salud humana, el especial interés se ha centrado en la utilización del *Aloe-gel*

(AG). El AG está conformado en su totalidad por 55% polisacáridos, 17% azúcares, 16% minerales, 7% proteínas, 4% lípidos y 1% compuestos fenólicos. Pero se ha demostrado que los polisacáridos del *Aloe-gel* son responsables de la mayoría de las actividades biológicas observadas. Las cuales pueden tener beneficios sobre curación de heridas, relacionadas con daños por radiación, efecto antiinflamatorio, actividad antimicrobiana, antineoplásica, estimula el sistema hematopoyético y es un antioxidante (Malik y col., 2013).

Sin embargo, estas propiedades biológicas son el resultado de una acción sinérgica de una gran variedad de compuestos. Se ha encontrado evidencia que sugiere que el AG contiene diversas sustancias, que, aisladas o en conjunto, presentan efectos terapéuticos. Por ello, una mejor comprensión de estos componentes y de sus efectos, es esencial para desarrollar productos a partir del AG con fines terapéuticos. Por lo anterior, su uso ha generado gran interés en su exploración en las industrias cosmética, farmacéutica y alimentaria (Domínguez-Fernández y col., 2012; Malik y col., 2013; Rahman y col., 2017).

Características de las Hojas del *Aloe vera*

Las hojas de la planta *Aloe vera* son el elemento principal de la planta para la industria, debido a que es el lugar de donde se obtiene la pulpa, la cual contiene algunos componentes que benefician al humano.

Las hojas o pencas del AV son grandes, gruesas y carnudas, acuminadas (terminan en punta), con bordes espinados y de color verdoso, aunque en plantas jóvenes suelen observarse pequeñas manchas moteadas de color blanco. Las hojas pueden llegar a medir de 30 a 60 cm de largo, pero esto dependerá de la edad o estado nutricional de la planta. Del centro de la planta nacen densas inflorescencias en racimos con pequeñas flores tubulares de color amarillo, dispuestas sobre un escapo de 90 a 100 cm (Figura 1). (CONACYT, 2014; CSHF, 2013; INE, 2014).



Figura 1. Planta de *Aloe vera*.
(Nature photos and pictures,
2008)

Las hojas del AV se componen de tres elementos, la corteza, la capa fibrosa y la pulpa (Figura 2). La corteza de las hojas de AV es una envoltura firme de color verde formada de células flexibles con cloroplastos y estomas. Las estomas son los organelos que permiten el intercambio de líquidos y gases con el exterior de la planta. Las células de la corteza son las responsables de la síntesis de compuestos orgánicos necesarios por la misma planta (carbohidratos, lípidos y proteínas). La capa fibrosa es un conjunto de canalículos encargados del transporte de nutrientes en la planta y que está ubicado en el interior de la pulpa y adyacentes a la corteza. Los canalículos son clasificados de acuerdo con su función en tres tipos: xilema, floema y tubos pericíclicos. Las xilemas son pequeños canales encargados del transporte de agua y sales, de la raíz a la hoja; por su parte los floemas son pequeñas vainas encargadas de la distribución de sustancias orgánicas como carbohidratos en la hoja; finalmente los tubos pericíclicos son pequeños tubos encargados del almacenamiento y transporte del acíbar (AG) a lo largo de la hoja (Moreno y col., 2012).

La pulpa es el tejido esponjoso ubicado en el interior de las hojas formado por células parenquimatosas y en donde se almacena una gran cantidad de agua como reserva, mientras que el gel o acíbar, subproducto del AV, se refiere al líquido claro viscoso que se encuentra entre las mismas células. Debido a que es en la pulpa donde se encuentran los canalículos, los encargados del transporte de los nutrientes, esta es la parte rica en los componentes activos de planta (CSHF, 2013; INE, 2014; Moreno y col., 2012; Stevens, 2006).

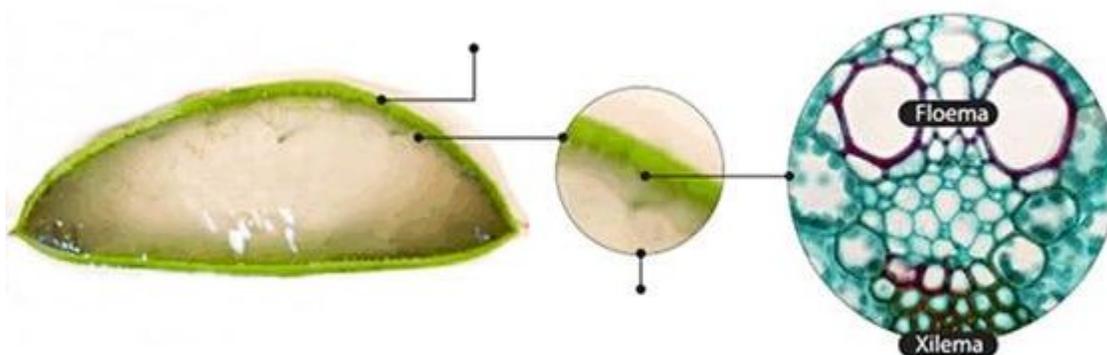


Figura 2. Partes de la hoja de *Aloe vera*. (Ferraro, 2009).

Composición Química del Aloe-gel

La composición química del AG (Tabla 1) es diversa y heterogénea con diferencia significativa entre una especie y otra. Así mismo, las propiedades benéficas intrínsecas de una especie pueden variar dependiendo del origen geográfico de la planta, las condiciones de nutrición, el riego, terreno, clima, edad de la planta e incluso en la forma de obtención del gel. La composición química del AG básicamente es agua en un 98.5 % y el resto lo comprende una gran variedad de componentes, siendo los principales carbohidratos (60 %), antraquinonas, proteínas, vitaminas, minerales y otras moléculas de baja masa molar (Choi y Chung, 2003).

Entre los diversos carbohidratos encontrados en el AG están los monosacáridos como la glucosa, la galactosa y la manosa, además de polisacáridos como el mucílago, celulosa, pectinas, glucomananos (acetilados y no acetilados) y acemananos, entre otros. La diversidad de carbohidratos presentes es un factor importante en la gran gama de propiedades que posee este extracto del AV. Los acemananos son los carbohidratos que más ampliamente han sido estudiados, por sus propiedades estimulantes de la respuesta inmune, la capacidad de bloqueo de la radiación UV, inhibidor del crecimiento tumoral, entre otras. Otro carbohidrato al que se le han atribuido propiedades importantes es la manosa, la cual se ha visto que tienen la capacidad de estimular el proceso de cicatrización y modular la respuesta antiinflamatoria (Choi y Chung, 2003; Vega y col., 2005).

Por otro lado, están los compuestos fenólicos del AG, como las antraquinonas y cromonas a las cuales, se le han atribuido propiedades antioxidantes (Malik y col., 2013). Las antraquinonas son compuestos encontrados en algunas plantas, siendo base de una cantidad considerable de pigmentos, que pueden presentar actividad antibacteriana y antifúngica. Algunas antraquinonas encontradas en el AG son la aloína, la isobarbaloina y la aloemodina, de las cuales la primera es el componente principal de este gel, y es conocida por sus efectos laxantes y antifúngicos (Rahman y col., 2017). Por su parte, las cromonas son compuestos orgánicos conocidos por su amplia gama de efectos biológicos (como antibiótico y antiinflamatorio). Las principales cromonas aisladas del AG son la aloeresina A y la aloeresina B. Además, el AG contiene en su composición 20 tipos de aminoácidos, de los cuales la arginina es la más abundante, glicoproteínas y algunas enzimas como la catalasa, la amilasa y la oxidasa. (Vélez y Villa, 2012; Zapata y col., 2012).

El AG también es rico en vitaminas y minerales. Entre las vitaminas que aparecen en su composición son el α -tocoferol (vitamina E), ácido ascórbico (vitamina C), tiamina (vitamina B₁), riboflavina (vitamina B₂), niacina (vitamina B₃), el ácido fólico (vitamina B₉) y trazas de cobalamina (vitamina B₁₂). Entre los minerales que se han identificado en el AG están el calcio, fósforo, potasio, hierro, sodio, magnesio, manganeso, cobre, cromo, zinc, entre otros (Rahman y col. 2017).

Tabla 1. Componentes encontrados en *Aloe-gel*. (Rahman y col., 2017)

Tipo	Compuestos
Antraquinonas/Antronas	<i>Aloe</i> -emodina, ácido aloético, antranol, aloína A y B, cromonas, isobarbaloina, emodina, éster de ácido cinámico.
Carbohidratos	Mananos, glucomananos, acemananos galactano, xilano, glucogalactomananos, celulosa, sustancias pectínicas, galactoglucoarabinomanano.
Enzimas	Fosfatasa alcalina, amilasa, carboxipeptidasa, carboxilasa, catalasa, ciclooxidasa, fosfofenolpiruvato, ciclooxigenasa, superóxido dismutasa, lipasa y oxidasa.
Compuestos inorgánicos	Calcio, fósforo, cobre, magnesio, hierro, manganeso, potasio, sodio, zinc y cloro.
Aminoácidos esenciales y no esenciales	Alanina, arginina, ácido aspártico, ácido glutámico, glicina, histidina, hidroxiprolina, isoleucina, metionina, prolina, treonina, tirosina, valina, fenilalanina.
Proteínas	Lectinas
Vitaminas	B ₁ , B ₂ , B ₆ , C, β-caroteno, colina, ácido fólico y α-tocoferol.

Aplicaciones del *Aloe vera*

El AV es una planta con propiedades curativas que se conocen desde la antigüedad y cuyas propiedades se siguen explotando en la actualidad por su facilidad de uso y rápidos efectos. En México y en otras partes del mundo, el AV es ampliamente usado como una alternativa natural en la medicina, cosmética y farmacéutica, e incluso actualmente la industria alimentaria también aprovecha sus propiedades para preservar alimentos o purificar sus nutrientes (Choi y Chung, 2003). Lo anterior, con el objetivo de elaborar productos ricos en vitaminas, minerales, aminoácidos, entre otros. Estas aplicaciones también se han extendido en el campo de la

agricultura, ya que, a partir de la planta, se ha iniciado con el aprovechamiento de ciertas características para elaborar insecticidas menos nocivos para la salud (INE, 2014).

En el campo de la medicina el AV es reconocido por sus propiedades para estimular la respuesta inmune y su participación en la activación de células efectoras (Choi y Chung, 2003). Además, es utilizada como un inductor de la cicatrización, funciona como antiséptico, antiinflamatorio y antimicrobiano, para una recuperación más rápida del tejido dañado por heridas y/o quemaduras dérmicas leves (Zapata y col., 2012). Otras aplicaciones se han encaminado en la elaboración de cremas (filtros solares) para el bloqueo solar con AG extraído de la planta, ya que algunos de sus componentes tienen la propiedad de absorber la radiación UV. Además, se ha utilizado para regular el pH intestinal y acelerar los movimientos peristálticos del intestino (laxante) y para reducir la presencia de algunos microorganismos patógenos fecales e incluso sanar úlceras gástricas (Patruni y Srinivasa, 2014).

La cosmetología es la disciplina en la que el AV ha sido más explotado, debido a las características emolientes, humectantes, hidratantes, desinfectantes y por la capacidad de penetrar en la piel. Por ello, se ha utilizado en la producción de una diversidad de productos como jabones, cremas, tonificantes, lociones para la piel, filtros solares y otros (Almonacid, 2012; INE, 2014).

Aloe-gel en la Elaboración de Membranas y Micropartículas

El AG ha sido utilizado en la formulación de películas y membranas. Se ha demostrado que su uso en conjunto con otros biomateriales puede potencializar y mejorar sus propiedades fisicoquímicas y antimicrobianas. Reportes previos de membranas preparadas con alginato y AG han demostrado cambios significativos en las propiedades de absorción de agua de heridas y un aumento en la degradación *in vitro* (Pereira y col., 2013). En otros estudios, su adición en matrices de quitosano ha demostrado que su incorporación puede afectar el grosor de las membranas, sin afectar considerablemente la permeabilidad al vapor de agua. Además, puede inducir un aumento en la solubilidad en agua y en las propiedades mecánicas hasta cierto límite de proporcionalidad de AG en la membrana (hasta 20%), (Khoshgozaran-Abras y col., 2011). Por otro lado, la adición del AG en conjunto con gelatina ha demostrado efecto antibacterial contra *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Staphylococcus aureus* y *Bacillus cereus* en ensayos *in vitro*, conforme se incrementa la proporción de AG. Demostrando ampliamente que su uso como un aditivo es muy importante y de un amplio interés en el desarrollo de nuevos biomateriales (Chen y col., 2010).

Por su parte, en los sistemas de administración de fármacos, tales como micropartículas poliméricas, representan una estrategia significativa en la búsqueda de nuevos sistemas terapéuticos para la liberación controlada y dirección de fármacos en un sitio de acción en particular. Recientemente, se ha utilizado el AG en combinación con el quitosano en el tratamiento de los trastornos de la piel y la curación de heridas, mejorando las funciones de las células inflamatorias y promoviendo su organización. Recientemente se ha demostrado los beneficios farmacológicos de las formulaciones a base de AV y su actividad anti-psorásica. La cual, se ha asociado con la presencia de los glucomanos y acemananos. Debido a que tienen la capacidad de estimular el sistema inmune, reduciendo las señales de la respuesta inmune inflamatoria, pero a la vez aceleran la regeneración de tejido y activación de macrófagos, reduciendo de esta manera los síntomas de la psoriasis. Actualmente, se han demostrado nuevos mecanismos de acción específicos de diferentes preparaciones herbolarias de un número importante de plantas como el AG (agentes anti-psorásicos), principalmente inhibiendo la lipoxigenasa, actuando como agente antioxidante, antiinflamatorio y anti-prostaglandina, proporcionando datos más precisos sobre la eficacia y seguridad de tales tratamientos a base de AG y otras formulaciones (Boca y col., 2014; Rahman y col., 2017).

El uso de nanopartículas y micropartículas ha ido en aumento en los últimos años, especialmente para propósitos cosméticos y farmacéuticos. El análisis de micropartículas elaboradas a base de AG/quitosano ha puesto en evidencia su capacidad de formación y adherencia. Se ha demostrado que su biodistribución es buena sobre la piel, ya que los ensayos *in vivo* sobre heridas indican que pueden acelerar y promover el proceso de cicatrización, basados en la utilización de micropartículas etiquetadas con material radiactivo de tecnecio 99 (Pereira y col. 2014).

Pectina Cítrica

La pectina, es el nombre dado a una familia extremadamente compleja de polisacáridos presente en todas las paredes celulares primarias de las plantas. Se extrae comercialmente de cáscaras de cítricos en condiciones ligeramente ácidas y su estructura puede variar según la especie de origen, el tipo de tejido original, así como el estado ambiental y las condiciones de extracción. La pectina cítrica (PC) está constituida principalmente por cadenas lineales de ácido α -(1,4)-D-galacturónico que pueden estar compuestas por más de 17 monosacáridos distintos con grupos carboxilo, algunos de ellos esterificados por grupos metilo o acetilo. Estos complejos polisacáridos forman polímeros solubles en agua con una buena naturaleza filmogénica y

biodegradable, que puede ser explotada para diseñar membranas de PC. Estas membranas derivadas de PC han sido utilizadas como revestimientos comestibles cuando se plastifican con glicerol, las cuales han demostrado tener adecuadas propiedades mecánicas y que pueden ser una buena alternativa como recubrimientos de alimentos, comparada con empaques sintéticos. Además, la adición de PC a diferente tipo de matrices poliméricas, como el almidón y la caseína, ha demostrado que puede formar diversas interacciones complejas, resultando un aditivo interesante con el potencial de mejorar algunas de las propiedades deseadas en las membranas. Anteriormente, se ha descrito que una optimización cuidadosa de la relación del contenido de PC que se añade a la elaboración de membranas proporciona propiedades mejoradas de resistencia y elasticidad, así como una menor humedad y sensibilidad a la temperatura (Cunha y col., 2010; Taqi y col., 2013; Bonnaillie y col., 2014).

Adición Pectina Cítrica en la Elaboración de Membranas

Como se mencionó anteriormente, la PC es un aditivo interesante que puede inducir mejoras en algunas de las propiedades deseadas en las membranas ya que puede formar interacciones complejas con diferentes biopolímeros. Las interacciones que se pueden originar son de tipo intermolecular complejas y con propiedades únicas, que pueden resultar en una membrana significativamente diferentes a las de los componentes iniciales o independientes, por esos motivos, se han extendido sus usos de la industria alimentaria a la medicina y otras disciplinas, con muy buen éxito. Actualmente, los complejos intermoleculares formados a partir de la PC y quitosano están atrayendo el interés por su uso, debido a sus valiosas propiedades que surgen como resultado de interacciones peculiares en la combinación de matrices de alto peso molecular. En estas estructuras de polisacáridos, la presencia de grupos funcionales polares da como resultado una interacción intermolecular muy fuerte y una orientación altamente ordenada de los polímeros de cadena rígida. Esto da como resultado la posibilidad de usar los polímeros para formar complejos interpoliméricos fuertes con propiedades mecánicas mejoradas (Rashidova y col., 2004; Bonnaillie y col., 2014).

Por otro lado, cuando la PC se mezcla con almidón y glicerol como plastificante, se pueden generar membranas comestibles y biodegradables, que tienen una gran variedad de aplicaciones, ya que las membranas presentan adecuadas propiedades mecánicas y excelentes propiedades de barrera contra el oxígeno. La PC también es miscible con poli vinil alcohol en todas las proporciones, y juntas forman membranas que también tienen excelentes propiedades mecánicas. Los usos industriales potenciales para estas membranas incluyen bolsas solubles en

agua para detergentes e insecticidas, bolsas y forros desechables, y sistemas dispositivos de administración médica (Fishman y col., 2000).

Un estudio reciente, donde se desarrollaron membranas a partir de la mezcla de almidón/PC, mostraron que la adición de PC mejora las propiedades mecánicas, como la fuerza de tensión y porcentaje de elongación, además de una adecuada hinchazón y excelente barrera al vapor de agua (permeabilidad al vapor de agua), demostraron que estas mezclas permitían obtener materiales con propiedades filmogénicas adecuadas. Estas películas también presentaron características prometedoras en su utilización como administrador de fármacos específicos dirigidos hacia el colon y debido a que ha demostrado, resistencia contra la digestión enzimática en porciones superiores del tracto gastrointestinal (Meneguín y col., 2017).

Pectina Cítrica en la Administración Controlada de Fármacos

La administración controlada de fármacos sigue siendo objeto de investigación en el área de la salud pública y tiene como finalidad el mejorar la eficacia de determinados fármacos, reduciendo los efectos secundarios adversos no deseados. La PC se ha utilizado en la construcción de sistemas de administración de fármacos. Varias formulaciones derivadas de PC se han desarrollado y se les ha evaluado, mediante ensayos *in vitro*, *ex vivo* e *in vivo*, la capacidad de suministrar sustancias bioactivas con fines terapéuticos. Los estudios presentados han indicado que las membranas de PC muestran flexibilidad para adaptarse a diferentes requisitos clínicos, debido a que presentan propiedades de mucoadhesión en tejidos con adecuado suministro de fármacos y la capacidad de penetrar profundamente en la piel, siendo útiles para el tratamiento de padecimientos cutáneos. Por ejemplo, la PC puede emplearse como un material colon-específico debido a que este polisacárido no es digerido por las enzimas gástricas o intestinales, alcanzado el colon donde la PC será degradada por la microbiota presente. Por eso, su uso como material de cubierta en sistema nano y microestructurados, podría inducir la liberación de compuestos encapsulados en la matriz de PC, impulsados por la acción catabólica de las bacterias de la flora. Por lo tanto, tiene la capacidad como un transportador dirigido de fármacos a ese sitio anatómico (Liu y col., 2006; Kumar y col., 2010).

El cáncer de colon es el cuarto cáncer más común en todo el mundo, con más de medio millón de muertes reportadas cada año. La quimioterapia típica se proporciona generalmente forma de intravenosa u oral para reducir el crecimiento tumoral y la metástasis. Investigaciones recientes han buscado determinar los perfiles de administración oral de agentes quimioterapéuticos en el tratamiento de este tipo de cáncer. Estudios previos han revelado que

las matrices de PC entrecruzada con fármacos mediante iones de calcio han sido un vehículo ideal de liberación específica administrada por vía oral para el tratamiento de cáncer de colon. Por lo que se pretende, que la administración oral de estos sistemas terapéuticos incremente la biodisponibilidad del fármaco en el sitio diana, para poder reducir la dosis y en consecuencia los efectos tóxicos y adversos que provocan a nivel sistémico. Esto le ofrece a la PC especial ventajas como transportador de fármacos para su uso en el tratamiento de cáncer de colon y otras afecciones de tipo colónicas (Liu y col., 2006; Wong y col. 2010; Kumar y col., 2010).

Incorporación de Aceites Esenciales en Pectina Cítrica

Las membranas de biopolímeros pueden funcionar como un material de cubierta encapsulante o de soporte para transporte de compuestos bioactivos. Por lo que, son una alternativa ideal para incorporar agentes antimicrobianos y antioxidantes. Informes anteriores, ha demostrado que el eugenol y el cinamaldehído son los principales compuestos bioactivos del aceite esencial de canela, cuyos compuestos fenólicos volátiles son capaces de dañar las células microbianas patógenas y retrasar su desarrollo. A pesar de sus propiedades benéficas, estudios previos demuestran que su aplicación a los cultivos y hortalizas postcosecha es aún un desafío, considerando que suelen ser muy volátiles y con una elevada reactividad y además poseen un fuerte aroma que se ha visto que afectan los atributos sensoriales de las frutas, cuando su aplicación es directa (Ayala-Zavala y col., 2012).

Por otro lado, la elaboración de revestimientos comestibles de materiales biodegradables, son comúnmente utilizados como transportadores de compuestos antimicrobianos, con el objetivo de conservar la calidad e inocuidad de diferentes alimentos. El aceite esencial de orégano ha demostrado ser útil como agente antimicrobiano. Sin embargo, sus aplicaciones alimentarias pueden verse afectadas por la volatilidad de sus componentes bioactivos. Por lo anterior, la fabricación de revestimientos comestibles cargados o incorporados de aceite esencial del orégano, se ha utilizado como una alternativa para mejorar sus usos alimentarios. Algunos estudios han evidenciado que el aceite de orégano tiene actividad antibacterial cuando ha sido aplicado como revestimientos y expuesto a cepas de *Chromobacterium violaceum*, *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella choleraesuis*, *Staphylococcus aureus* y *Listeria monocytogenes* con una capacidad mínima inhibitoria (CMI) de 0.24 mg/mL para todas las bacterias ensayadas. Además, tiene la capacidad de reducir la cantidad de coliformes totales y levaduras en ensayos con alimentos en su aplicación *in vivo* a 4 °C durante 15 días. Estos resultados han demostrado

que el aceite de orégano incorporado hacia PC y aplicado en forma de revestimientos pueden tener efectos significativos en la reducción de microorganismos patógenos (Álvarez y col., 2014).

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de *Aloe*-gel de la Planta de *Aloe vera*

El AV fue obtenido de un jardín privado en Ciudad Obregón, Sonora, México. El cual tenía más de dos años de haber sido plantada. Las hojas fueron cortadas desde la base con un cuchillo de cocina. Las hojas fueron envueltas en toallas de papel y transportadas al laboratorio. Posteriormente, fueron lavadas para la eliminación de las trazas de látex y residuos de tierra. Para la extracción de la pulpa, se retiró la corteza de las hojas y se recolectó la pulpa, que fue licuada hasta formar un gel homogéneo. Una vez realizado este procedimiento, se filtró con una malla de nylon para retirar los restos de fibras vegetales. Después de este paso, se le realizó doble centrifugado a 4000 RPM por 5 minutos y se recolectó el sobrenadante. Finalmente, todo el AG obtenido fue pesado en una balanza y se le adicionó de ácido cítrico al 0.01% (% m/m) y se agitó a 8 RPM durante 15 minutos en placa de agitación, para su posterior almacenamiento a -20 °C, hasta el momento de su utilización.

Elaboración de Membranas de PC/AG Incorporadas con CAR

Preparación de la Emulsión Previa

La preparación de la emulsión (Figura 3) fue realizada en tubos Falcon de 50 mL, comenzando con la adición de la cantidad de CAR deseada para la concentración de la membrana (0.25%, 0.50% y 1.00% v/v). Posteriormente, se adicionó 1 mL de etanol al 50% para disolver el contenido de carvacrol y luego fue adicionado 200 µL de Tween 80. Esta emulsión previa fue homogenizada a 12,000 RPM durante 1 minuto en un turbo homogeneizador de alimentos. Una vez terminado se centrifugó a 500 RPM durante 2 minutos para la eliminación de las burbujas de aire creadas por la agitación. Finalmente, la emulsión fue sumergida en un sonicador durante 10 minutos.

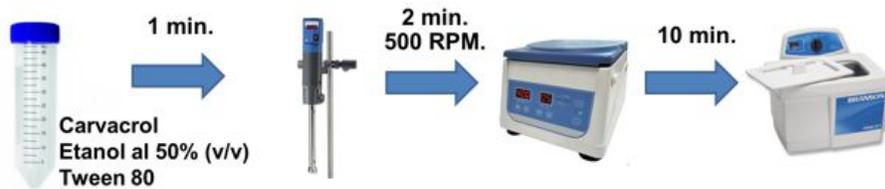


Figura 3. Esquema de la preparación de la emulsión previa.

Elaboración de Membranas

Para la elaboración de las membranas (Figura 4) se utilizó una sola proporción de PC/AG (70PC.30AG %m/m) a cuatro diferentes concentraciones de CAR (0.00, 0.25, 0.50 y 1.00 %v/v) y un control PC. A cada una de las emulsiones previas se le adicionó 20 mL de matriz formadora de membrana y posteriormente se les añadió 2% de glicerol (%v/v) como agente plastificante. Esta mezcla se homogenizó a 12,000 RPM durante 10 minutos en un turbo homogeneizador de alimentos. Después de este paso, se centrifugó a 1,500 RPM durante 5 minutos para la eliminación de las burbujas de aire formadas en la agitación de la mezcla. Finalmente, las mezclas se vaciaron en bases de cajas Petri de vidrio y se colocaron en un horno a 45 °C durante 72 h, para la obtención de las membranas. Las membranas obtenidas fueron colocadas en bolsas plásticas con cierre hermético y almacenadas en un desecador a 25 °C, hasta el momento de su análisis.

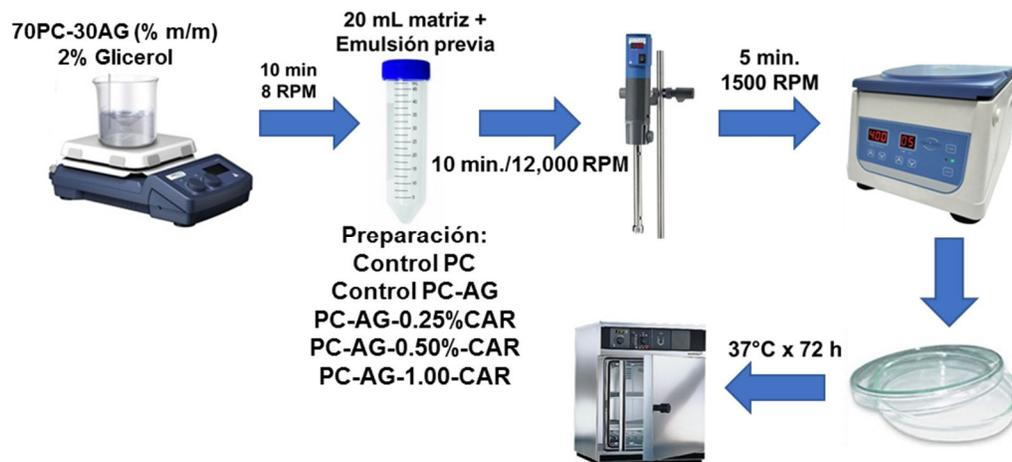


Figura 4. Esquema de la elaboración de membranas.

Evaluación Físicoquímica

Color y Opacidad

Las membranas se midieron con un colorímetro (X-rite SP-64), para ello se tomaron cada membrana de cada concentración. Las mediciones se realizaron sobre la membrana por 5 ocasiones de manera aleatoria. El color de las películas se expresó con base en el modelo CIELAB (L^* , a^* y b^*), los parámetros representados como L^* denotaron la luminosidad del material estudiado y b^* representó una escala de color del amarillo al azul y a^* del verde al rojo. Por otro lado, la opacidad se determinó mediante el mismo equipo, arrojando datos en razón de porcentaje de opacidad (% opacidad).

Transmitancia

Para la presente prueba, se cortaron las membranas de 1.0 cm x 4.2 cm; los recortes se colocaron en una celda de cuarzo. La transmitancia de las membranas fue medida en un espectrofotómetro UV-visible (espectrofotómetro UV-vis Marca Cintra 10e, Australia) a longitudes de onda: 190, 200, 280, 350, 400, 500, 600, 700, 800 y 900 nm.

Microestructura

La morfología de las membranas elaboradas, se examinaron con un microscopio electrónico de barrido (SEM, por sus siglas en inglés) marca JEOL modelo JSM 5410LV, equipado con un sistema INCA, detector de microanálisis EDS (Energy Dispersive X-Ray por sus siglas en inglés) marca Oxford Instruments, operado a 20 kV. Para este análisis, muestras de membranas de 2.0 cm x 2.0 cm fueron enviadas al Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales de la Universidad de Sonora en Hermosillo, empaquetadas en papel aluminio individualmente y colocadas en bolsas plásticas de cierre hermético con bolsas de gel de sílice para su adecuado transporte.

Permeabilidad al Vapor de Agua (PVA)

La PVA, se determinó gravimétricamente, para ello, las membranas se sellaron en la parte superior de matraces Erlenmeyer de 50 mL, los cuales, contenían 10 mL de agua destilada [100

% de humedad relativa (HR); 3.168 kPa de PVA a 25 °C]. Posteriormente, se pesaron los matraces en su hora 0 y se colocaron en un desecador a 25 °C y 0% de HR (0% kPa de PVA). La celda de prueba con las membranas, fueron posteriormente pesadas en intervalos de 3 horas durante un lapso de 12 horas. El estado ideal y de uniformidad de las condiciones de PVA del ensayo, se asumieron con una circulación de aire constante dentro del desecador, por lo cual fue necesario la utilización de un pequeño ventilador dentro de él. Con el valor de las diferencias de masa en función del tiempo, se realizó una regresión lineal para estimar la pendiente mediante la ecuación de la recta. Una vez obtenida la pendiente se calculó la razón de transmisión de vapor de agua (RTVA) mediante la siguiente ecuación:

$$RTVA = \frac{\text{Pendiente}}{\text{Área de la membrana}}$$

La PVA de las membranas se calculó multiplicando la RTVA por el grosor promedio de la película (G) y se dividió por la diferencia de las presiones parciales dentro (PA_1) y fuera del tubo (PA_2) como se expresa en la ecuación:

$$PVA = \frac{RTVA}{(PA_1 - PA_2)} G$$

Grosor

La medición del grosor en las membranas PC/AG incorporadas con CAR y control PC, se realizó con un micrómetro con precisión de 0.001 mm. Las mediciones fueron realizadas en diferentes puntos al azar de la membrana y se registraron los promedios de estas. El valor de grosor fue utilizado para el calcular la permeabilidad al vapor de agua.

Pruebas Mecánicas

Se empleó el método estándar ASTM-D882-12, para medir la fuerza de tensión (FT). Las películas fueron cortadas en rectángulos de 6.0 × 1.0 cm y se acondicionaron a 50 % de humedad relativa durante 24 h. Para este análisis, las muestras fueron enviadas al Departamento de

Biopolímeros del Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo, A.C. en la ciudad de Hermosillo Sonora, protegidas adecuadamente para su transporte.

Espectrometría Infrarroja Transformada de Fourier (FTIR)

Cada muestra de membrana (5 mg) se mezcló con bromuro de potasio y después por compresión se obtuvo un disco. Dichos discos fueron escaneados con una resolución de 2 cm^{-1} , a una región de longitudes de onda de $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$, empleando el espectrofotómetro FTIR Perkin-Elmer 1600. Todas las mediciones a las membranas fueron realizadas por triplicado en modo de transmitancia. El grado de esterificación (GE) de la PC se estimará utilizando la ecuación basada en el valor de áreas de pico de las bandas de éster carbonilo, que previamente fueron establecidas en el protocolo de Gnanasambandam 2000 (Gnanasambandam and Proctor, 2000).

Análisis Estadístico

La PVA, transmitancia, color, opacidad, espesor y FT, fueron consideradas como variables de respuesta y las membranas control y las diversas proporciones utilizadas, fueron asignadas como factores. Para probar la diferencia se utilizó un análisis de varianza, ajustando la toma de decisiones a través de la prueba de Duncan con un $\alpha = 0.05$. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete estadístico NCSS, 2000.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación Físicoquímica

Color

Las características del color son propias de la materia y establecerlas como una evaluación en las membranas ayuda a caracterizar con más detalle sus especificaciones visuales. Los valores de color mostrados en la Tabla 2, muestran en el parámetro de b^* que las membranas presentaron una coloración amarilla. La membrana control PC fue la que presenta el valor de b^* más bajo y la proporción PC/AG-1.00% el más alto. Este resultado, sumado a los parámetros obtenidos en las demás membranas con CAR incorporado (0.25 y 0.50 %), denotan una tendencia a incrementar su coloración amarilla conforme se aumenta la concentración de CAR, esto contrasta con lo reportado por López-Mata y colaboradores (2013), donde los autores mencionan que el incremento en la concentración de CAR incorporada en membranas de quitosano elaboradas mediante método de Casting, podía disminuir los valores de b^* y, por lo tanto, su coloración amarilla. Además, mencionan que los agentes tensoactivos como el Tween-80, no son capaces de modificar la transparencia de las membranas, pero puede llegar a influir también en un aumento de la coloración amarilla. Además de CAR, los cambios en la coloración amarilla también podrían estar influenciados por las cantidades de AG adicionado en la elaboración de la membrana. Reportes previos en películas de quitosano/AG, ha evidenciado que los cambios en la coloración podrían estar fuertemente asociados a la presencia de las antraquinonas de la corteza, ya que son difíciles de eliminar por completo y, además, son sensibles al aire y a la luz. Por lo cual, se produce la oxidación de estos compuestos fenólicos otorgando una mayor tonalidad amarilla en su adición (Khoshgozaran-Abras y col., 2011).

Respecto a los valores de luminosidad (L^*) se pudo apreciar una tendencia inversa a los valores de b^* ya que, conforme se fue incrementado la concentración de CAR, se observó una tendencia en la reducción de la luminosidad, siendo significativa a partir de la membrana PC/AG-0.50% ($p < 0.05$), comparada con el control. Previamente, se ha reportado que la incorporación de CAR a películas de quitosano, puede influir en la disminución de la luminosidad de este tipo de películas (López-Mata y col., 2013). Finalmente, es importante aclarar, que no se ha determinado el grado de influencia que el Tween-80 y el AG pudieran tener sobre los cambios presentados en los parámetros de b^* y L^* . Aunque también se considera que pudo haber influido

las formas y tamaños de las microcápsulas que se formaron dentro de las membranas y que discutirán en la sección de la microscopia de barrido electrónico.

Tabla 2. Parámetros de color en membranas de PC/AG-CAR.

Membranas PC/AG-CAR (%)	L^*	a^*	b^*
PC	92.6 ± 0.23^a	-1.4 ± 0.02^a	4.3 ± 0.35^a
PC/AG	92.1 ± 0.19^a	-1.9 ± 0.06^b	5.7 ± 0.46^a
PC/AG-0.25%	91.0 ± 0.40^b	-2.3 ± 0.08^c	7.5 ± 0.65^b
PC/AG-0.50%	90.6 ± 0.17^b	-2.3 ± 0.03^d	7.4 ± 0.19^b
PC/AG-1.00%	89.4 ± 0.47^c	-2.7 ± 0.03^c	10.8 ± 0.75^c

*Medias en una misma columna con diferentes superíndices indican una diferencia significativa (Prueba de Duncan; $p < 0.05$).

Transmitancia y Opacidad

La transmitancia es una prueba que consiste en conocer la fracción de luz que incide a una longitud de onda específica y que pasa a través de la membrana. En este estudio se observó la capacidad que tienen estas membranas para absorber la luz en la región UV y la buena capacidad que tienen para permitir el paso de la luz visible. Los valores de transmitancia (Tabla 3) presentan un incremento conforme aumentan las longitudes de onda. En cuanto a los porcentajes de transmitancia de la luz en las membranas estudiadas, destacan las longitudes de onda de 190 y 200 nm, donde la radiación que atraviesa las membranas está en un intervalo de 0.003 - 0.3 % a 190 nm y de 0.001 - 0.02 % a 200 nm. Esto nos permite establecer que tienen la capacidad de absorber la luz UV, lo que les confiere un potencial como membrana bloqueadora. De manera particular, se puede resaltar a la membrana PC/AG-1.00%, la cual presentó los porcentajes más bajos de transmisión de luz en la región UV en un intervalo de 0.007 – 38.52 % (400 a 190 nm). Además, en las membranas incorporadas con CAR restante (0.25 y 0.50 %) también se observaron propiedades bloqueadoras de la luz UV a longitudes de onda de 190 – 280 nm. Este fenómeno anteriormente se ha observado en la adición de diferentes concentraciones de aceite esencial del laurel en membranas de pectina de manzana y almidón de yuca, mejorando sus propiedades de barrera frente a los rayos UV en un rango de 200 – 280 nm, fenómeno que fue atribuido a la presencia de enlaces insaturados, principalmente C-O (Taqi y col., 2013).

Por otro lado, Reynolds y Dweck (1999), mencionan que las aplicaciones tópicas del AG en lesiones ocasionadas por la radiación UV no inducen un beneficio en la salud, sin embargo, se sabe que puede tener la capacidad de proteger la piel contra los daños causados por esta misma radiación, incluso antes de que ocurra una lesión. Finalmente, en este estudio se demostró que las membranas PC/AG incorporadas con CAR tienen la capacidad de absorber la radiación UV. Sin embargo, por el alcance de nuestro estudio no se pudo conocer el efecto que las membranas puedan tener sobre la protección de tejido sano o los efectos de regeneración sobre el tejido dañado por causa de la radiación UV, porque no se realizaron estudios *in vitro* o *in vivo*.

Tabla 3. Transmitancia de luz (%) y opacidad de membranas PC/AG-CAR.

Membranas	Longitud de onda (nm)										Opacidad (%)*
	900	800	700	600	500	400	350	280	200	190	
PC	85.42	84.15	82.45	79.51	74.55	61.02	37.30	10.94	0.004	0.003	9.67 ± 0.16 ^a
PC/AG	86.20	85.10	83.45	80.04	75.84	51.81	25.54	7.04	0.021	0.340	10.07 ± 0.22 ^{ac}
PC/AG-0.25%	78.30	76.96	75.17	72.00	68.59	47.16	28.36	0.007	0.004	0.040	10.26 ± 0.18 ^b
PC/AG-0.50%	82.90	82.21	80.99	78.41	75.00	51.81	30.17	0.001	0.001	0.020	10.07 ± 0.14 ^{ac}
PC/AG-1.00%	68.21	67.31	65.98	63.24	59.61	38.52	20.36	0.019	0.002	0.007	10.08 ± 0.15 ^{ac}

*Diferentes superíndices indican una diferencia significativa ($p < 0.05$).

La opacidad de la membrana es un elemento importante para estimar la incidencia de la luz que puede afectar sobre lo que se puede observar a través de la membrana. En el área de la industria de alimentos este parámetro es importante porque la transparencia de las películas depende de la probable aceptación o rechazo por el consumidor. En el área de la salud, el poder ver a través de un apósitos o vendajes de tipo transparente es muy importante, ya que nos permite ver directamente la evolución de una herida. Los parámetros de opacidad se muestran también en la Tabla 3. Donde podemos observar que no existieron cambios significativos ($p > 0.05$) de la membrana control con respecto a las membranas cargadas con CAR (intervalo de 9.67 – 10.26 %). De manera independiente pudimos observar que la membrana control PC fue la que presentó una menor opacidad aparentemente, ya que no puede distinguirse de manera visual, ver Figura 5. Mientras que la membrana PC/AG-0.25% fue la que presentó el mayor valor de opacidad. Nuestro estudio contrasta con lo reportado por Taqui y colaboradores (2013), quienes encontraron que la opacidad de las membranas aumenta en relación con el incremento en la proporción de aceite esencial utilizado en la elaboración de películas. Esto podría atribuirse al

estado físico de los aceites a temperatura ambiente, haciendo que la opacidad dependa en gran medida de la concentración de material oleoso en la membrana.

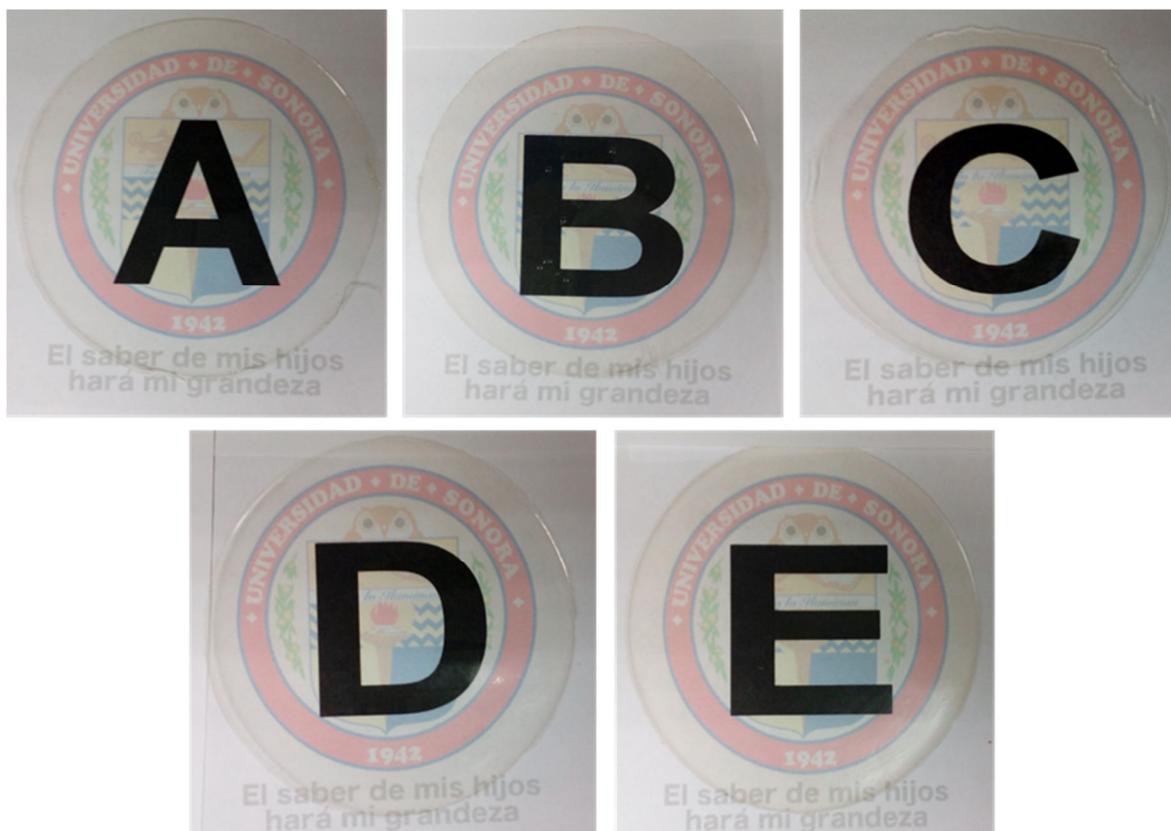


Figura 5. Opacidad de membranas según la proporción de PC/AG-CAR incorporado (A: PC; B: PC/AG; C: PC:AG-0.25%; D: PC/AG-0.50%; E: PC/AG-1.00%).

Microestructura

La microestructura se realizó por microscopía electrónica de barrido (SEM) la cuál es capaz de producir imágenes de alta resolución de la superficie de la membrana. Las imágenes de SEM (Figura 6) ilustran las diferencias en la morfología superficial de las membranas, sobre todo en la presencia de estructuras amorfas de diferentes tamaños y aspecto blanquecino, que podrían deberse a la presencia de azúcares o compuestos de bajo peso molecular que pudieron haber sido desplazados en la membrana por la pérdida de agua durante el proceso de su secado, además, en la membrana control de PC/AG (imagen C) se puede observar la presencia de poros,

que desaparecen en las membranas incorporadas con CAR. También se puede observar que las estructuras blanquecinas amorfas presentes en las membranas control PC y PC/AG, disminuyeron con la adición CAR. Este comportamiento puede atribuirse a gránulos de PC no disueltos en la solución madre, debido a que anteriormente se ha demostrado que en preparaciones de membranas de pectina y almidón se han observado estructuras similares asociadas a gránulos de almidón y pectina no gelificados (Fishman y col., 2000).

Por otro lado, se puede observar la presencia de microcápsulas en las membranas de PC/AG incorporadas con carvacrol (0.25%, 0.50% y 1.00%), donde la membrana PC/AG-0.25% (imágenes E y F) fue la que aparentemente presentó la mayor proporción de microcápsulas, donde podemos observar sobre la superficie microcápsulas con CAR que tienen un rango de diámetro aproximado de 10 a 20 μm . Respecto a la PC/AG-0.50, la presencia de microcápsulas fue menos notoria, pero podemos observar que son de un diámetro menor (\approx 5-10 μm) y se observan en una parte más interna de la membrana. Las membranas con más alta concentración de CAR (PC/AG-1.00%) también muestran microcápsulas con CAR con rango de diámetro aproximado de 2-10 μm (imágenes I y J). En esta misma membrana, se observa que el retraimiento de la matriz de cubierta de PC/AG durante el secado, dejó aberturas que muestran el interior de las microcápsulas y nos dan una idea de su estructura interna. Contrario a nuestro estudio, Ramos y col. (2012) encontraron que la incorporación con CAR y timol en películas de polipropileno pueden desarrollar poros visibles a través del análisis de su microestructura (Ramos y col., 2012). Un comportamiento similar, también fue observado por Altiok y colaboradores (2010), al utilizar el aceite de tomillo en membranas a base de quitosano.

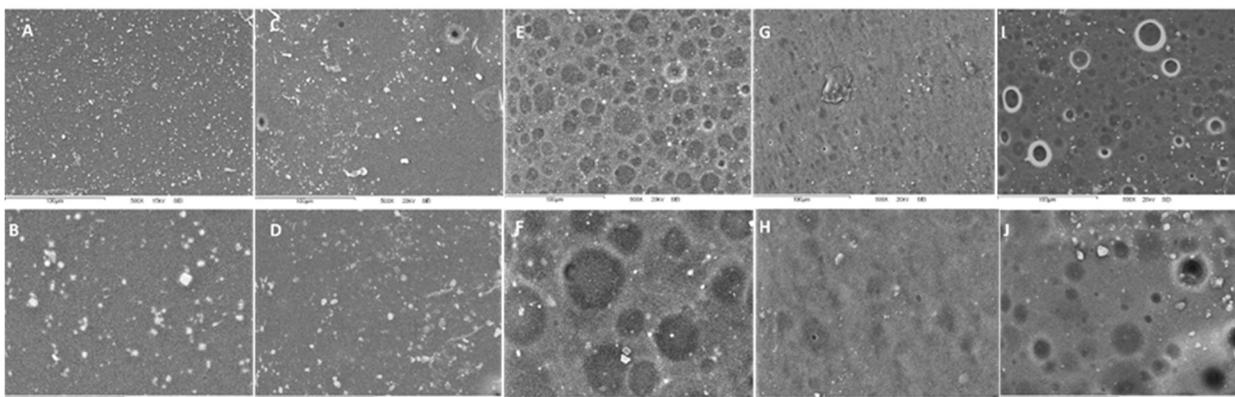


Figura 6. Microestructura de las membranas de PC/AG-CAR. **A=** PC; **B=** PC; **C=** PC/AG; **D=** PC/AG; **E=** PC/AG-0.25%CAR; **F=** PC/AG-0.25%CAR; **G=** PC/AG-0.50%CAR; **H=** PC/AG-0.5%CAR; **I=** PC/AG-1.0%CAR; **J=** PC/AG-1.0%CAR (Panel ACEGI: 500X; Panel BDFHJ: 1500X).

Permeabilidad al Vapor de Agua (PVA)

La PVA es la capacidad que tiene una membrana para permitir el paso de vapor de agua a través de ella. Para obtener la PVA de las diferentes membranas primero se calculó la RTVA con base en la ecuación de la recta obtenida en las mediciones de cada membrana. En la Figura 7, se muestran los resultados del comportamiento de la PVA de las membranas evaluadas. Donde se observa que la PC/AG presentó la más baja PVA ($1.51 \pm 0.02 \text{ g mm m}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ kPa}^{-1}$) al compararse con todas las membranas e incluso fue hasta 14.68% más baja que la membrana de PC ($1.77 \pm 0.12 \text{ g mm m}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ kPa}^{-1}$) esto debido a que se ha demostrado anteriormente que las membranas de superficie hidrofílica como las elaboradas con PC, incrementan su permeabilidad al aumentar el grosor de estas (Denavi y col., 2009; Andrade y col., 2016). Además, la adición de AG en membranas de gelatina en un estudio realizado por Sui Chin y colaboradores (2017) ha concluido en que los polisacáridos que están presentes en el gel pueden aumentar la densidad de las membranas reduciendo el espacio intersticial en la matriz, lo que lleva a un empaquetado más compacto entre las cadenas de polisacáridos de la PC, que, a su vez, reduciendo la cantidad de moléculas de agua que pueden atravesar la membrana.

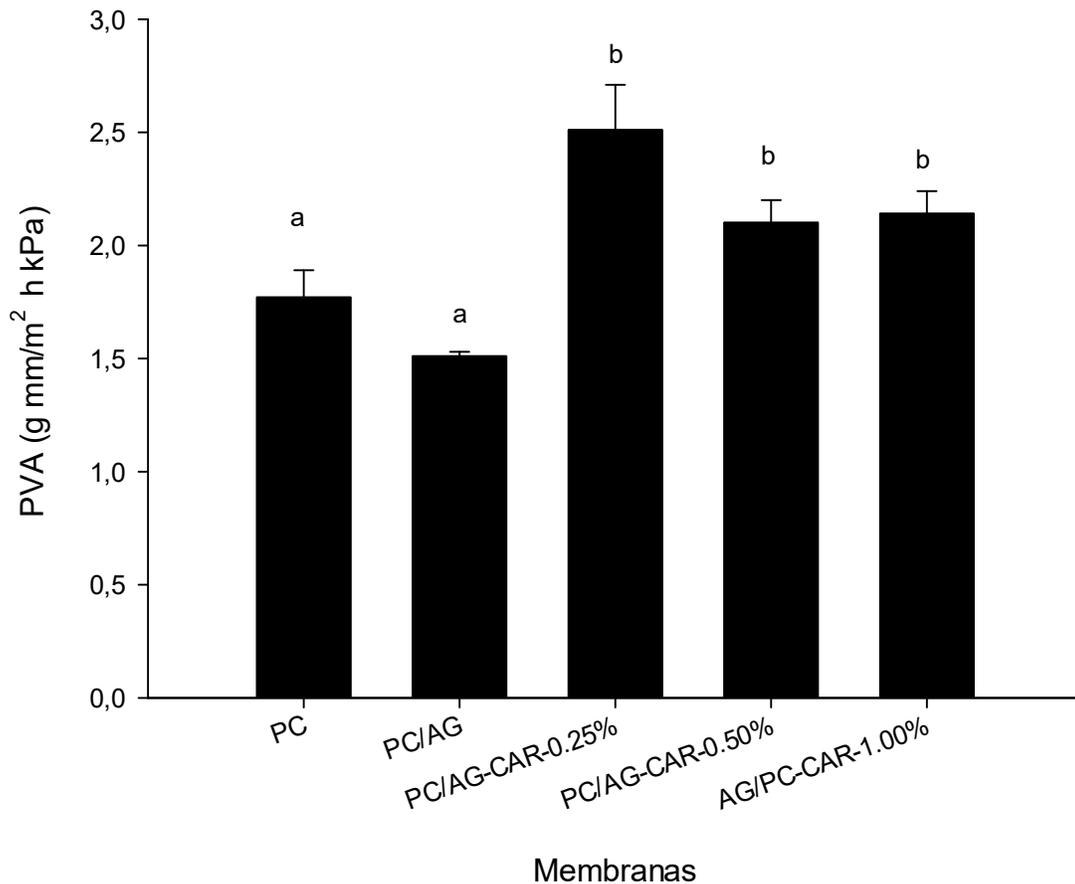


Figura 7. Comportamiento de la PVA de membranas a base de PC/AG-CAR. Literales distintas entre columnas representan una diferencia significativa ($p < 0.05$).

De manera particular se puede resaltar la membrana PC/AG-0.25% la cuál presentó un incremento significativo en su PVA del 66.22% con respecto a su similar PC/AG. Este comportamiento podría explicarse por la formación y reorganización de la matriz, en la superficie de la membrana con la adición de CAR al momento de formar las microcápsulas observadas en el análisis de SEM (Altiok y col., 2010). Por otro lado, las membranas PC/AG-0.50% y PC/AG-1.00% presentaron un comportamiento similar con un incremento del 39% y 41% respecto a la membrana control de PC/AG. Esto nos indica, que los incrementos de CAR hacía la membrana, no necesariamente tiene un reducción o incremento lineal de la PVA de membranas (Zivanovic y col., 2005).

Estudios previos muestran inconsistencia en los resultados obtenidos de PVA, cuando se utilizan aceites esenciales. Ya que algunos establecen que la hidrofobicidad de los aceites puede ayudar a reducir la PVA en películas de quitosano. Mientras que otros autores no refieren cambio en la PVA cuando se utilizan aceites esenciales en membranas de alginato (Rojas-Graü y col., 2007).

Finalmente, Ghanbarzadeh y colaboradores (2006) afirmaron que el uso de glicerol en formulaciones de membranas también puede tener una influencia significativa en el incremento de la PVA, lo cual se ha visto previamente en membranas de zeína, debido a que el plastificante tiene la capacidad de reducir las fuerzas intermoleculares entre las cadenas de los polímeros y sustituirlas por puentes de hidrógeno formados entre el plastificante y las moléculas del polímero permitiendo una mayor movilidad de las cadenas (Jantrawut y col., 2017), facilitando la migración de moléculas de agua a través de la película. Por otro lado, la hidrofilia del glicerol también puede favorecer la adsorción de moléculas de agua, lo que puede contribuir a la reducción de la PVA (Jouki y col., 2013). Al igual que el glicerol, el AG también tiene la propiedad de retener agua, este fenómeno no fue directamente estudiado, pero se puede suponer que una proporción importante del agua pudo no haber atravesado la membrana, sino que fue retenida en la misma, induciendo un probable efecto de hinchazón.

Pruebas Mecánicas

La prueba mecánica de FT fue la prueba considerada para evaluar el comportamiento físico-mecánico de las membranas y expresa la tensión máxima desarrollada en una membrana durante la prueba, hasta el punto de rompimiento. Las propiedades mecánicas de las membranas dependen de las interacciones intra e intermoleculares de las cadenas de polímeros en su red estructural (Ahmad y col., 2015). En la tabla 4 se muestran los parámetros obtenidos de la prueba de FT, donde se puede observar que la membrana PC/AG fue la que presentó menor FT como efecto de la adición de AG, lo cual podría deberse a diferentes enlaces cruzados entre las cadenas de polímeros. Este comportamiento se demostró anteriormente en un estudio realizado por Chen y colaboradores (2010) donde la adición de gel de *Aloe* perturbó la interacción y la alineación entre las cadenas de gelatina disminuyendo la FT en las membranas.

Por otro lado, la incorporación de CAR en la membrana PC/AG-0.25% aumentó significativamente la FT siendo la membrana con este parámetro más alto en el presente estudio. Taqi y colaboradores (2013) mencionan en su estudio que la incorporación de ingredientes oleosos tiene efectos variables (o inconsistentes) en los parámetros mecánicos, dependiendo de

su naturaleza específica y los efectos sobre la microestructura de la membrana, que causan una reducción o incremento significativo de la FT en las membranas compuestas. Por su parte, Yuan y colaboradores (2015) elaboraron membranas de quitosano incorporadas con CAR y obtuvieron un ligero incremento en la FT al adicionar extracto de cáscara de granada. Este comportamiento contrasta con los resultados obtenidos por Siripatrawan y Harte (2010), que encontraron que la adición del extracto de té verde en membranas de quitosano aumenta significativamente la FT. Probablemente debido a la interacción entre la matriz de quitosano y compuestos polifenólicos del extracto de té verde. Por lo anterior, en este estudio podemos suponer que debido a la naturaleza específica del CAR y sus efectos en la formación de microcápsulas, además de la presencia de compuestos polifenólicos como las antraquinonas en el AG estén interactuando intra e intermolecularmente en la estructura de la matriz de PC en sinergia e influyen en la FT de la membrana PC/AG-0.25% (De Jesús y col., 2015).

Sin embargo, los parámetros de la prueba fueron inconsistente entre las membranas con la incorporación de diferentes concentraciones de CAR (PC/AG-0.50% y PC/AG-1.00%) causando una reducción significativa. Este resultado confirma lo establecido por Cagri y colaboradores (2001) quienes mencionan que la incorporación de aditivos distintos de los agentes de reticulación generalmente disminuye el valor de FT.

Tabla 4. Fuerza de tensión en membranas de PC/AG-CAR.

Membranas	Grosor (mm)	Fuerza de tensión(N/mm²)
PC	0.136 ± 0.014	13.121 ± 1.099 ^a
PC/AG	0.113 ± 0.005	0.569 ± 0.0166 ^b
PC/AG-0.25% CAR	0.200 ± 0.015	13.878 ± 0.685 ^a
PC/AG-0.5% CAR	0.163 ± 0.007	7.2184 ± 1.606 ^c
PC/AG-1.0% CAR	0.168 ± 0.006	3.475 ± 1.458 ^d

*Diferentes superíndices indican una diferencia significativa ($p < 0.05$).

Análisis por Espectroscopia de FTIR

En el área de investigación de la química, biología, ciencia de materiales, por mencionar algunas, la espectroscopia de FTIR es utilizada como herramienta de apoyo en la caracterización de materiales. En la figura 8 se muestran los espectros característicos de las membranas preparadas de PC, PC/AG y PC/AG en presencia de CAR, el cual se adicionó a diferentes proporciones (0.25, 0.5 y 1.00 % v/v). Los espectros de las membranas de PC y PC/AG muestran bandas y picos característicos de los grupos funcionales presentes en la estructura molecular de la PC y el AG, previamente descritas por Gastelum-Cabrera y col. (Datos aún no publicados en revisión). La composición química del AG consiste principalmente de polisacáridos acetilados y desacetilados en el carbono 6, similar a la estructura química de la PC, por lo que los espectros de FTIR en las membranas compuestas por PC/AG prácticamente se conservan. Brevemente, las bandas a 3287 cm^{-1} corresponden al estiramiento del -OH , mientras que los picos que se observan a 2990 y 2880 cm^{-1} indican las vibraciones de los grupos -O-CH_3 - y -CH_2 -, respectivamente, presentes en ambos polisacáridos.

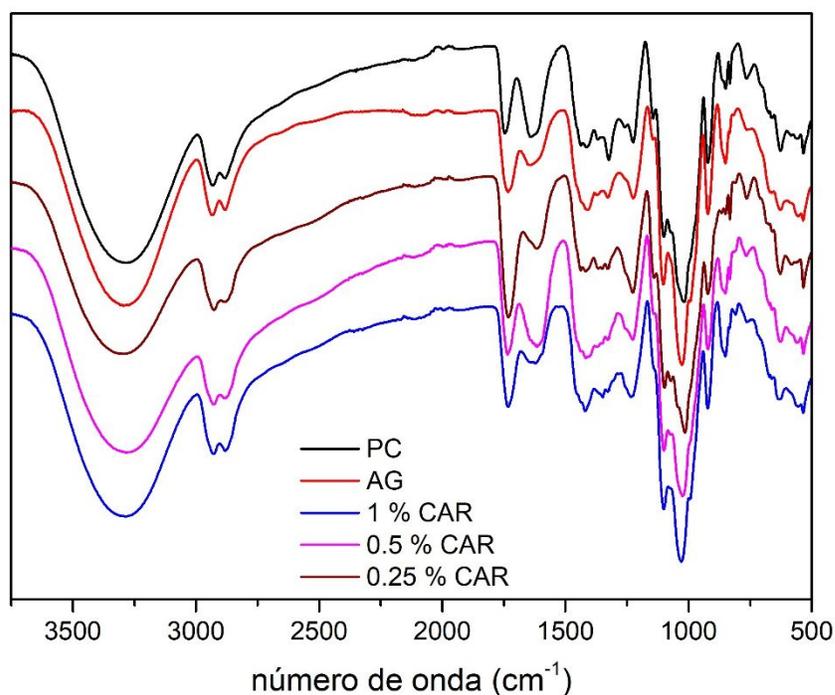


Figura 8. Espectro de FTIR ($4000\text{-}500\text{ cm}^{-1}$) de membranas de PC/AG-CAR.

Las bandas centradas en 1731 y 1620 cm^{-1} corresponden al estiramiento de los grupos -COO-CH₃ y -COO- (Gnanasambandam, 2000; Mishra y col., 2011). El estiramiento del enlace -C-O-C del anillo de piranosa se identifica por los picos de absorción que se observan a 1230 y 1015 cm^{-1} (Gnanasambandam, 2000; Mishra y col., 2008).

Por otra parte, las bandas y picos de absorción reportadas para el CAR se solapan con algunas bandas y picos que se presenta el espectro FTIR de PC/AG. Sin embargo, se puede observar cambios en la posición de las bandas de absorción e incluso ensanchamiento de estas debido a la presencia de CAR. Por ejemplo, el pico a 1015 cm^{-1} correspondiente al anillo de piranosa presenta un desplazamiento batocrómico de 15 cm^{-1} , presentándose a 1030 cm^{-1} . Así que para identificar la presencia de CAR en las membranas PC/AG, se analizaron tres regiones del espectro FTIR (1800-1500, 1150-1000 y 950-800 cm^{-1}) en donde se identifican bandas y picos característicos para el CAR (Valderrama y Rojas, 2017). Por ejemplo, en el rango de 1800-1500 cm^{-1} , el carvacrol presenta dos picos de absorción correspondientes a las vibraciones del enlace C=C. En particular, el carvacrol presenta dos picos a 1620 y 1588 cm^{-1} , correspondientes a las vibraciones C=C del anillo bencénico. Sin embargo, los picos de transmitancia se solapan con la banda correspondiente al estiramiento asimétrico -COO-. Es importante señalar que esta banda de absorción presenta un desplazamiento hacia el rojo de 7 cm^{-1} (de 1627 cm^{-1} a 1620 cm^{-1}) además de un cambio significativo en el ancho de la banda centrada, indicando la presencia de carvacrol en la membrana. Por último, los pequeños hombros a 990 cm^{-1} y 812 cm^{-1} definen a un anillo de benceno 1:2:4 sustituido y a la vibración fuera de plano del grupo C-H.

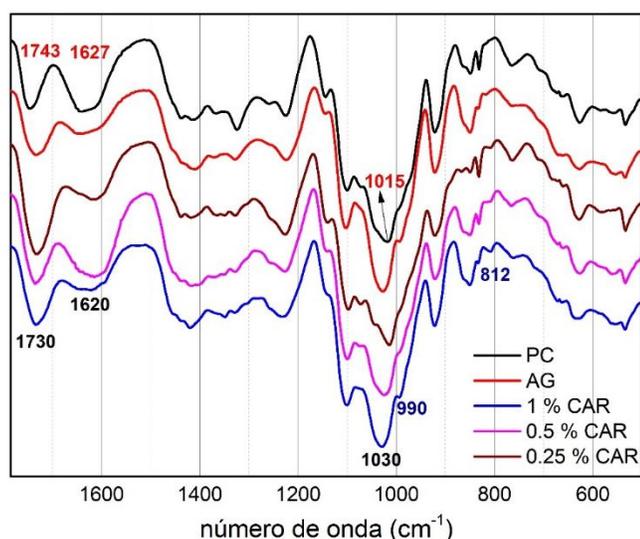


Figura 9. Espectro de FTIR (1800-500 cm^{-1}) de membranas de PC/AG-CAR.

CONCLUSIÓN

Las membranas obtenidas fueron caracterizadas fisicoquímicamente siendo evaluadas distintas propiedades que estas poseen. Las membranas fueron transparentes y con tendencia a una coloración amarilla con diferentes tonalidades según la proporción de sus componentes. Donde, la opacidad de las membranas no se vio significativamente afectada por la incorporación de CAR. Además, tuvieron la capacidad de absorber la luz UV y una buena transmisión de luz de la región visible. Las imágenes de microestructura mostraron la presencia de microcápsulas de diferentes tamaños incrustados dentro de la membrana, además de otras estructuras amorfas no solubles.

La incorporación de CAR hacia la PC/AG aumento la PVA de las membranas al compararse con los controles. Respecto a las pruebas mecánicas, los resultados de FT fueron inconsistentes. Por otro lado, el espectro de FTIR ilustró bandas y picos característicos de los grupos funcionales presentes en la estructura molecular de la PC y el AG, además, se observó un cambio significativo en el ancho de la banda centrada en 1620 cm^{-1} , así como pequeños hombros a 990 cm^{-1} y 812 cm^{-1} definen a un anillo de benceno 1:2:4 sustituido, lo cual nos indicó la presencia del carvacrol en la membrana. Finalmente, los resultados del presente estudio son un punto de partida para que estas membranas puedan ser consideradas como un biomaterial con posibles aplicaciones en el campo de la biomedicina.

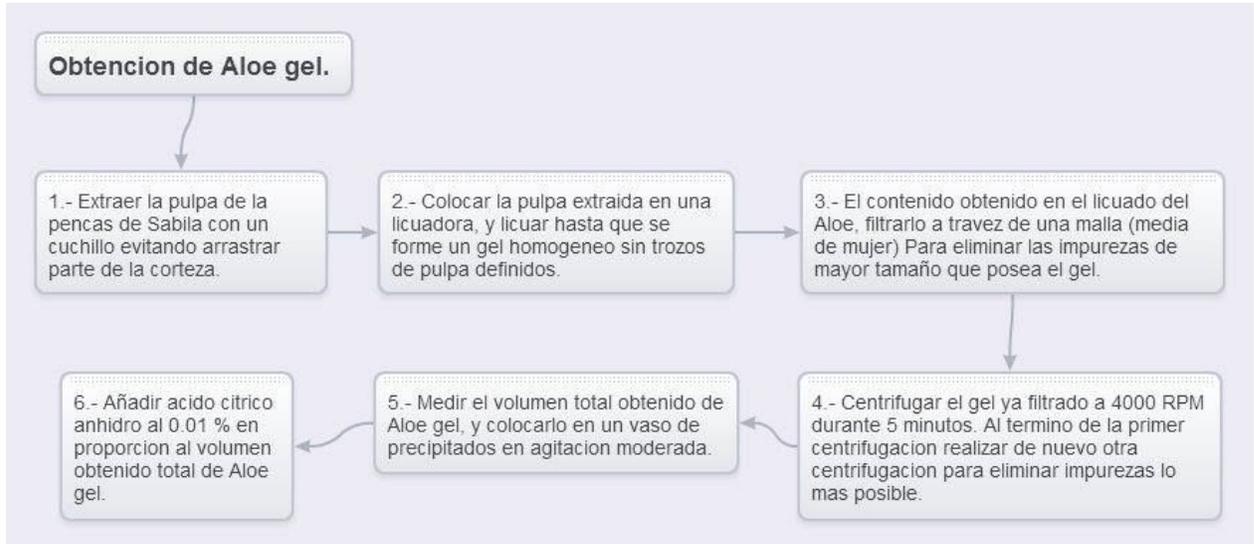
RECOMENDACIONES

La caracterización fisicoquímica de la matriz de membrana PC/AG-CAR aún tiene mucho por aportar a estudios futuros, debido a que no existe reportes con anterioridad de la formación de dicha matriz incorporada con compuestos bioactivos como el CAR, además de existir una diversidad de propiedades como son la solubilidad en agua, grados de esterificación, capacidad antioxidante y antimicrobiana que aún no ha sido evaluada en ella. Así mismo, existe la posibilidad de estudiar la interacción de la matriz con otros tipos de compuestos bioactivos y sus diferentes concentraciones con la finalidad de ampliar su gama de propiedades presentes.

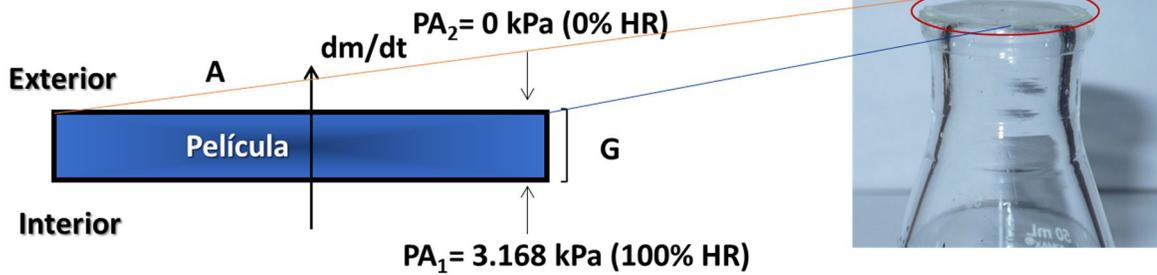
Por lo que, un estudio de su actividad biológica, pudieran contribuir para considerar investigaciones futuras en una probable capacidad antimicrobiana, de protección al eritrocito, entre otras.

ANEXOS

Anexo 1. Protocolo de Obtención de *Aloe*-gel



Anexo 2. Condiciones Controladas Método ASTM E96-92



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahlawat K, Khatkar B. Processing, food applications and safety of aloe vera products: a review. *Journal of Food Science and Technology*. 2011;48(5):525-533.
- Ahmad M, Hani N, Nirmal N, Fazial F, Mohtar N, Romli S. Optical and thermo-mechanical properties of composite films based on fish gelatin/rice flour fabricated by casting technique. *Progress in Organic Coatings*. 2015;84:115-127.
- Almonacid A. Efecto antiinflamatorio y cicatrizante del extracto liofilizado de Aloe vera (Aloe vera (l) burm. f.) presentado en forma de gel farmacéutico. 2012. Revisado el 17 de febrero, 2018 de http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/cybertesis/2591/1/almonacid_ma.pdf.
- Altioek D, Altioek E, Tihminlioglu F. Physical, antibacterial and antioxidant properties of chitosan films incorporated with thyme oil for potential wound healing applications. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. 2010;21(7):2227-2236.
- Alvarez M, Ortega-Ramirez L, Gutierrez-Pacheco M, Bernal-Mercado A, Rodriguez-Garcia I, Gonzalez-Aguilar G et al. Oregano essential oil-pectin edible films as anti-quorum sensing and food antimicrobial agents. *Frontiers in Microbiology*. 2014;5.
- Andrade R, Ferreira M, Gonçalves É. Development and Characterization of Edible Films Based on Fruit and Vegetable Residues. *Journal of Food Science*. 2016;81(2):E412-E418.
- Ayala-Zavala J, Silva-Espinoza B, Cruz-Valenzuela M, Leyva J, Ortega-Ramírez L, Carrasco-Lugo D et al. Pectin-cinnamon leaf oil coatings add antioxidant and antibacterial properties to fresh-cut peach. *Flavour and Fragrance Journal*. 2012;28(1):39-45.
- Biesalski, H. K., Dragsted, L. O., Elmadfa, I., Grossklaus, R., Müller, M., Schrenk, D., Walter, P. y Weber, P. (2009). Bioactive compounds: definition and assessment of activity. *Nutrition*,25(11-12), 1202-1205.
- Boca A, Tataru A, Buzoianu A, Pincelli C, Socaciu C. Pharmacological Benefits of Herbal Formulations in the Management of Psoriasis vulgaris. *Notulae Botanicae*. 2014;42(1):1-8.
- Bonnaillie L, Zhang H, Akkurt S, Yam K, Tomasula P. Casein Films: The Effects of Formulation, Environmental Conditions and the Addition of Citric Pectin on the Structure and Mechanical Properties. *Polymers*. 2014;6(7):2018-2036.
- Caballero M.R. Obtención y caracterización de películas poliméricas de almidón termoplástico/arcilla modificada con quitosano. 2010. Revisado el 19 de febrero,

2018. Retomado de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6-558/2/133245.pdf>.
- Cagri A, Ustunol Z, Ryser E. Antimicrobial, Mechanical, and Moisture Barrier Properties of Low pH Whey Protein-based Edible Films Containing p-Aminobenzoic or Sorbic Acids. *Journal of Food Science*. 2001;66(6):865-870.
- Chen C, Wang B, Weng Y. Physicochemical and antimicrobial properties of edible aloe/gelatin composite films. *International Journal of Food Science & Technology*. 2010;45(5):1050-1055.
- Choi S, Chung M. A review on the relationship between Aloe vera components and their biologic effects. *J Seminars in Integrative Medicine*. 2003. 1(1):53-59.
- [CONACYT] Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. 2014. Aloe vera: Bondades terapéuticas de la sábila. Revisado el 14 de febrero, 2018. Retomado de <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/269/articulos/aloe-vera-bondades-terapeuticas-sabila.html>
- [CSHF] Cadena del Sector Hortofrutícola de Cordova. 2013. El cultivo de la sábila (Aloe vera/barbadensis). Revisado el 15 de febrero, 2018. Retomado de <http://www.cadenahortofruticola.org/admin/bibli/406sabila.pdf>.
- Cunha AGandini A. Turning polysaccharides into hydrophobic materials: a critical review. Part 2. Hemicelluloses, chitin/chitosan, starch, pectin and alginates. *Cellulose*. 2010;17(6):1045-1065.
- De Jesus J, de Carvalho Dantas E, Serafini M, dos Passos Menezes P, Cardoso J, Albuquerque-Jr R et al. Development and physicochemical properties of extract of *Morinda citrifolia* Linn/pectin-based membranes. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2015;123(3):2003-2012.
- Del Toro-Sánchez C, Ruiz-Cruz S, Márquez-Ríos E, Uresti-Marín R, Ramírez-De León J. *Alimentos Funcionales y Compuestos Bioactivos*. 1st ed. México, D.F.: Plaza y Valdés, S.A. de C.V.; 2015.
- Denavi G, Pérez-Mateos M, Añón M, Montero P, Mauri A, Gómez-Guillén M. Structural and functional properties of soy protein isolate and cod gelatin blend films. *Food Hydrocolloids*. 2009;23(8):2094-2101.
- Domínguez-Fernández R, Arzate-Vázquez I, Chanona-Pérez J, Welti-Chanes J, Alvarado-González J, Calderón-Domínguez G et al. Aloe vera gel: structure, chemical composition, processing, biological activity and importance in pharmaceutical and food industry. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 2012;11(1):23-43.

- Ferraro G. Hoja de *Aloe vera* corte transversal y sus capas. [Figura 2]. 2009. Recuperado de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-300X2009000400004.
- Fishman M, Coffin D, Konstance R, Onwulata C. Extrusion of pectin/starch blends plasticized with glycerol. *Carbohydrate Polymers*. 2000;41(4):317-325.
- Ghanbarzadeh B, Musavi M, Oromiehie AR, Rezayi K, Razmi E, Milani J. Investigation of water vapor permeability, hydrophobicity and morphology of zein films plasticized by polyols. *Iranian Polymer Journal*, 2006; 15(9):691–700.
- Gnanasambandam R. Determination of pectin degree of esterification by diffuse reflectance Fourier transform infrared spectroscopy. *Food Chemistry*. 2000;68(3):327-332.
- Guaadaoui, A., Benaicha, S., Elmajdoub, N., Bellaoui, M. y Hamal, A. (2014). What is a bioactive compound? A combined definition for a preliminary consensus. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3(3), 174-179.
- Guerra-Rosas M, Morales-Castro J, Ochoa-Martínez L, Salvia-Trujillo L, Martín-Belloso O. Long-term stability of food-grade nanoemulsions from high methoxyl pectin containing essential oils. *Food Hydrocolloids*. 2016;52:438-446.
- Guimarães A, Xavier M, de Santana M, Camargo E, Santos C, Brito F et al. Carvacrol attenuates mechanical hypernociception and inflammatory response. *Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology*. 2011;385(3):253-263.
- Infante R. Biopolímeros. 2006. Revisado el 19 de febrero, 2018. Retomado de <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/medicina/biopolimeros.htm>.
- [INE] Instituto Nacional de Ecología. 2014. Sábila, cultivo alternativo para las zonas áridas y semiáridas de México. 2da ed. México, D. F. revisado el 14 de febrero, 2018. Retomado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/74.pdf>.
- Jantrawut P, Chaiwarit T, Jantanasakulwong K, Brachais C, Chambin O. Effect of Plasticizer Type on Tensile Property and In Vitro Indomethacin Release of Thin Films Based on Low-Methoxyl Pectin. *Polymers*. 2017;9(12):289.
- Jouki M, Khazaei N, Ghasemlou M, HadiNezhad M. Effect of glycerol concentration on edible film production from cress seed carbohydrate gum. *Carbohydrate Polymers*. 2013;96(1):39-46.
- Khoshgozaran-Abras S, Azizi M, Hamidy Z, Bagheripoor-Fallah N. Mechanical, physicochemical and color properties of chitosan based-films as a function of *Aloe vera* gel incorporation. *Carbohydrate Polymers*. 2012;87(3):2058-2062.

- Klinkesorn U, Namatsila Y. Influence of chitosan and NaCl on physicochemical properties of low-acid tuna oil-in-water emulsions stabilized by non-ionic surfactant. *Food Hydrocolloids*. 2009;23(5):1374-1380.
- Kulkarni R, Mangond B, Mutalik S, Sa B. Interpenetrating polymer network microcapsules of gellan gum and egg albumin entrapped with diltiazem–resin complex for controlled release application. *J Carbohydrate Polymers*. 2010. 83:1001-1007.
- Kumar M, Kumar-Mishra R, Banthia A. Development of pectin based hydrogel membranes for biomedical applications. *Int J Plast Technol*. 2010;14(2):213-223.
- Liu L, Fishman M, Hicks K. Pectin in controlled drug delivery – a review. *Cellulose*. 2006;14(1):15-24.
- López-Mata M, Ruiz-Cruz S, Silva-Beltrán N, Ornelas-Paz J, Ocaño-Higuera V, Rodríguez-Félix F et al. Physicochemical and Antioxidant Properties of Chitosan Films Incorporated with Cinnamon Oil. *International Journal of Polymer Science*. 2015;2015:1-8.
- López-Mata M, Ruiz-Cruz S, Silva-Beltrán N, Ornelas-Paz J, Zamudio-Flores P, Burrueal-Ibarra S. Physicochemical, Antimicrobial and Antioxidant Properties of Chitosan Films Incorporated with Carvacrol. *Molecules*. 2013;18(11):13735-13753.
- Malik I, . Z. Aloe vera: a review of its clinical effectiveness. *International research journal of pharmacy*. 2013;4(8):75-79.
- Mazzoli R, Riedel K, Pessione E. Editorial: Bioactive Compounds from Microbes. *Frontiers in Microbiology*. 2017;8.
- Medel A.E., Ortiz J.R., Estudio de factibilidad para el cultivo de sábila (*Aloe vera*) en San Luis Potosí. 2006. Revisado el 14 de febrero, 2018. Retomado de [http://cicsa.uaslp.mx/bvirtual/tesis/tesis/Estudio_de_la_Factibilidad_para_el_Cultivo_de_Sábila_\(aloe_vera\)_en_San_Luis_Potosí/Estudio de Factibilidad para la Sabila.pdf](http://cicsa.uaslp.mx/bvirtual/tesis/tesis/Estudio_de_la_Factibilidad_para_el_Cultivo_de_Sábila_(aloe_vera)_en_San_Luis_Potosí/Estudio_de_Factibilidad_para_la_Sabila.pdf).
- Meneguín A, Ferreira Cury B, dos Santos A, Franco D, Barud H, da Silva Filho E. Resistant starch/pectin free-standing films reinforced with nanocellulose intended for colonic methotrexate release. *Carbohydrate Polymers*. 2017;157:1013-1023.
- Mishra R, Datt M, Banthia A. Synthesis and Characterization of Pectin/PVP Hydrogel Membranes for Drug Delivery System. *AAPS PharmSciTech*. 2008;9(2):395-403.
- Mishra R, Majeed A, Banthia A. Development and characterization of pectin/gelatin hydrogel membranes for wound dressing. *International Journal of Plastics Technology*. 2011;15(1):82-95.

- Moreno A, López M.Y., Jiménez L., *Aloe vera* (sábila): Cultivo y utilización. 2da ed. Madrid (España): Ediciones Mundi-Prensa. 2012. Revisado el 14 de febrero, 2018. Retomado de <https://books.google.com.mx/books?id=3L4OtnDZ2uAC&printsec=frontcover&dq=aloevera&hl=es&>.
- Nature photos and pictures. 2008. Aloe vera. [Figura 1]. Recuperado de http://www.naturephoto-cz.com/aloe-vera-photo_lat-10115.html
- [OMS] Organización Mundial de la Salud. 2013. Estrategia de la OMS sobre medicina tradicional 2014-2023. Ginebra, Suiza. Revisado el 04 de mayo, 2017. Retomado de: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/95008/1/9789243506098_spa.pdf
- Patruni K.P., Srinivasa R. Rheological and structural characterization of prepared aqueous Aloe vera dispersions. 2014. 62:1029-1037.
- Pereira G, Santos-Oliveira R, Albernaz M, Canema D, Weismüller G, Barros E et al. Microparticles of Aloe vera/vitamin E/chitosan: Microscopic, a nuclear imaging and an in vivo test analysis for burn treatment. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 2014;86(2):292-300.
- Pereira R, Mendes A, Bártolo P. Alginate/Aloe Vera Hydrogel Films for Biomedical Applications. *Procedia CIRP*. 2013;5:210-215.
- Rahman S, Carter P, Bhattarai N. Aloe Vera for Tissue Engineering Applications. *Journal of Functional Biomaterials*. 2017;8(1):6.
- Ramos M, Jiménez A, Peltzer M, Garrigós M. Characterization and antimicrobial activity studies of polypropylene films with carvacrol and thymol for active packaging. *Journal of Food Engineering*. 2012;109(3):513-519.
- Rashidova S, Milusheva R, Semenova L, Mukhamedjanova M, Voropaeva N, Vasilyeva S et al. Characteristics of Interactions in the Pectin-Chitosan System. *Chromatographia*. 2004;59(11-12).
- Reynolds, T. and Dweck, A. (1999). Aloe vera leaf gel: a review update. *Journal of Ethnopharmacology*, 68(1-3), pp.3-37.
- Rojas-Cortés M, Vallejo-Díaz B, Ernesto-Perilla J. Biopolymers as materials for developing products in pharmaceutical applications and biomedical uses. *Revista ingeniería e investigación*. 2008;28(1):57-71.
- Rojas-Graü M, Avena-Bustillos R, Olsen C, Friedman M, Henika P, Martín-Belloso O et al. Effects of plant essential oils and oil compounds on mechanical, barrier and antimicrobial properties of alginate-apple puree edible films. *Journal of Food Engineering*. 2007;81(3):634-641.

- Salgado R. ¿Biopelículas comestibles?. 2015. Revisado el 19 de febrero, 2018. Retomado de <http://www.sabermas.umich.mx/archivo/secciones-anteriores/articulos/47-numero-6/93-ibio-peliculas-comestibles.html>
- Silva S, Popa E, Gomes M, Cerqueira M, Marques A, Caridade S et al. An investigation of the potential application of chitosan/aloe-based membranes for regenerative medicine. *Acta Biomaterialia*. 2013;9(6):6790-6797.
- Siripatrawan U, Harte B. Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract. *Food Hydrocolloids*. 2010;24(8):770-775.
- Stevens N., *Aloe vera*. 7a ed. Málaga (España): Sirio. 2006. Revisado el 14 de febrero, 2018. Retomado de <https://books.google.com.mx/books?id=9uF2tmDxB14C&printsec=frontcover&dq=aloevera&hl=es&sa=X&ei=lf8CVYOH0cQOyASSsYGABQ&ved=0CBsQ6AEwAA>.
- Sui Chin S, Han Lyn F, Nur Hanani Z. Effect of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) gel on the physical and functional properties of fish gelatin films as active packaging. *Food Packaging and Shelf Life*. 2017;12:128-134.
- Taqi A, Mutihac L, Stamatini I. Physical and Barrier Properties of Apple Pectin/Cassava Starch Composite Films Incorporating *Laurus nobilis* L. Oil and Oleic Acid. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2013;38(4):1982-1993.
- Valderrama A, Rojas De G. Traceability of Active Compounds of Essential Oils in Antimicrobial Food Packaging Using a Chemometric Method by ATR-FTIR. *American Journal of Analytical Chemistry*. 2017;08(11):726-741.
- Vega A, Ampuero N, Díaz L, Lemus R. El Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) como componente de alimentos funcionales. *Revista chilena de nutrición*. 2005. 32(3):208-214.
- Vélez M, Villa N. Identificación y cuantificación de antraquinonas y cromonas en plantas de Aloe vera cultivadas en municipios de Risaralda por cromatografía líquida de alta eficiencia. 2012. Revisado el 15 de febrero, 2018. Retomado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/3042/1/5430894V436.pdf>
- Wong T, Colombo G, Sonvico F. Pectin Matrix as Oral Drug Delivery Vehicle for Colon Cancer Treatment. *AAPS PharmSciTech*. 2010;12(1):201-214.
- Yuan G, Lv H, Yang B, Chen X, Sun H. Physical Properties, Antioxidant and Antimicrobial Activity of Chitosan Films Containing Carvacrol and Pomegranate Peel Extract. *Molecules*. 2015;20(12):11034-11045.

- Zapata P, Navarro D, Guillén F, Castillo S, Martínez-Romero D, Valero D, Serrano M. Characterization of gels from different Aloe spp as antifungal treatment: Potential crops for industrial applications. *J Industrial Crops and Products*. 2012. 42:223-230.
- Zivanovic S, Chi S, Draughon A. Antimicrobial Activity of Chitosan Films Enriched with Essential Oils. *Journal of Food Science*. 2005;70(1):M45-M51.