

UNIVERSIDAD DE SONORA

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS LA SALUD**

**“Elaboración y Caracterización de Membranas a Base de
Pectina Cítrica/Aloe-gel (*Aloe vera*)”**



TESIS PROFESIONAL PRÁCTICA

Que para obtener el título de:

QUÍMICO BIÓLOGO CLÍNICO

Presenta:

Marisol Gastelum Cabrera

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 **Marisol Gastelum Cabrera** 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. Julio Cesar Campos García
Secretario

Dr. Luis Quihui Cota
Vocal

Dr. David Octavio Corona Martínez
Suplente

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por todo lo que me ha dado a manos llenas, por los padres maravillosos y los mejores hermanos, por guiarme hacia el camino correcto para así poder alcanzar mis metas y permitirme realizar uno de mis sueños más anhelados.

A mi máxima casa de estudios, por ser el pilar de mi formación académica y permitirme ser parte de su grandeza.

En especial a mi director de tesis, al **Dr. Marco Antonio López Mata**, por aceptarme en la participación de este proyecto, por su infinita paciencia, su apoyo, su consejo y su sabiduría, por guiarme, por sus enseñanzas y la motivación que siempre mostró, gracias por encaminarme hacia el área de investigación la cual no conocía, tiene todo mi respeto querido profesor ¡Mi agradecimiento siempre será infinito para usted!

A mis sinodales **Dr. Julio Cesar Campos García; Dr. Luis Quihui Cota y Dr. David Octavio Corona Martínez**, gracias por el tiempo y dedicación que prestaron para la realización de este trabajo, quienes fueron de gran apoyo y por ser un gran ejemplo que seguir.

Agradezco al equipo de técnicos de laboratorio de la Universidad de Sonora Campus Cajeme, por las facilidades otorgadas; por el tiempo, la paciencia y por permitirme desarrollar el trabajo experimental en el laboratorio. ¡Gracias!

Al Centro de Investigación e Innovación Biotecnológica, Agropecuaria y Ambiental (CIIBAA), al **Dr. Saúl Ruiz Cruz** y su equipo de investigación, por el espacio y la confianza de permitirme la realización de mi proyecto.

A la **Dra. Silvia Elena Burruel Ibarra** del Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales de la Universidad de Sonora, por su valiosa aportación a este trabajo, por su gran apoyo, ¡gracias!

Al **Dr. Paul Baruk Zamudio** y a su equipo en el Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo (CIAD) Unidad Cuauhtémoc en el Estado de Chihuahua, por su colaboración en el desarrollo de este proyecto, por brindar su conocimiento, por estar siempre atento a nuestras dudas y por la dedicación a este trabajo, ¡gracias!

A todos los profesores que estuvieron presente durante mi formación, por compartir su conocimiento en cada clase y dar lo mejor de sí, les agradezco su digna labor y les doy mi reconocimiento por fomentar la educación de generación en generación, inculcando valores para formar a mejores ciudadanos, por guiarme y apoyarme en esta etapa de mi vida ¡muchas gracias! En especial a mi profesora, **QFB. Sandra Miranda Mauricio**, por su dedicación y compromiso. ¡Mi gratitud y cariño por su infinita paciencia!

A mis compañeros de servicio social, **Karina Yazmín, Carlos Armando y Francisca Liliana**, con quienes siempre estaré agradecida, por su compañía, por involucrarse y dar apoyo a la realización de este trabajo.

A mis compañeros tesisistas, les agradezco por los buenos momentos y el compañerismo que hemos compartido, todos hemos aprendido y aprendemos continuamente de todos, gracias por brindarme su amistad.

A mis amigos y compañeros de la 4^{ta} generación la carrera de QBC, estoy segura de que sin la ayuda de ustedes no hubiera podido lograrlo. Me siento agradecida con cada uno de ustedes. Gracias por su compañerismo.

A mis compañeras y equipo de trabajo “Las Pentosas”, **Cristina, Leticia, Erika Jeanneth y Alma Yahaira**, les agradezco por las risas, alegrías y también lágrimas que estuvieron presentes en nuestra amistad, me pregunto ¿qué sería de mí, si no las conociera? y la verdad es que no encuentro una respuesta, tenerlas como amigas es una bendición, las quiero mucho y me alegra compartir la misma meta y saber que juntas lo logramos, ¡un millón de gracias!

A dos compañeros y grandes amigos que estuvieron muy cerca y pendiente de mí, **Alondra Yesenia y José Alejandro**, su amistad es algo que valoro mucho, los admiro y estoy agradecida con Dios por haberlos puesto en mi camino, ¡gracias!

A ustedes mis queridos padres, creo que la palabra gracias se queda corta para expresar todo el agradecimiento que siento por ustedes. Soy muy afortunada al tenerlos en mi vida. Jamás me cansare de agradecerles todo lo que han hecho por mí. ¡Los adoro!

A mis hermanos **Miguel Angel y Reyna Clarissa**, por su apoyo y darme fortaleza para seguir adelante, por compartir mis alegrías y tropiezos, por su confianza y su cariño ¡muchas gracias!

A mi familia que me ha acompañado en todo momento, que me ha brindado todo su cariño y que ha recurrido a mi cuando más los he necesitado, tía **Maniris**, tío **Pedro y Rosa Flor**, les agradezco de corazón todo lo que han hecho por mí.

A todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron o participaron en la realización de este proyecto, mi más extenso y sincero agradecimiento.

DEDICATORIAS

A Dios:

Por permitirme llegar hasta aquí.

A mis abuelos,

por sus enseñanzas y consejo.

A mis padres:

Porque creyeron en mí y me apoyaron,
por darme una carrera para mi futuro,
todo esto se lo debo a ustedes.

A mis hermanos:

Miguel Angel y Reyna Clarissa,
por estar conmigo y apoyarme siempre.

A mis sobrinos:

Flor Alejandra e Ian Tadeo,
por las inmensas alegrías que han traído a mi vida.

A Carlos Miguel Morgan Espinoza:

Por ser esa persona especial que me acompaña en cada momento.
Estuviste motivándome y ayudándome hasta donde tus alcances lo permitieron.
Te lo agradezco muchísimo.

CONTENIDO

	Página
LISTA DE TABLAS	8
LISTA DE FIGURAS	9
RESUMEN	10
INTRODUCCIÓN.....	11
OBJETIVOS	13
General.....	13
Particular	13
ANTECEDENTES	14
Pectina cítrica (PC)	14
Aplicaciones de la PC	15
<i>Aloe vera</i> Linneo.....	18
Clasificación y Características de la Planta.....	18
Composición Química del <i>Aloe vera</i> (AG).....	21
Aplicaciones del <i>A. vera</i> (AG).....	23
Biopolímeros Degradables, su Combinación para Elaborar Membranas y uso potencial	23
MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
Obtención del <i>Aloe</i> -gel (AG).....	27
Preparación de la Solución PC.....	28
Elaboración de Membranas	28
Evaluación Física	29
Grosor	29
Caracterización de la Microestructura.....	29
Solubilidad	29
Permeabilidad al Vapor de Agua.....	29
Color	30
Opacidad (%)	30
Transmitancia.....	31
Espectrometría Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR).....	31
Propiedades mecánicas de la película	31
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33

Propiedades Ópticas	33
Solubilidad y Permeabilidad Vapor de Agua (PVA)	35
Propiedades mecánicas	38
Espectrometría Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR)	40
Caracterización de la Microestructura (SEM)	42
CONCLUSIÓN	44
RECOMENDACIÓN	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
ANEXOS	51
Anexo 1. Abreviaturas y Siglas	51

LISTA DE TABLAS

Página

Tabla 1. Clasificación taxonómica del <i>A. vera</i>	19
Tabla 2. Componentes químicos de la planta de <i>A. vera</i>	22
Tabla 3. Parámetros de color en membranas de PC/AG.....	33
Tabla 4. Transmitancia (%) de la luz y Opacidad (%) de membranas de PC/AG.....	35
Tabla 5. Propiedades mecánicas de las membranas de PC/AG.....	39
Tabla 6. Área total de la banda localizada en un rango de 3700 a 3000 cm^{-1}	41

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Estructura química del ácido poligalacturónico (a) y estructura química representativa de la pectina que muestra los grupos típicos que se repiten (b).	14
Figura 2. Representación del modelo “caja de huevo”. Las cadenas de ácido poligalacturónico están representadas por las líneas negras, los iones de calcio y los grupos Carboxilo por círculos.....	17
Figura 3. Planta de <i>Aloe vera</i>	20
Figura 4. Hoja de la planta de <i>Aloe vera</i> corte transversal y sus capas.....	21
Figura 5. Obtención de AG.....	27
Figura 6. Preparación de Membranas.....	28
Figura 7. Imágenes de las membranas de PC/AG, A: 100/0, B: 90/10, C: 80/20, D: 70/30, E: 60/40 y F: 50/50.....	34
Figura 8. Prueba de solubilidad de membranas de PC/AG en agua.	36
Figura 9. Permeabilidad vapor de agua (PVA) de las membranas PC/AG.....	37
Figura 10. Espectrometría Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) de membranas de PC/AG.....	40
Figura 11. Microscopía de membranas de PC/AG, donde 100/0 (a,b y c), 90/10 (d,e y f), 80/20 (g,h e i), 70/30 (j,k y l), 60/40 (m,n y o) y 50/50 (p, q y r).....	43

RESUMEN

Actualmente se ha incrementado el interés por la generación de nuevos materiales, obtenidos de fuentes naturales como los biopolímeros. Las membranas obtenidas principalmente de estas estructuras representan un potencial importante para su empleo en la salud humana. Las industrias farmacéutica, cosmética y médica han aprovechado las matrices poliméricas (polisacáridos principalmente) para la elaboración de dispositivos médicos como lentes de contacto, corneas artificiales, recubrimiento para suturas, catéter y andamiajes de tejidos. En el presente trabajo, se presenta una nueva membrana obtenida de la combinación matrices de pectina cítrica (PC) con *Aloe-vera* o *Aloe-gel* (AG). La PC es un polisacárido conformado de ácido galacturónico, que presenta propiedades filmogénicas y ha sido utilizado como encapsulador de compuestos naturales para tratamientos colónicos-específicos, debido a que es degradada por la microbiota del colon y no digerida por las enzimas gástricas o intestinales. Por otra parte, el AG contiene 99% de agua (el resto lo componen glucomanos, aminoácidos, lípidos esteroides y vitaminas), pero sus remanentes poseen diversos beneficios, en particular actúa como un inductor de la cicatrización, es antiséptico, antiinflamatorio, antimicrobiano, además, potencializa la respuesta inmune. Para el presente estudio se elaboraron membranas de las combinaciones de PC con AG en distintas proporciones, 50PC/50AG, 60PC/40AG, 70PC/30AG, 80PC/20AG, 90PC/10AG (% p/p) y un control de PC (100PC/0AG). Las membranas obtenidas, se caracterizaron con base en sus propiedades físicas (transmitancia, grosor, color, opacidad, solubilidad, permeabilidad al vapor de agua (PVA), caracterización de la microestructura (SEM) y espectrometría infrarroja con transformada de Fourier (FTIR). Los resultados mostraron que las membranas fueron transparentes y de coloración amarilla, con reducción de la transmisión de luz ultravioleta. También presentaron elevada PVA (11.1 a 20.2 g•mm/m²•h •kPa) y 100% solubilidad en agua. En el análisis de la microestructura se observó la aparición de material insoluble (remanentes posibles de PC), al aumentar la proporción del AG la uniformidad de la membrana aumentó y disminuyeron los remanentes, no se observaron poros ni se percibieron bordes irregulares de la microestructura. La presente membrana de PC/AG, podría tener potencial como un biomaterial.

INTRODUCCIÓN

Actualmente existe un gran interés por buscar nuevos materiales, a partir de elementos macromoleculares obtenidos de fuentes naturales. El interés por encontrar, diseñar y estudiar estos materiales ha tenido un amplio alcance y para ello, se han involucrado laboratorios académicos e industriales. Esto ha abierto un nuevo panorama de investigación debido al potencial que estos representan en la ingeniería de tejidos, la medicina regenerativa y la producción de nuevos derivados de materias primas naturales (Gandini, 2008).

Dentro de los diversos grupos de materiales que pudieran utilizarse, los polímeros biodegradables de origen natural han despertado un mayor interés por su uso. En la actualidad, los polímeros de naturaleza proteica y los carbohidratos, son los que más se emplean para estos fines en la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria (Cunha y Gandini, 2010).

Específicamente, la pectina cítrica (PC) es un carbohidrato que se encuentra principalmente formando parte de las frutas y hortalizas. Su característica química establece que es un polisacárido aniónico, de naturaleza hidrofílica y biodegradable, que está conformada principalmente por enlaces α -(1→4)-D-ácido galacturónico conectados linealmente (300-1000 unidades). Además, puede poseer grupos heterogéneo de éster metílico y grupos carboxilo en su cadena (Taqi y col., 2014). La PC posee la característica de formar biopelículas comestibles que tienen amplias propiedades tanto mecánicas como de barrera.

Las membranas derivadas de PC suelen mostrar un elevado potencial para posibles aplicaciones en forma de revestimiento cuando han sido mezcladas con almidón y se plastifican con glicerol (Taqi y col., 2014). Además, este biopolímero puede formar entrecruzamiento con iones divalentes (calcio y zinc), formando enlaces intermoleculares entre los iones y los grupos carboxilo cargados negativamente de las moléculas de PC, dicha conformación es denominada "caja de huevo", la cual contiene intersticios, en los cuales los iones de calcio pueden empaquetar componentes (antibióticos, compuestos bioactivos, entre otros) formando una estructura coordinada (Espitia y col., 2014; Fraeye y col., 2010; Liu y col., 2006). Inclusive, esta característica de la PC ha sido utilizada para acarrear componentes hacia el colon, debido a que es casi totalmente degradada por su microbiota y no es digerida por las enzimas gástricas o intestinales (Kumar y col., 2010).

Además, los hidrogeles de PC presentan excelente compatibilidad con tejidos, una fácil manipulación y permeabilidad a soluto, jugando un papel fundamental en el desarrollo de los sistemas para el suministro de fármacos (Kashyap y col., 2005). Este hidrogel ha sido empleado para la creación de dispositivos médicos como lentes de contacto, córneas artificiales, vendajes

como revestimiento para suturas, catéteres y sensores de electrodos. Dicha gama de usos requiere de una gran maleabilidad física, siendo esta una propiedad con la que cuentan los hidrogeles de PC (Gupta y col., 2002; Kabiri y col., 2003).

Por otra parte, el AG que es obtenido de las hojas de planta de *Aloe vera*, ha adquirido gran importancia como un aditivo para la formación de biomateriales. Debido a que en su material mucilaginoso contienen polisacáridos como la celulosa, pectinas, glucomananos (acetilados y no acetilados) y acemananos. Los acemananos son los carbohidratos que más ampliamente han sido estudiados, por sus propiedades estimuladoras de la respuesta inmune, la capacidad de bloqueo de la radiación UV e inhibidor del crecimiento tumoral. Además, contiene manosa que se le ha atribuido la capacidad de estimular el proceso de cicatrización y modular la respuesta antiinflamatoria (Choi y Chung, 2003). Entre sus aplicaciones, destaca su uso en la elaboración de cremas (filtros solares) para el bloqueo solar, también en la regulación del pH intestinal y acelera los movimientos peristálticos del intestino (laxante) y ayuda a reducir la presencia de algunos microorganismos patógenos fecales e incluso sanar úlceras gástricas (Kiran y Rao, 2014). En la actualidad no existen membranas creadas únicamente de AG, debido a que este posee una muy baja concentración de solutos ($\approx 1.0\%$).

Actualmente la búsqueda de nuevos biomateriales se ha incrementado en las industrias farmacéutica, alimentaria, médica y cosmética, siendo sus objetivos primordiales, el conocer y brindar una aplicación a sus componentes. Dichas industrias se han encaminado en encontrar nuevas matrices poliméricas que sean materias primas económicas, no tóxicas, biodegradables y biocompatibles con el ser humano.

En el área de la salud, se busca especialmente mejorar y poner al alcance terapéutico el desarrollo de membranas híbridas obtenidas a través de polisacáridos formadores de hidrogeles, consideramos que las matrices de PC combinadas con AG podrían reunir estas condiciones e incluso potencializar sus propiedades, pero dicha combinación de matrices no ha sido estudiada aún en el área de la obtención de biomateriales. Por lo anterior, en el presente trabajo se busca elaborar y evaluar las propiedades de las membranas obtenidas de la combinación de PC/AG, para conocer su potencial como probable biomaterial.

OBJETIVOS

General

Elaborar y evaluar las propiedades fisicoquímicas de membranas a base de las combinaciones de pectina cítrica (PC) y *Aloe-gel* (AG).

Particular

- Obtener membranas de la combinación de matrices de PC/AG en diferentes proporciones.
- Determinar las propiedades físicas: grosor, pruebas mecánicas, color, transmitancia, opacidad, solubilidad y permeabilidad al vapor de agua de las membranas.
- Determinar las probables interacciones químicas (FTIR) de los componentes de las membranas de PC y AG.

ANTECEDENTES

Pectina cítrica (PC)

La PC es el nombre asignado a una familia de polisacáridos cuya composición es muy compleja y que están presentes en las paredes celulares de las plantas, siendo la cáscara de los cítricos y la pulpa de manzana las fuentes de extracción más importantes. Dicha extracción se suele realizar en condiciones ligeramente ácidas, con fines de aplicación en la industria alimentaria principalmente (Cunha y Gandini, 2010).

Químicamente, la pectina está conformada por polisacáridos aniónicos heterogéneos, conformado por unidades de ácido α -(1 \rightarrow 4)-D-galactopiranosilurónico (comúnmente llamado ácido α -D-galacturónico). Además, su estructura puede contener grupos carboxilo que se encuentran metilados o esterificados (Figura 1) (Villegas y col., 2011).

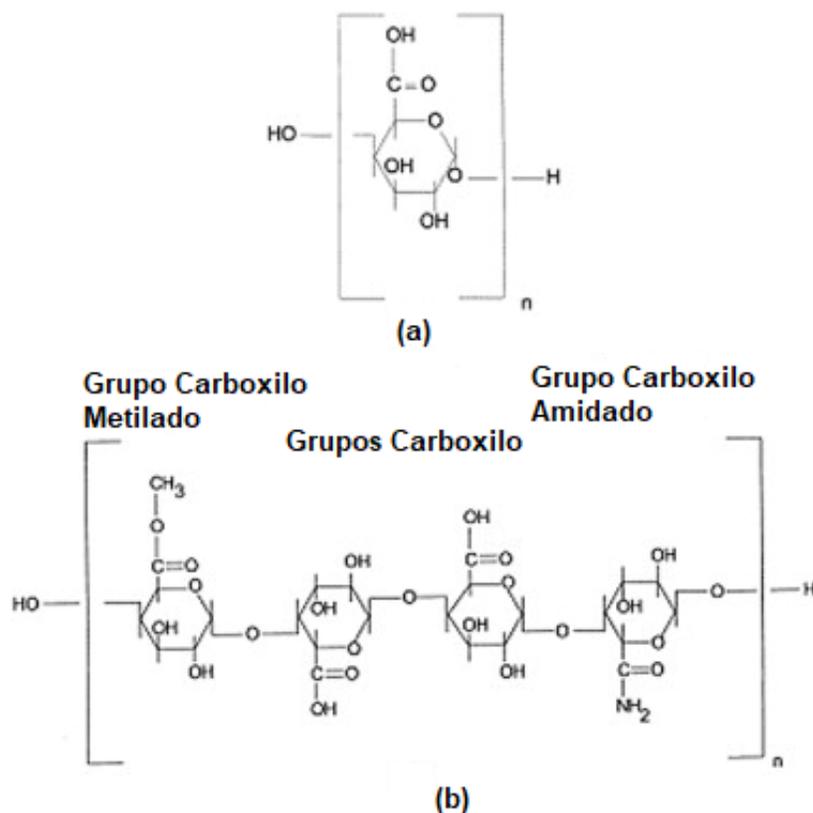


Figura 1. Estructura química del ácido poligalacturónico (a) y estructura química representativa de la pectina que muestra los grupos típicos que se repiten (b).

(Espitia y col., 2014; White y col., 1999)

Se sabe que la estructura de la PC puede variar según la especie, el tipo de tejido vegetal y la zona geográfica de localización. Otros factores determinantes de la composición son: la etapa de desarrollo o periodo metabólico en el que se encuentra la planta, su estado ambiental y las condiciones o técnicas para su extracción. Previamente, se ha documentado que los polisacáridos de la PC tienen diferentes dominios estructurales con representatividad, ya que pueden estar compuestos de hasta 17 monosacáridos distintos, que pueden contener grupos carboxílicos, algunos de ellos esterificados con grupos metilo o acetilo (Cunha y Gandini, 2010).

Aplicaciones de la PC

La asociación de las cadenas de PC le confiere la capacidad de solubilizarse en agua y formar hidrogeles con base a redes tridimensionales. Por lo anterior, estos polisacáridos se han utilizado con éxito durante muchos años como agentes espesantes, agentes gelificantes y estabilizadores coloidales en la industria de alimentos y bebidas. Además, los materiales que se forman a partir de la matriz de PC tienen la particularidad de ser biodegradables. Estas propiedades han atraído la atención de muchos investigadores de las áreas farmacéutica, cosmética y biotecnológica. Debido a que puede utilizarse para la elaboración de vehículo cargados con diversos componentes (fármacos, células, compuestos bioactivos, entre otros), que pudieran tener diversas aplicaciones. Dentro de las aplicaciones en la salud, se ha utilizado con mayor frecuencia en propuestas que se basan en diseños de biomateriales nano o microencapsulados con fármacos para atender afecciones del tracto gastrointestinal (Castillo y col., 2007).

La PC tiene una gran diversidad molecular involucrada generalmente conformadas por cadenas polimoleculares y polidispersas, con diversos pesos moleculares que podrían corresponder a un masa molar entre 50,000 y 150,000 Da (Sriamornsak, 2003). Otra característica importante de su estructura molecular y que está relacionada con la calidad que se comercializa de la PC, es el grado de esterificación (GE). Cuando la estructura del ácido poligalacturónico está esterificado por arriba del 50% ($GE > 50$), se establece que la PC está altamente metilada y la metilación por debajo del 50% ($GE < 50$) se establece como pectina de bajo metilo (Andrade y col., 2009; Farris y col., 2009; Sila y col., 2009). El GE afecta las propiedades gelificantes de las pectinas. De esta manera, las pectinas de baja metilación forman gel en presencia de iones multivalentes, que actúan como un puente entre pares de los grupos carboxilo de las diferentes cadenas de pectina (Figura 2). Por otra parte, las pectinas de $GE > 50$ forman gel en medios ácidos con la adición de diferentes azúcares como sacarosa o glucosa (Videcoq y col., 2011).

Durante décadas, se ha conocido que la PC es digerida fácilmente por la microbiota presente en el colon, fomenta la excreción de ácidos biliares y es una fuente generadora de ácidos grasos de cadena corta, que funciona como fuente energética de los colonocitos y su flora (Lupton, 2000). Estas características han permitido que la pectina sea utilizada como liberador de drogas para tratar el cáncer de colon y otras enfermedades colónicas (Auriemma y col., 2013). El problema que ha presentado la pectina como liberador colon-específico es su degradación parcial en el estómago (pH 2 a 5) y el intestino delgado, debido a que es un polímero soluble en agua y es propensa a la hinchazón y erosión en el medio acuoso. Esto suele provocar una liberación prematura de la droga cuando llega al tracto gastrointestinal superior, limitando su acción efectiva como vehículo liberador de droga o sustancias bioactivas en la región colónica. Por ello, actualmente se han buscado nuevas matrices híbridas que potencialicen las propiedades de la PC (Wong y col., 2011).

Algunas formas en las que se ha utilizado la PC son en perlas, gránulos o micropartículas y se han tratado de crear otros enfoques para la liberación colónica en los que se intenta prevenir la degradación prematura del fármaco en la parte superior del sistema gastrointestinal. Algunas alternativas para evitar su liberación y degradación prematura se han enfocado en utilizar coacervación (Li y col., 2014), mezclas de polímeros viscosos (Saravanan y Rao, 2010) y entrecruzamiento con cationes di o multivalentes, entre otros (Auriemma y col., 2013).

La presencia de grupos carboxilos en la PC tiene la capacidad de coordinarse con cationes divalentes como el Ca^{2+} y formar estructuras denominadas “caja de huevos” (Figura 2). Diferentes interacciones intermoleculares son las involucradas, implican interacciones electrostáticas entre los cationes y las cargas negativas de las cavidades formadas por la cadena del polímero, sitio donde se insertan los cationes, este proceso es similar a la gelificación de alginatos. Además, las cajas de huevo formadas entre dos cadenas vecinas, se estabilizan mediante interacciones de Van der Waals y enlaces de hidrógeno, asimismo de las interacciones electrostáticas (Fraeye y col., 2010). Pero la utilización de Zn^{2+} en el entrecruzamiento de pectina se ha visto que puede generar una mejor estructura, que se muestra en su baja higroscopicidad, con mayor resistencia que las generadas con calcio y además han sido utilizados en la liberación de fármacos (Das y col., 2010).

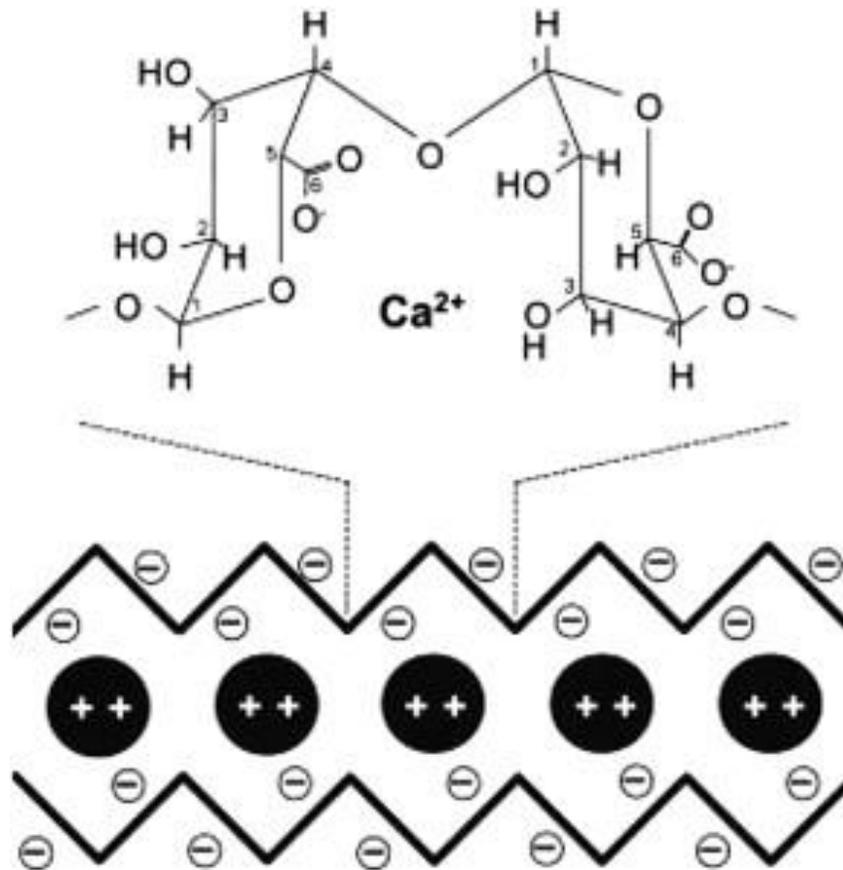


Figura 2. Representación del modelo “caja de huevo”. Las cadenas de ácido poligalacturónico están representadas por las líneas negras, los iones de calcio y los grupos Carboxilo por círculos. (Fraeye y col., 2010)

La creación de películas desarrolladas con la combinación de matrices de PC con gelatina de piel de pescado y otra membrana de proteína de harina de soya con PC mostraron tener un aumento en la rigidez y la fuerza de tensión, disminución en la solubilidad de agua y permeabilidad al vapor de agua, en comparación con las películas de PC control. Se observó que la inclusión de la proteína en cada tipo de membrana promovía las interacciones moleculares entre las matrices produciendo una estructura homogénea y bien organizada molecularmente, según lo revelado por el análisis SEM y FTIR. Además presentaron una alta biodegradabilidad y fue recomendada para sus probables aplicación en embalaje o materiales de revestimiento para la industria alimenticia o farmacéutica (Liu y col., 2007).

Por otro lado, estudios previos que evaluaron la actividad antibacteriana de películas compuestas de AG y gelatina sin emplear agentes sintéticos como antibióticos han evidenciado que AG puede ejercer una gran variedad de beneficios incluyendo actividad antimicrobiana, uso terapéutico en curación de heridas, úlceras, actividades inmunomoduladores y anticancerígenas.

En este mismo estudio, reveló también que estas películas tienen potencial para ser empleadas en el revestimiento comestible, no solo para proteger a los alimentos del deterioro microbiano, sino también para mejorar la salud del consumidor (Chen y col., 2010).

***Aloe vera* Linneo**

La sábila es una planta originaria de Arabia y del noroeste de África, cuyos lazos con la humanidad datan de hace mucho tiempo. Su nombre común sábila, procede de la voz árabe “*sabaira*” que significa "amargo" y el género científico *Aloe* que proviene de otra palabra árabe “*Alloeh*” que significa "sustancia brillante amargosa" (INE, 2014). Su utilización como planta medicinal fue muy importante para las antiguas culturas como los griegos, romanos, egipcios, hebreos, asirios, árabes y por las diversas culturas africanas (Choi y Chung, 2003).

Esta planta ha sido utilizada desde hace más de 3000 años debido a sus propiedades curativas. Se sabe que existen alrededor de 300 especies de esta planta, de las cuales con base a un estudio previo se ha demostró que solo cuatro de ellas tienen las mayores propiedades medicinales: *Aloe barbadensis* Miller, *Aloe perryi* Baker, *Aloe ferox* y *Aloe arborescens*. La primera es la más utilizada en la medicina curativa y de mayor popularidad en el mundo y también llamada comúnmente *Aloe vera* según la clasificación de Linneo (Tabla 1) (Atherton, 1998; Martínez y col., 1996).

Algunas de las especies que la comprenden pueden ser encontrados en cualquier otra parte del mundo, ya sea por dispersión natural, o bien porque fueron introducidos por sus múltiples ventajas y actualmente son objeto de cultivo para su explotación comercial (Álvarez y col., 2012).

Clasificación y Características de la Planta

El *Aloe vera* (*A. vera*) tiene un amplio rango de adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales. Los climas en los que se desarrolla van de tropicales y subtropicales a desérticos, puede resistir la sequía y se caracteriza por poseer tejidos bien adaptados para el almacenamiento de agua y para altas temperaturas.

Se ha observado que la respuesta de la planta bajo estas condiciones suele detener su crecimiento y las hojas adquieren una coloración rojiza (INE, 2014). Como se muestra en la Figura 3, el *A. vera* es una planta de hojas alargadas, carnosas y ricas en agua, que puede alcanzar una altura de 50 a 70 cm. Las hojas están agrupadas hacia los extremos de la planta y con tallos

de 30 a 40 cm de longitud. Además, poseen el borde espinoso dentado, con flores tubulares, colgantes de color amarillo (Castro, 2004).

Tabla 1. Clasificación taxonómica del *A. vera*

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Subclase	<i>Liliidae</i>
Orden	<i>Asparagales</i>
Familia	<i>Xanthorrhoeaceae</i>
Subfamilia	<i>Asphodeloideae</i>
Género	<i>Aloe</i>
Especie	<i>A. vera</i>
	(clasificación de Linneo)
	<i>A. barbadensis</i>
	(clasificación de Miller)
Variedades	<i>A vera</i> var. <i>Vulgaris</i>
	<i>A vera</i> var. <i>Humilis</i>
	<i>A vera</i> var. <i>Mitiformis</i>

(Álvarez y col., 2012; Serna, 2012).



Figura 3. Planta de *Aloe vera*.

La estructura de las hojas está formada por el exocarpio o corteza, la cual está cubierta de una cutícula delgada. La corteza representa aproximadamente del 20 al 30% del peso de toda la planta y dicha estructura es de color verde o verde azulado, lo que depende de diversos factores tales como: el lugar, clima o nutrición de la planta. La parénquima, conocida comúnmente como pulpa o gel se localiza en la parte central de la hoja y representa del 65 al 80 % del peso total de la planta (Figura 4).

Como se mencionó anteriormente, entre la corteza y la pulpa, ocupando toda la superficie interna de la hoja, se encuentran los conductos de aloína que son una serie de canales longitudinales de pocos milímetros de diámetro por donde circula la savia de la planta, conocida como acíbar. El acíbar se puede obtener dejando fluir el líquido de los conductos de aloína (Choi y Chung, 2003).

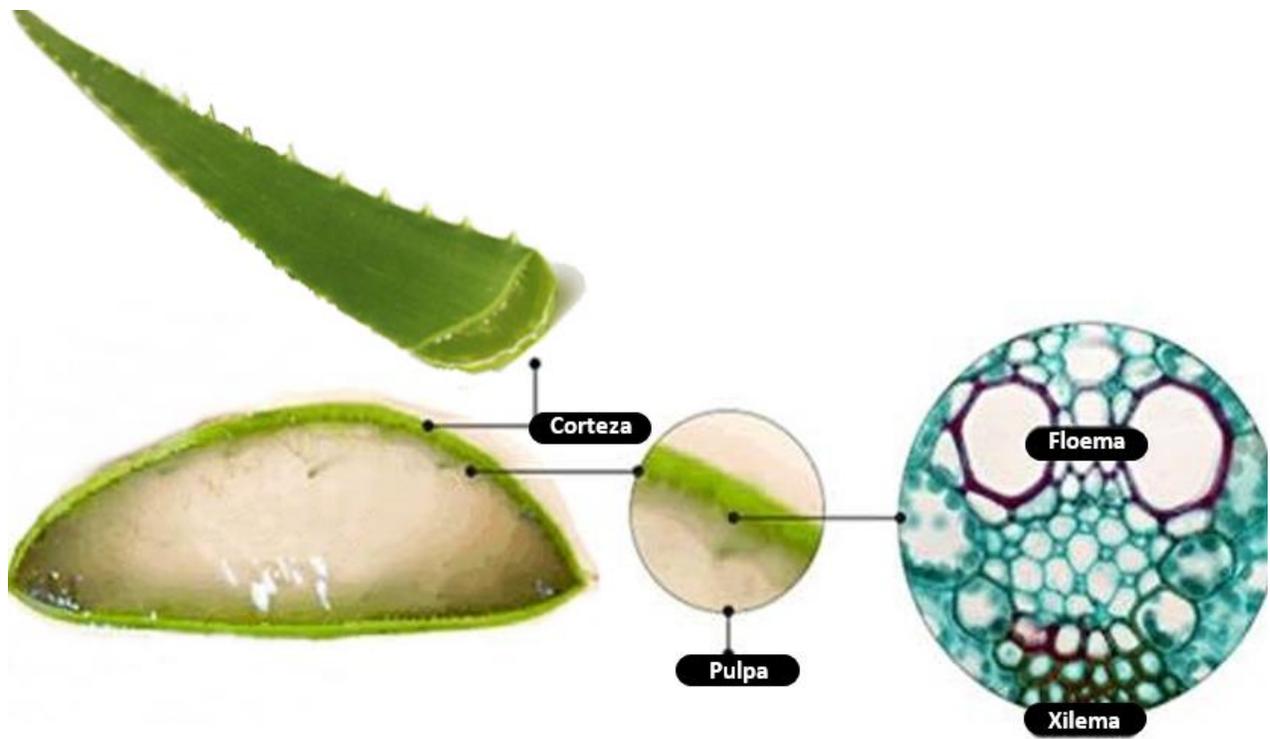


Figura 4. Hoja de la planta de *Aloe vera* corte transversal y sus capas.
(Ferraro, 2009; Vega G y col., 2005)

Composición Química del *Aloe vera* (AG)

De la planta de *A. vera*, lo más utilizado son las hojas, cada una está compuesta por tres capas: una interna que es un gel transparente que contiene 99% de agua y el resto está constituido de glucomananos, aminoácidos, lípidos, esteroides y vitaminas. La capa intermedia o látex que es la savia amarillo-amarga contiene antraquinonas y glucósidos y la capa externa gruesa llamada corteza, que tiene la función de protección y síntesis de carbohidratos y proteínas. Dentro de la corteza los haces vasculares son responsables del transporte de sustancias como el agua (xilema) y almidón (floema) como se muestra en la Figura 4.

Se ha informado que la planta de *A. vera* está constituida por una mezcla compleja de compuestos como se muestra en la Tabla 2 y que más de 20 de estas sustancias poseen actividades benéficas para la salud.

Tabla 2. Componentes químicos de la planta de *A. vera*.

Composición	Compuestos
Antraquinonas	Ácido aloético, antranol, ácido cinámico, barbaloína, ácido crisofánico, emodina, aloe-emodin, éster de ácido cinámico, aloína, isobarbaloína, antraceno y resistanol.
Vitaminas	Ácido fólico, vitamina B ₁ , colina, vitamina B ₂ , vitamina C, vitamina B ₃ , vitamina E, vitamina B ₆ y betacaroteno.
Minerales	Calcio, magnesio, potasio, zinc, sodio, cobre, hierro, manganeso, fósforo y cromo.
Carbohidratos	Celulosa, galactosa, glucosa, xilosa, manosa, arabinosa, aldopentosa, glucomanosa, fructosa, acemanano, sustancias pépticas y L-ramnosa.
Enzimas	Amilasa, ciclooxidasa, carboxipeptidasa, lipasa, bradikinasa, catalasa, oxidasa, fosfatasa alcalina, ciclooxigenasa y superóxido dismutasa.
Lípidos y compuestos orgánicos	Esteroides (campesterol, colesterol, β -sitoesterol), ácido salicílico, sorbato de potasio, triglicéridos, lignina, ácido úrico, saponinas, giberelina y triterpenos.
Aminoácidos	Alanina, ácido aspártico, arginina, ácido glutámico, glicina, histidina, isoleucina, lisina, metionina, fenilalanina, prolina, tirosina, treonina y valina.

(Almonacid Moscoso, 2012).

Entre los componentes del AG, destacan los acemananos que son los carbohidratos que más ampliamente han sido estudiado, por sus propiedades estimuladoras de la respuesta inmune, donde se ha demostrado que pueden activar células efectoras e inhibir el crecimiento tumoral, además de bloquear la radiación UV (Choi y Chung, 2003).

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 G y col., 2005)

Los compuestos fenólicos también han sido estudiados como compuestos importantes de la planta de AG, ya que pueden actuar como antioxidantes y entre estos se encuentran las antraquinonas y cromonas. Algunas antraquinonas presentes en el AG son aloína, isobarbaloína

y aloemodina, de las cuales, la primera es el componente principal del acíbar, y la cual es conocida por sus efectos laxantes, antibacterianos y antifúngicos.

Por otro lado, las cromonas presentan una amplia gama de efectos biológicos como antibiótico y antiinflamatorio, siendo las principales responsables las cromonas aloeresina A y aloeresina B. Adicionalmente, AG contiene en su composición 20 tipos de aminoácidos, de los cuales la arginina es la más abundante, seguida de las glicoproteínas y algunas enzimas como la catalasa, la amilasa y oxidasa (Serna, 2012; Vega G y col., 2005; Zapata y col., 2013).

Aplicaciones del *A. vera* (AG)

La cosmetología y la farmacéutica son las áreas industriales en la que el AG ha sido mayormente explotado en su comercialización, a través de productos derivados de la planta. Debido a sus características humectantes, hidratantes, antiinflamatorio, desinfectantes, de regeneración celular y por su elevado poder penetrante en la piel. Estas propiedades han ayudado a producir diversos productos como jabones, cremas, tonificantes, lociones para la piel, filtros solares y otros productos aplicándose en heridas y quemaduras leves para lograr una recuperación rápida del tejido dañado (Almonacid Moscoso, 2012; INE, 2014).

Biopolímeros Degradables, su Combinación para Elaborar Membranas y uso potencial

Actualmente existe un auge en la generación de nuevos materiales, tal es el caso del desarrollo de nuevas películas o membranas basadas en polisacáridos destinadas a ser utilizadas como material de envasado de alimentos comestibles. Un estudio previo, donde se elaboraron membranas de quitosano con la incorporación de AG en diferentes proporciones, se encontró que la adición del AG mejoraba su solubilidad en agua y con propiedades mecánicas adecuadas. Pero las características del color se vieron afectadas por la adición del AG (Khoshgozaran-Abras y col., 2012).

Respecto a sus aplicaciones biológicas, las membranas de quitosano con AG han demostrado tener efectos importantes sobre la propagación, proliferación, mantenimiento y viabilidad de los fibroblastos dérmicos humanos, en estudios desarrollados *in vitro*. Además, ha mostrado ser capaz de inhibir el crecimiento de *Staphylococcus aureus* el cual es un patógeno persistente en la mayoría de las infecciones de piel, y de tener propiedades mecánicas y físicas adecuadas para ser aplicadas como apósitos para heridas (Silva y col., 2013).

Park y Nho (2003), elaboraron apósitos para heridas basados en la mezcla de hidrogeles de *Aloe vera* (0.4, 0.8 y 1.2% m) y poli [vinil alcohol (PVA)]/poli [N-vinilpirrolidona (PVP)] (6/4 m/m)

por congelación-descongelación y uso de radiación con rayos γ (^{60}Co). Estos apósitos fueron aplicados en heridas de 1 cm que fueron inducidas sobre la piel de ratas y comparados con heridas sin revestimiento y con membranas comerciales de uretano. Ellos observaron que la herida con el apósito de hidrogel presentó una mejor razón de cura que la herida sin revestimiento o la membrana de uretano (hasta 15 días de observación). El efecto de cura fue asociado a las propiedades que tiene el AG de penetrar en el tejido, reducir la inflamación e incrementar el suministro de sangre por la inhibición de la síntesis del constrictor trombohexano A2 (Park y Nho, 2003). Además, recientemente se encontró que el AG contenido en películas de Poli (vinil alcohol), puede influir positivamente en la proliferación de fibroblastos, sin presencia de citotoxicidad (Hajian y col., 2017).

Otro factor importante que influye en el retraso de sanación de las heridas y en varias enfermedades de la piel son los rayos ultravioleta en la región de 200-280 nm. Dey y col. (2015), crearon parches a partir de la combinación de hidrogeles de N-vinilpirrolidona-acrilamida-AG, basados en el principio de que la acrilamida muestra resistencia contra el desarrollo de microorganismos y buena respuesta al hinchamiento, lo cual permite una adecuada difusión de moléculas de agua a través de la red polimérica (Dey y col., 2015; Ng y col., 2014).

La N-vinilpirrolidona suele ser seleccionada por su biocompatibilidad, no toxicidad y baja inmunogenicidad y buenas propiedades de barrera y la capacidad de coordinarse con otros polímeros (Li y col., 2005). Los polisacáridos del AG han mostrado capacidad de reparar los daños ocasionados en la piel por la radicación. El modelo de parche de N-vinilpirrolidona-acrilamida-AG consistió en una proporción constante de N-vinilpirrolidona-acrilamida (2:3) y variando la cantidad de AG (0, 3.3, 6.3, 9.2 y 12 %m) (Dey y col., 2015).

La combinación de estos hidrogeles ha presentado buena integridad mecánica y una constante liberación de flavonoides (solución tapón a un pH 7.0) asociada con una fuerte absorción de rayos UV dañinos. Por lo tanto, se considera que podría ayudar a la protección de las heridas. La desventaja reportada es la hinchazón del N-vinilpirrolidona-acrilamida-AG disminuye con la incorporación del AG. Esto fue atribuido a la presencia de nanoporos, donde probablemente el AG se dispone sobre sus paredes laterales y esto disminuye el acomodo del agua, representando una desventaja en su uso como parche para heridas.

En contraste la creación de películas a base de alginato y AG en proporciones 95:5, 85:15 y 75:25, v/v. las cuales fueron preparadas con un entrecruzamiento con cloruro de calcio (5% p/v) (Pereira y col., 2013), en pruebas *in vitro* realizadas a la película mostraron adecuadas propiedades mecánicas para poder ser aplicadas en la piel y baja solubilidad en agua en 24 h.

Además, se observó que el incremento en la absorción de agua e hinchazón estaba asociado a un bajo grado de entrecruzamiento del alginato con AG.

Por lo tanto, se encontró que la absorción de agua de las películas es dependiente de la cantidad de AG y el pH y su degradación podía ser ajustada con el cambio en el contenido de AG, características que son útiles en sistemas de administración de fármacos porque permite controlar la liberación de biomoléculas (Pereira y col., 2013). La sumatoria de características de las películas de alginato y AG ha sido propuestas para ser utilizadas como revestimientos de heridas ya que tienen la capacidad de hidratar/deshidratar las heridas. Este comportamiento con el ambiente húmedo, ayuda a proteger la herida contra infecciones, evitar su degradación por la humedad y acelerar la regeneración del tejido dañado (Wang y col., 2002).

Se ha intentado utilizar AG en polvo mediante la remoción del exceso de agua, debido a que su forma de gel suele ser altamente inestable. Esto obliga a agregarle agentes estabilizadores a dicha consistencia, pero la obtención de polvo de AG es costosa y tediosa, siendo un impedimento para la industria, que requiere lo contrario (Kiran y Rao, 2014). Además, el buscar las condiciones de hidratación para obtener a partir del polvo, un gel similar al natural ha resultado complicado. Por eso, la gran mayoría de los estudios prefieren utilizar el AG de manera nativa y con el mínimo proceso posible. Recientemente se ha documentado que una concentración de 1.6% m/v de AG en polvo calentado a 30 °C tienen una adecuada formación del gel basado en pruebas reológicas (Kiran y col., 2017).

Minjares y col. (2016) estudiaron el efecto de diferentes procedimientos de secado sobre las propiedades fisicoquímicas del AG, el análisis FTIR indicó que los diferentes procedimientos de secado podían promover la desacetilación de los acemananos, siendo el principal polisacárido bioactivo presente en el AG. Estas modificaciones deben tenerse en cuenta para evaluar la calidad general de los ingredientes funcionales del AG antes de incorporarse a una amplia gama de productos de los campos cosmético, farmacéutico y alimentario (Minjares-Fuentes y col., 2016).

En otro estudio donde se evaluó la influencia de la temperatura empleada durante el proceso de secado, y se notó que la estabilidad de algunos parámetros de calidad nutricional y funcional en el AG rehidratado dependían de la temperatura aplicada. La mayor pérdida de nutrientes se observó a 80 y 90 °C. Sin embargo, el contenido de fibra cruda, calcio, vitamina C y la capacidad antioxidante disminuyeron en las muestras rehidratadas en comparación con el AG fresco. De acuerdo con los resultados obtenidos, para obtener un producto de calidad comercial aceptable y con características similares a las del AG en fresco se han sugerido temperaturas de secado del gel entre 60 y 70 °C (Miranda y col., 2009).

Además de la combinación de carbohidratos con el AG, se ha buscado la combinación de AG con matrices proteicas. López-Mata y col. (2016), elaboraron películas a base de clara de huevo y AG en diferentes proporciones. Dichas películas mostraron una superficie estructuralmente homogénea, no porosa y con resto de proteínas insolubles sobre la superficie de la membrana que fueron observadas en las imágenes de microscopia de barrido electrónico, que fue inducido por el desplazamiento del contenido acuoso del AG, conforme se fue aumentado su proporción en la elaboración de la membrana. En las películas también se observó una ligera coloración amarilla y capacidad para bloquear la luz UV. Asimismo, las películas mostraron actividad antibacteriana por contacto contra cepas de *E. coli* O157: H7 (ATCC 43890) y *S. aureus* (ATCC 9144) (López-Mata y col., 2016).

Es importante mencionar, que no todas las combinaciones de las matrices inducen necesariamente una mejora en las propiedades e incluso en ocasiones pueden resultar en inadecuadas, lo cual puede limitar sus aplicaciones, (Šešljija y col., 2018). Es fundamental resaltar que la búsqueda de las películas biodegradables basadas en polímeros de origen natural, han sido ampliamente investigadas para diferentes aplicaciones biomédicas, incluida la ingeniería de tejidos, la administración de fármacos y la curación de heridas. Dicho interés es debido a la biocompatibilidad, biodegradabilidad y propiedades que presentan las membranas que son muy similares a los tejidos humanos. Los hidrogeles naturales son materiales atractivos para el tratamiento de diferentes tipos de heridas, debido a las propiedades como suavidad, alto contenido de agua, elasticidad, maleabilidad y capacidad pudieran proporcionar un ambiente húmedo para proteger la herida (Valencia-Gómez y col., 2016)

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención del Aloe-gel (AG)

El AG utilizado en este estudio se obtuvo de una planta de jardín particular de Ciudad Obregón, Sonora, con dos años de haber sido plantada. Para la obtención del AG, las hojas de la planta fueron cortadas desde la base con ayuda de un cuchillo. Estas se envolvieron en papel absorbente y se transportaron al Laboratorio de Biología de la Universidad de Sonora, del Departamento de Ciencias de la salud, Campus Cajeme. Una vez en el laboratorio, se lavaron para eliminar las impurezas y partículas de látex. Después se retiró la corteza a las hojas para obtener sólo la pulpa del AG. La pulpa fue licuada (Licuadora Marca Oster, modelo 006831-000-000) de manera convencional para obtener el extracto. El gel fue filtrado en una malla fina de poliéster para retirar los restos de fibras vegetales. Se centrifugó a 617 g por 5 minutos y el sobrenadante se recolectó y nuevamente se filtró bajo las mismas condiciones ya descritas. Todo el gel obtenido se pesó en una balanza (marca Mettler Toledo, Modelo MS3002S/03) y con base en la masa obtenida del AG se adicionó ácido cítrico (0.01 % m/m) y se agitó moderadamente por 10 minutos en una placa de agitación. Una vez terminado este proceso, se fraccionó en alícuotas de 50 mL y se congelaron a -20 °C para su conservación hasta el momento de su uso (Figura 5).

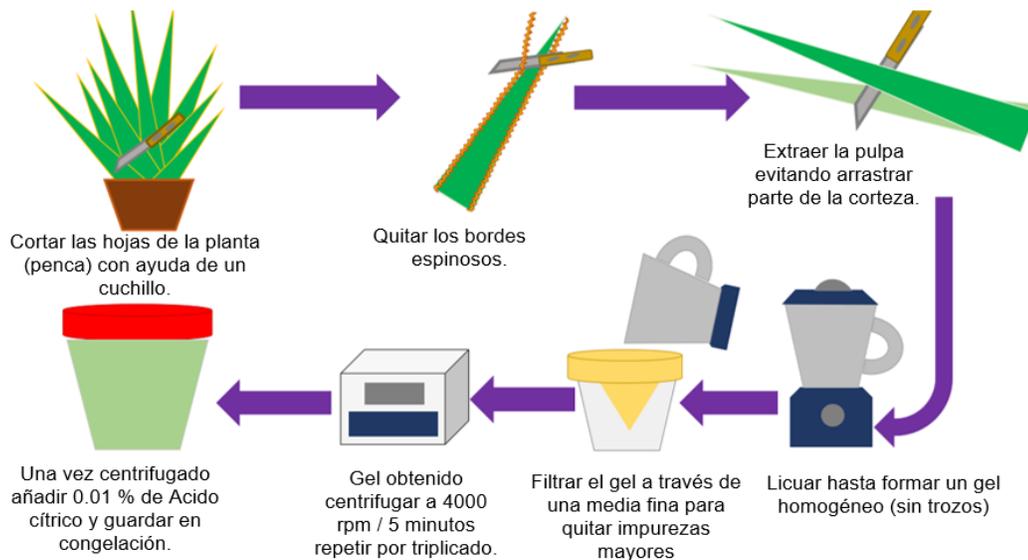


Figura 5. Obtención de AG.

Preparación de la Solución PC

La PC que se utilizó para este trabajo proviene de la casa comercial QUÍMICA SUSATES S.A DE C.V. (Chemical Meyer Reactive, México, DF) con un $\approx 65\%$ de ácido D-glucurónico. El grado de esterificación de este reactivo se calculó con la ecuación (Ec.1) basada en el valor de área de las bandas que arrojó el éster carbonilo (EC) a una longitud de onda de 1746 cm^{-1} , según lo establecido en el protocolo de Gnanasambandam 2000, (Gnanasambandam y Proctor, 2000). La PC se preparó en una solución acuosa al 3.0% m/v, para obtener el hidrogel.

$$\text{Ec. 1} \quad GE = \text{Área EC a } 1746\text{ cm}^{-1} + \frac{4.0013}{0.46472}$$

Elaboración de Membranas

Se prepararon cinco tipos de membranas con diferentes proporciones de PC y AG, las combinaciones de las matrices se realizaron como se menciona a continuación: 50PC/50AG, 60PC/40AG, 70PC/30AG, 80PC/20AG, 90PC/10AG (% p/p) y un control de PC. Una vez mezcladas, a cada una de las proporciones se les adicionó 2.5% glicerol (m/m). Estas mezclas de matrices se agitaron a 8 RPM por 5 minutos. Después se colocaron en la base de cajas Petri y se colocaron en una incubadora a $40\text{ }^\circ\text{C}$ por 48 h, transcurridas estas horas, las membranas secas fueron retiradas de la base con mucho cuidado, recortando los bordes. Las membranas se guardaron individualmente en bolsas plásticas con cierre hermético, etiquetadas y con gel de sílice como desecante en su interior a $25\text{ }^\circ\text{C}$ para su posterior análisis (Figura 6).

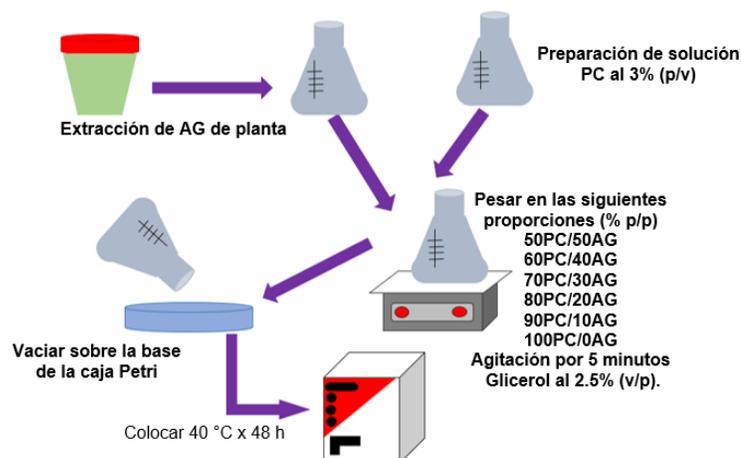


Figura 6. Preparación de Membranas.

Evaluación Física

Grosor

El grosor se calculó con un micrómetro (Mitutoyo IP65, Japón) con precisión de 1×10^{-3} mm. Las mediciones se realizaron en diferentes puntos elegidos al azar de cada tipo de membrana, realizado por triplicado. Estas mediciones se usaron para estimar la transparencia y la permeabilidad al vapor de agua.

Caracterización de la Microestructura

La morfología de las membranas obtenidas se examinó 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 las muestras se enviaron al Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales de la Universidad de Sonora en Hermosillo, Sonora.

Solubilidad

La solubilidad se determinó según lo reportado por Casariego y col., (2009). Las membranas se cortaron en cuadros de 1.0×2.5 cm y se colocaron en un horno con vacío (Binder, mod. VD 115) (35 kPa x 24 h) para obtener el peso de las membranas secas. Posteriormente las membranas se sumergieron en 20 mL de agua destilada en cajas Petri y mantenidas a 25 °C por 24 horas con agitación ocasional. Una vez transcurrido el tiempo, se volvió a secar hasta peso constante en el horno al vacío, para determinar el peso de materia seca, que no se solubilizó en agua. La solubilidad se calculó con base a la ecuación 2 (Ec.2):

$$\text{Ec. 2} \quad \% \text{ Solubilidad} = \left(\frac{M_i - M_f}{M_i} \right) 100$$

Donde M_i representa la masa inicial y M_f masa final, (Casariego y col., 2009).

Permeabilidad al Vapor de Agua

La permeabilidad vapor de agua (PVA), se determinó gravimétricamente basados en el método ASTM E96-92 (Guillard y col., 2003). Las membranas se colocaron en la parte superior de

matraces de 50 mL adheridas con pegamento en barra, los matraces contenían 10 mL de agua destilada [100 % de humedad relativa (HR); 3.168 kPa de PVA a 25 ° C]. Posteriormente, se colocaron dentro de un desecador con sulfato de calcio anhidro a 25 ° C y 0 % de HR (0 kPa de PVA). Los matraces, se pesaron en intervalos de 3, 6, 9 y 12 h, tomando en cuenta el peso inicial (0 h). El estado ideal y uniformidad de las condiciones de PVA se asumió por la circulación de aire constante al exterior del matraz. Para ello, se utilizó un ventilador miniatura dentro del desecador. Con el valor de las diferencias de masa perdida de los matraces se realizó una gráfica con respecto al tiempo, 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 ecuación 3 (Ec.3):

$$\text{Ec.3} \quad \text{RTVA} = \frac{\text{Pendiente}}{\text{Área de la Película}}$$

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 (PA₁) y fuera del matraz (PA₂) como se expresa en la ecuación 4 (Ec.4):

$$\text{Ec.4} \quad \text{PVA} = \frac{\text{RTVA}}{(\text{PA}_1 - \text{PA}_2)} \text{ g}$$

Color

A las membranas se les midió el color con un colorímetro (X-rite SP-62), sometiendo seis membranas de cada concentración respectivamente y se realizó un promedio de tres mediciones al azar. El color de las membranas se expresó con base en el modelo CIELAB (L^* , a^* y b^*). Los parámetros seleccionados como L^* representan la luminosidad del material estudiado y b^* representó una escala de color de amarillo al azul y a^* del verde al rojo.

Opacidad (%)

El porcentaje de Opacidad se determinó por medio del software del equipo X-rite SP-62 establecido en la escala de color Hunterlab (sobre blanco y negro). La medición se realizó por triplicado para cada tipo de membrana (Carneiro-da-Cunha y col., 2009).

Transmitancia

Primeramente, se realizaron pequeños cortes de las membranas de 1.3 × 4.5 cm; y se colocaron en una celda de cuarzo y paralelas a una de las caras transparentes de la celda. Las celdas con las membranas fueron llevadas al espectrofotómetro de barrido (espectrofotómetro UV-vis Marca Cintra 10e, Australia). La lectura de cada membrana se realizó por triplicado usando las siguientes longitudes de onda: 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 y 900 nm. De esta manera se abarcaron tanto el rango ultravioleta como el visible (Han y Floros, 1997).

Espectrometría Infrarroja con 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 400-4000 cm⁻¹, empleando el espectrofotómetro FTIR Perkin-Elmer 1600. Todas las mediciones se realizaron por triplicado en modo de transmitancia.

Propiedades mecánicas de la película

Se empleó el método estándar ASTM-D882-12, para medir la resistencia a la tracción (RT), el porcentaje de elongación (PE) y el módulo de elasticidad (ME). Las membranas se recortaron en rectángulos (6.0 cm x 1.0 cm) y se acondicionaron a 52 % de humedad relativa (HR) durante 24 h antes de su ensayo con bromuro de sodio. Después las membranas se montaron y se sujetaron con agarre de Texturometer TAXT-Plus Stable Micro Systems, Surrey, UK). Los resultados se analizaron con el software Exponent Lite (Versión 4.0). Las condiciones del ensayo fueron las siguientes: carga de 30 kg, un calibre inicial de 4 cm de longitud y estirado usando una velocidad de cruce 20 mm min⁻¹. El porcentaje RT se expresó en MPa y se calculó dividiendo la carga máxima por el área inicial de la sección transversal de la película. El porcentaje PE se calculó como la relación entre la longitud de aumento y la relación de longitud inicial de la película. El ME se evaluó utilizando la pendiente del comportamiento lineal tensión-deformación. Todas las pruebas se realizaron cinco veces para cada tipo de membrana.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las PVA, transmitancia, color, opacidad, espesor y propiedades mecánicas, fueron utilizados como variables respuestas (dependientes), asignando como variables independientes las proporciones de PEC/AG utilizada y la membrana control de solo PC. Para lo anterior, se realizó un análisis de varianza para probar las diferencias entre las medias utilizando la prueba de Duncan con un $\alpha = 0.05$ para la toma de decisiones y estableciendo un nivel de significancia de $p < 0.05$. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete estadístico NCSS, 2000.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades Ópticas

Los resultados del análisis de color de las membranas de PC/AG se muestran en la Tabla 3. A pesar de que las membranas presentaron alta luminosidad (valores L^*) (Figura 7), esta disminuyó significativamente en relación con el incremento de la proporción de AG, específicamente a partir de los intervalos de las proporciones 70/30 y 50/50. Además, al incrementar dichas proporciones la tonalidad de la coloración amarilla de las membranas (valor b^*) aumentó significativamente (3.93-6.47), asociado con la cantidad de AG adicionado a la membrana ($p < 0.05$). La proporción 50/50 fue la que mostró la coloración amarilla más intensa, comparada con el control, (hasta 64% más).

Tabla 3. Parámetros de color en membranas de PC/AG.

Proporciones de membranas PC/AG (%p/p)	L^*	a^*	b^*
100/0	92.70 ± 0.22 ^a	-1.18 ± 0.08 ^a	3.93 ± 0.25 ^a
90/10	92.63 ± 0.01 ^a	-1.28 ± 0.01 ^a	4.13 ± 0.30 ^a
80/20	91.98 ± 0.29 ^a	-1.29 ± 0.02 ^a	4.91 ± 0.30 ^b
70/30	91.05 ± 0.17 ^b	-1.11 ± 0.05 ^a	5.91 ± 0.18 ^c
60/40	91.03 ± 0.10 ^b	-0.74 ± 0.05 ^b	5.58 ± 0.25 ^c
50/50	90.15 ± 0.49 ^c	-0.52 ± 0.10 ^c	6.47 ± 0.40 ^d

* Las diferentes letras en cada columna indican la diferencia significativa por la prueba de Duncan ($p < 0.05$). Los resultados expresan la media ± el error estándar.

El comportamiento de la coloración amarilla podría atribuirse a las antraquinonas, que están normalmente presentes en la corteza de la planta de *A. vera*, como previamente ha sido reportado por Khoshgozaran-Abras y col., (2012), estos autores establecen que, durante la obtención del AG, las antraquinonas son componentes difíciles de remover, la desventaja es que estos remanentes son muy susceptibles a la luz, la oxidación por el ambiente (Yamaguchi y col., 1993), lo que probablemente pudo haber influido en los cambios de color de nuestras membranas. Por otra parte, los valores de transmitancia y opacidad se pueden apreciar en la Tabla 4, donde podemos observar que todas las proporciones de membranas de PC/AG, tienen la capacidad de transmitir una baja cantidad de luz UV a 200 nm, cuyos valores de transmitancia son 0.002-0.013, No obstante, a pesar de la propiedad de reducir el paso de la luz UV, la membrana fue menos eficiente a 300 nm (3.55-27.90) y 400 nm (46.99-66.29). Se observó también una tendencia de

reducción de la transmisión de luz UV conforme la proporción AG aumentaba en las membranas. Estudios previos han evidenciado, que el AG contiene componentes específicos del *Aloe* como antraquinonas, polisacáridos y vitaminas (Tabla 2), que podrían ser los responsables de reducir la transmisión de la luz UV (Khoshgozaran-Abras y col., 2012; López-Mata y col., 2016). Otro factor que pudo haber tenido influencia en la variación de la transmisión de la luz es el grosor de las membranas (basados en la Ley de Lambert-Beer). Dichos grosores fueron muy diversos, (Tabla 5), debido a que el método de Casting no homogeniza los grosores de las membranas y, además, este también depende de la concentración de los constituyentes que fueron utilizados.



Figura 7. Imágenes de las membranas de PC/AG, A: 100/0, B: 90/10, C: 80/20, D: 70/30, E: 60/40 y F: 50/50.

La opacidad es una medida que nos indica también que tan transparente es o no una membrana. Cuando mayor sea el valor de opacidad, menor será la transparencia y viceversa. Por lo anterior, podemos considerar que todos los valores obtenidos de las membranas (Tabla 4) nos indican que fueron transparentes y que la proporción de AG adicionado en la formulación de la membrana no tuvo efecto significativo en los valores de opacidad ($p > 0.05$). A diferencia de

nuestro estudio, informes previos sobre la evaluación de la opacidad en membranas de AG combinadas con diferentes matrices (excluyendo la PC) han reportado que la adición de AG puede inducir cambios en la transparencia de la membrana, adquiriendo una apariencia más oscura con tonalidad de color café intenso, que fue fuertemente asociada con la presencia de antraquinonas (Gutiérrez y Álvarez, 2016; Khoshgozaran-Abras y col., 2012).

Tabla 4. Transmitancia (%) de la luz y Opacidad (%) de membranas de PC/AG.

Membranas de PC/AG (%p/p)	Longitud de onda (nm)								Opacidad*
	900	800	700	600	500	400	300	200	
100/0	88.20	87.06	85.39	82.85	78.21	66.29	27.90	0.009	9.91 ± 0.25 ^a
90/10	89.20	87.90	85.92	82.83	77.48	60.62	16.10	0.009	10.43 ± 0.17 ^a
80/20	89.02	88.14	86.84	84.77	81.32	67.63	23.68	0.006	9.80 ± 0.10 ^a
70/30	89.06	88.25	86.99	84.76	81.21	63.13	14.80	0.002	10.64 ± 0.31 ^a
60/40	87.01	85.96	84.38	81.60	77.27	54.60	7.79	0.013	10.10 ± 0.30 ^a
50/50	85.47	84.23	82.43	79.23	74.38	46.99	3.55	0.011	10.58 ± 0.30 ^a

* Los resultados expresan la media ± el error estándar y las diferentes letras en la misma columna indican una diferencia significativa por la prueba de Duncan ($p < 0.05$).

Solubilidad y Permeabilidad Vapor de Agua (PVA)

Durante la prueba de solubilidad, cuando las membranas de proporciones 100/0, 90/10 y 50/50, (Figura 8) fueron colocadas en agua (imágenes A, B y F), adquirieron la forma de gel que quedo depositada en el fondo del tubo. Sin embargo, la membrana 80/20 (imagen C) presentó cambios estructurales y se observó una capa delgada en forma de laminilla traslucida que fue más notoria en la proporción 70/30 (imagen D), incluida una división que formaba dos laminillas (forma de ángel). Las formas de laminillas se perdieron (imagen E y F) en las membranas cuyas proporciones de PC fue más baja (50/50), y tomaron la forma observada en las proporciones 100/0, 90/10 y 50/50. Esto nos podría indicar, que el AG, junto con la PC, podría interaccionar para formar estas formas de laminillas en presencia de agua.

Ningún tipo de membrana (sobrenadante) fue posible recuperar del agua, debido a que las membranas fueron degradadas completamente mientras se descartaba el agua. Por lo tanto, las membranas fueron completamente solubles en agua (100%). La alta solubilidad de las membranas de PC se ha relacionado estrechamente con el plastificante utilizado. Pasini-Cabello y Col. (2015) estudiaron el efecto de los plastificantes glicerol y polietilenglicol en la estructura de la película de PC (Pasini Cabello y col., 2015). Ellos encontraron que las películas con glicerol

(5%) mostraron un incremento en la solubilidad de 9.28 al 100% después de 12 h de inmersión en agua debido al glicerol. En cambio, el polietilenglicol (5%) agregado a las membranas de PC redujo la solubilidad en agua (de 24.8% a 22.4%). El glicerol parece actuar como un plastificante de manera intermolecular, debido a la capacidad de formar fuertes enlaces de hidrógeno, lo que conlleva a la ruptura intramolecular de la conectividad de las cadenas de PC. Por lo anterior, la formación de las laminillas observadas puede estar relacionada con la nueva interacción de enlaces de hidrógeno debido a la asociación molecular de las cadenas PC/AG descrita en el apartado de análisis de FTIR.

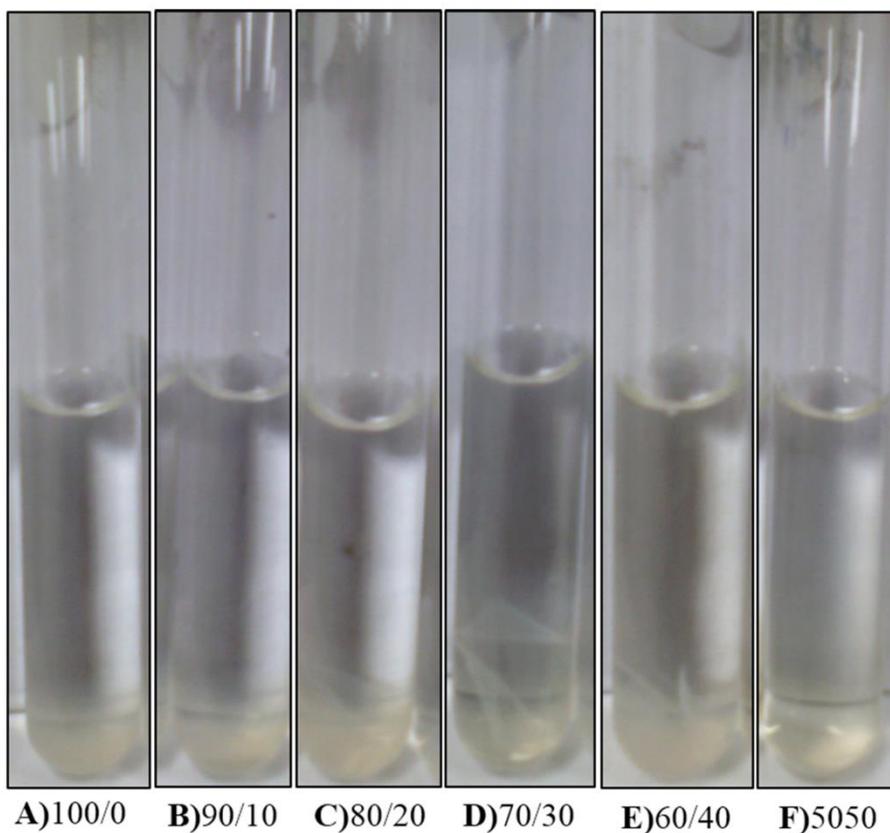


Figura 8. Prueba de solubilidad de membranas de PC/AG en agua.

Por otro lado, la PVA es un parámetro usado para evaluar la efectividad de membrana como barrera ante la humedad entre un espacio interno y externo (Felton, 2007). En la Figura 9 se muestra el comportamiento de la PVA de las membranas. Algunos estudios publicados

demonstraron que el AG al combinarse con otras matrices puede potencializar la capacidad hidrofílica de la nuevas película híbridas, (Pereira y col., 2013; Silva y col., 2013).

Hasta este punto, nuestras hipótesis eran que todas las membranas PC/AG podrían mostrar valores más altos de PVA con respecto al control. Sin embargo, no se observó ninguna diferencia entre el control y las membranas analizadas (90/10, 70/30, 60/40 y 50/50), con valores en un rango de 2.68 a 1.48 g mm/m² h kPa. De acuerdo con esto, las membranas demostraron la permeabilidad apropiada de vapor de agua. Notablemente, la membrana 80/20 mostró los valores más altos de PVA (hasta un 63%), comparado con el control ($p < 0.05$) y las proporciones restantes de PC/AG, este valor fue incluso menor que el informado en quitosano (Sharmin y col., 2012) y Aloe-gel/clara de huevo (López-Mata y col., 2016) de ahí que estas películas pudieran considerarse apropiadas para mantener un ambiente húmedo.

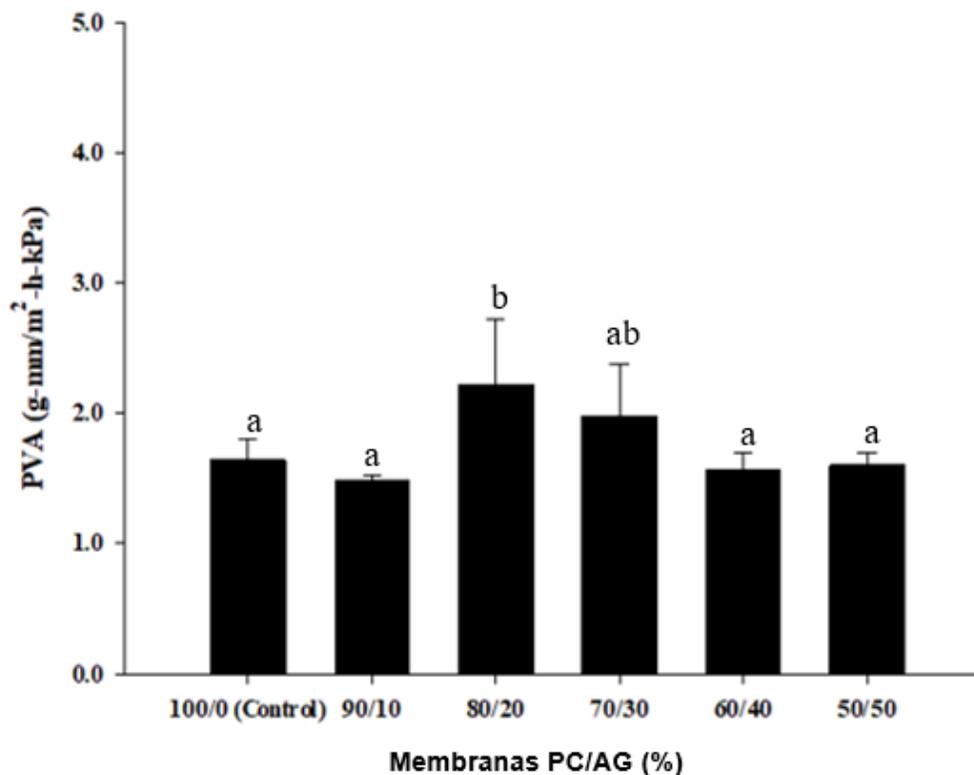


Figura 9. Permeabilidad vapor de agua (PVA) de las membranas PC/AG.

*Las diferentes letras en cada columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

El incremento observado en los valores de PVA podría estar asociado a la disposición de la estructura que adoptó la membrana en la proporción 80/20 durante su obtención, lo que conllevó a la reducción significativa de su grosor, esto se puede observar en la Tabla 5. Este cambio pudo haber permitido una mayor impregnación del vapor de agua a través de la membrana. Este arreglo de la membrana está sustentado por el análisis de FTIR. Además, se ha observado previamente que la reducción del grosor incrementa los valores de PVA en membranas de PC/alginato (Pereira y col., 2013). Este efecto podría ser atribuido a la pérdida de la compactación de la estructura macromolecular de la membrana, que pudo haber generado un espacio libre en la estructura polimérica (Hamman, 2008). Sin embargo, no se observaron cambios significativos en los valores de PVA a medida que decreció la proporción PC de 70/30 a 50/50.

Propiedades mecánicas

La resistencia a la tracción (RT), el porcentaje de elongación (PE) y el módulo elasticidad (ME) son las características mecánicas más importantes de los materiales ya que esta información ofrece el rumbo de las probables aplicaciones de los materiales. La RT se define como la tensión de tracción máxima que la membrana puede tolerar. El PE representa el cambio máximo en la longitud de una membrana durante la prueba antes de romperse; y ME es una medida de la rigidez de la membrana (Srinivasa y col., 2007). En la Tabla 5 podemos observar que todas las propiedades mecánicas de PC cambiaron en relación con la mayor proporción de AG en las membranas.

Conforme se incrementó la proporción de AG, la resistencia de las membranas aumentó significativamente en las proporciones 80/20 (1,30 veces), 70/30 (1,42 veces), 60/40 (1,52 veces) y 50/50 (1,63 veces), en comparación con el control. Se observó también, una tendencia similar en el PE y el ME, donde las membranas mostraron una mayor extensibilidad y plasticidad, que pudiera estar asociada al incremento de AG en las membranas 90/10, 80/20 y 70/30, alcanzando valores máximos en las proporciones 60/40 y 50/50. Esto indicó que los umbrales de flexibilidad y plasticidad (valores PE y ME) fueron expuestos por la composición de la membrana PC/AG hasta la proporción 60/40.

Tabla 5. Propiedades mecánicas de las membranas de PC/AG.

Membranas de PC/AG (% p/p)	RT (MPa)	PE	ME (MPa)	Grosor (mm)
100/0 (Control)	4.34 ± 0.08 ^a	37.90 ± 0.80 ^a	113.4 ± 1.65 ^a	0.113 ± 0.005 ^a
90/10	5.04 ± 0.03 ^a	35.40 ± 0.85 ^a	119.2 ± 0.89 ^b	0.151 ± 0.010 ^b
80/20	5.59 ± 0.14 ^c	36.39 ± 0.48 ^a	122.0 ± 1.71 ^b	0.093 ± 0.003 ^a
70/30	6.17 ± 0.15 ^d	41.20 ± 0.37 ^b	128.1 ± 1.03 ^d	0.101 ± 0.005 ^a
60/40	6.64 ± 0.10 ^e	43.16 ± 1.10 ^c	129.0 ± 0.82 ^d	0.107 ± 0.002 ^a
50/50	7.11 ± 0.05 ^f	43.43 ± 1.20 ^c	130.6 ± 1.49 ^d	0.104 ± 0.001 ^a

* Media ± el error estándar y las diferentes letras en la misma columna indican las diferencias significativas por la prueba de Duncan ($p < 0.05$). RT= resistencia a la tracción, PE= porcentaje de elongación y ME = módulo de elasticidad

Un comportamiento similar fue observado previamente en películas preparadas con celulosa bacteriana/AG y quitosano/AG (Khoshgozaran-Abras y col., 2012; Saibuatong y Phisalaphong, 2010) el cual fue atribuido a la presencia de AG (entre proporciones 40-50% de AG). Por el contrario, Gutiérrez y González (2017), encontraron que las propiedades mecánicas de las películas de harina de plátano/AG mejoraban sus propiedades mecánicas a medida que aumentaba el contenido de AG (Gutiérrez y González, 2017).

Algunos estudios sobre películas basadas en matrices de polisacáridos (celulosa y almidón) mezclados con AG han mejorado las propiedades mecánicas, y este efecto se ha atribuido particularmente a ácidos orgánicos (principalmente ácido cítrico) y otros compuestos con potenciales de ser agentes entrecruzantes y que han sido encontrados en el AG (Gutiérrez y Álvarez, 2016; Saibuatong y Phisalaphong, 2010). Por lo contrario, el alto contenido de humedad del AG ha sido reportado como un plastificante en la película quitosano/AG que puede influir negativamente en sus propiedades mecánicas (Khoshgozaran-Abras y col., 2012). Además, el uso del glicerol como plastificante también pudo haber inducido cambios en la flexibilidad, generando membranas más débiles y más deformables que las de PC sin contenido de glicerol.

El aumento de la extensibilidad y la plasticidad de la membrana PC/AG también puede resultar de la interacción del glicerol con enlaces de hidrógeno de los polisacáridos de AG y PC. Esta interacción podría influir en el debilitamiento de la interacción intra e intermolecular en películas elaboradas a partir de harina de plátano-AG como lo ha informado anteriormente Gutiérrez y González (Gutiérrez y González, 2017), por lo tanto, los cambios en las propiedades mecánicas en nuestras películas probablemente fue el resultado de la formación de unión de

hidrógeno entre las cadenas de polisacáridos de PC y AG que pudieron haber sido influenciadas por la presencia del plastificante. Además el contenido de humedad, calcio y el zinc en el AG pueden tener capacidad de entrecruzamiento como Cruz-acoplamiento, principalmente con la PC (Ahlawat y Khatkar, 2011; Dhalleine y col., 2011).

Espectrometría Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR)

La espectroscopia de FTIR se realizó para explorar la interacción intermolecular entre las cadenas de PC y el AG en las diversas proporciones de PC/AG. Para ello, se analizaron las bandas características de la absorción, así como, la aparición de nuevos picos o cualquier cambio máximo cuando aumenta la relación AG (Figura 10). Luego, se siguió la intensidad de absorción y la forma de tres bandas centrales alrededor de 3284 cm^{-1} (-OH), 1746 cm^{-1} (-C=O) y 1645 cm^{-1} (-COO-). La banda ancha compuesta por múltiples picos encontrados en $1500\text{-}1175\text{ cm}^{-1}$ fue atribuida a la vibración de estiramiento de -COO-, -CH y flexión -OH y a las vibraciones de estiramiento C-O-C (Brugnerotto y col., 2001; Mishra y col., 2008). La amplitud, la forma y la intensidad de absorción de estos picos mostraron que las interacciones intermoleculares pueden tener lugar entre las cadenas de polisacáridos.

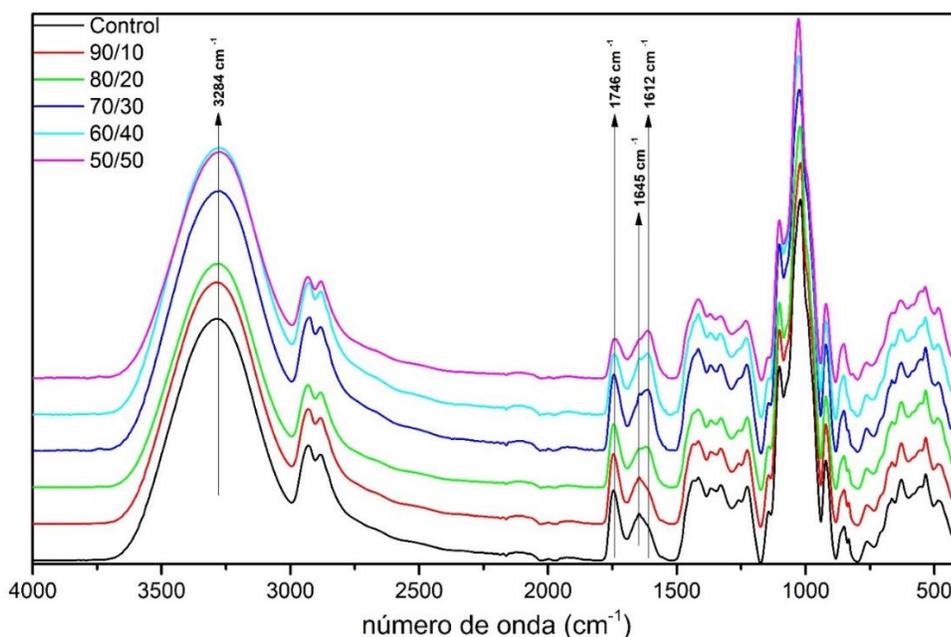


Figura 10. Espectrometría Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) de membranas de PC/AG.

Por lo tanto, se argumentó que la adición de AG afecta negativa o positivamente la formación de enlace de hidrógeno, basados en el análisis del área total de la banda de 3284 cm⁻¹ (Tabla 6).

Tabla 6. Área total de la banda localizada en un rango de 3700 a 3000 cm⁻¹.

Membranas de PC/AG	Área	Longitud de onda (cm ⁻¹)
100/0 (Control)	511.11	3284
90/10	482.78	3284
80/20	459.71	3284
70/30	554.50	3283
60/40	573.39	3279
50/50	461.63	3275

Las áreas totales para las relaciones 90/10 y 80/20 disminuyeron en comparación con la calculada para el control, esto sugiere un reordenamiento de las cadenas de polisacáridos por la interrupción de los enlaces de hidrógeno entre las cadenas PC/PC y la formación de nuevas uniones de hidrógeno debido a la asociación molecular de las cadenas PC/AG. Este efecto puede asociarse a los grupos acetyl presentes en la estructura de la columna de los polisacáridos de AG.

Notablemente, las áreas totales para las relaciones 70/30 y 60/40 fueron mayores que en la muestra control, sugiriendo un segundo reordenamiento de las macromoléculas de polisacáridos que se encargan de la formación de enlaces entre las cadenas PC y AG alcanzando la formación máxima de vinculación del hidrógeno en la proporción 60/40.

Se sugiere que las estructuras principales de los polisacáridos PC y AG juegan un papel importante en el proceso de disposición de las cadenas de polisacáridos que da como resultado la formación mejorada de enlaces de hidrógeno basados en el ácido D-galacturónico enlazado en α (1-4) de la PC (Urias-Orona y col., 2010), con los polisacáridos de AG, compuesto en gran parte por acetyl glucomanos vinculados en β (1-4) (Hamman, 2008). Sin embargo, se debe tener en cuenta de que las asociaciones PC/PC y AG/AG son posibles en las proporciones analizadas, pero la posibilidad de las interacciones PC/PC o AG/AG es alta basados en la relación de polisacáridos contenidos en las matrices usadas.

En este sentido, la disminución del enlace total del hidrógeno en la proporción 50/50 sugiere que las cadenas de la interacción de PC/AG disminuyeron también, en relación con la gran cantidad de AG. Estos resultados fueron apoyados por la modificación de los picos de

absorción C=O y -COO- localizados en 1746 cm^{-1} y 1645 cm^{-1} , respectivamente. Los cambios en la forma y la intensidad de la absorción de estas bandas y la presencia de pequeños hombros en estos 2 picos de absorción corresponden a los grupos C=O (1726 cm^{-1}) y -COO- (1624 cm^{-1}) que resultaron del AG añadido.

La asociación intermolecular de las cadenas PC-AG puede asociarse al pico C=O levemente desplazado de 1746 a 1740 cm^{-1} y al hombro C=O desplazado de 1726 a 1720 cm^{-1} . Además, se puede obtener más información intermolecular en función de la banda de vibración de estiramiento -COO- del espectro PC. Esta banda está compuesta por un pico localizado a 1646 cm^{-1} y un hombro ancho y pequeño centrado en 1612 cm^{-1} . Cuando se agregó AG, la intensidad de absorción de este último hombro se volvió más fuerte que el pico de 1646 cm^{-1} y se puede observar un pequeño hombro a 1624 cm^{-1} relacionado con la interacción PC-AG.

Caracterización de la Microestructura (SEM)

Las imágenes SEM de membranas PC/AG se muestran en la Figura 11. Las membranas control y las proporciones 50/50 mostraron características de superficie similares sin separación de fases o grietas perceptibles. Además, se observaron estructuras regulares y homogéneas, densas y no porosas. En la superficie aparecieron estructuras de color blanco, que pueden ser azúcares u otros compuestos de bajo peso molecular que probablemente fueron expulsados durante el proceso de secado de las membranas. Las membranas 90/10, 80/20 y 70/30 mostraron irregularidades sobre y dentro de la membrana. En la Figura 11: f, i y l (observada a 2000 X), al principio se observaron estructuras amorfas de diferentes tamaños en la superficie (proporción de 90/10), pero luego se definió más la forma de estas, cuyas dimensiones fueron ≈ 3 a $7.5\text{ }\mu\text{m}$ (proporción 80/20). Finalmente, las estructuras eran de mayor tamaño ($\approx 15\text{ }\mu\text{m}$) con forma de ocho (Figura 11: l, membranas 70/30, observada a 2000X). Estas formas fueron menos notables en 60/40 y luego desaparecieron en las membranas 50/50.

Estos cambios en la superficie se pueden atribuir a la asociación intermolecular de los polisacáridos de las cadenas PC-AG sugerida por el análisis FTIR. Por lo general, se han reportado formas irregulares en la superficie de las membranas de PC relacionadas con las interacciones intermoleculares de la estructura de la columna de este polisacárido (Rezvanian y col., 2017).

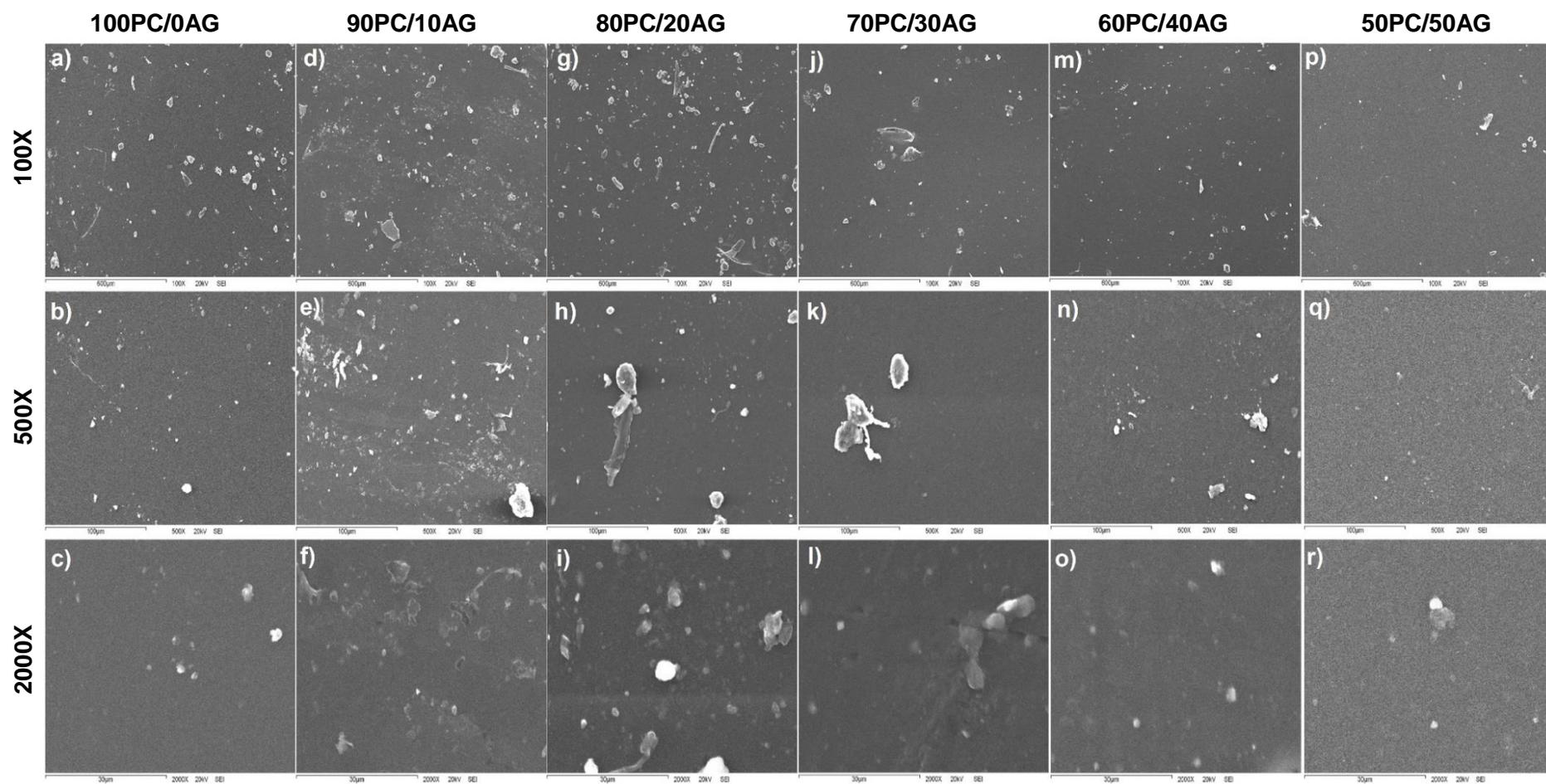


Figura 11. Microscopía de membranas de PC/AG, donde 100/0 (a,b y c), 90/10 (d,e y f), 80/20 (g,h e i), 70/30 (j,k y l), 60/40 (m,n y o) y 50/50 (p, q y r).

CONCLUSIÓN

La adición de AG en las proporciones PC aumentó la tonalidad amarillo claro en todas las membranas que mantuvieron su transparencia y reducen el paso de la luz UV a 200 nm. Todas las membranas fueron 100% solubles en agua y se observó que el aumento de AG en la proporción de PC no indujo cambios significativos de PVA (excepto en la membrana 80/20), aunque la mayor concentración de AG fue acompañada por una mejor resistencia, mejor extensibilidad y plasticidad. El análisis FTIR basado en el área total estimada de 3284 cm^{-1} sugirió una reorganización de las macromoléculas de los polisacáridos debido a la mayor formación de enlaces de hidrógeno entre las cadenas PC y AG. Además, algunos cambios observados en la superficie de la membrana (90/10, 80/20 y 70/30, analizadas a 2000 X) fueron revelados por el análisis microestructural. Por lo anteriormente descrito, este estudio sugirió que las membranas PC-AG producidas tienen potencial como biomaterial que pudiera emplearse para aplicaciones prácticas en la salud humana. Por eso es importante continuar con su estudio.

RECOMENDACIÓN

1. Evaluar el potencial biológico en cultivos de distintos linajes celulares.
2. Evaluar el efecto de las membranas sobre células humanas, por ejemplo, sobre células de la epidermis y comprobar su efecto en la regeneración del tejido.
3. Realizar combinaciones con otras matrices que pudieran mejorar sus propiedades y aumentar su potencial.
4. Probar la microencapsulación de compuestos en esta combinación de matrices.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahlawat, K.S., Khatkar, B.S., 2011. Processing, food applications and safety of aloe vera products: a review. *J. Food Sci. Technol.* 48, 525–533. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0229-z>
- Almonacid Moscoso, A., 2012. Efecto antiinflamatorio y cicatrizante del extracto liofilizado de Aloe Vera (Aloe Vera (L) burm. f.) presentado en forma de gel farmacéutico. Univ. Nac. Mayor San Marcos.
- Álvarez, L.J., Gálvez, M.Y.L., Vega, A.M., 2012. Aloe vera (Sábila): cultivo y utilización. Editorial Paraninfo.
- Andrade, J.R., Raphael, E., Pawlicka, A., 2009. Plasticized pectin-based gel electrolytes. *Electrochimica Acta* 54, 6479–6483. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2009.05.098>
- Atherton, P., 1998. First aid plant. *Chem. Br.* 34, 33–36.
- Auriemma, G., Mencherini, T., Russo, P., Stigliani, M., Aquino, R.P., Del Gaudio, P., 2013. Prilling for the development of multi-particulate colon drug delivery systems: Pectin vs. pectin–alginate beads. *Carbohydr. Polym.* 92, 367–373. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.09.056>
- Brugnerotto, J., Lizardi, J., Goycoolea, F., Argüelles-Monal, W., Desbrières, J., Rinaudo, M., 2001. An infrared investigation in relation with chitin and chitosan characterization. *Polymer* 42, 3569–3580. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(00\)00713-8](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(00)00713-8)
- Carneiro-da-Cunha, M.G., Cerqueira, M.A., Souza, B.W.S., Souza, M.P., Teixeira, J.A., Vicente, A.A., 2009. Physical properties of edible coatings and films made with a polysaccharide from *Anacardium occidentale* L. *J. Food Eng.* 95, 379–385. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.05.020>
- Casariogo, A., Souza, B.W.S., Cerqueira, M.A., Teixeira, J.A., Cruz, L., Díaz, R., Vicente, A.A., 2009. Chitosan/clay films' properties as affected by biopolymer and clay micro/nanoparticles' concentrations. *Food Hydrocoll.* 23, 1895–1902. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.02.007>
- Castillo, H.S.V., Acosta, H.A., Velasco, R.J., 2007. Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables. *Temas Agrar.* 12, 1.
- Castro, R., 2004. Determinación de los sitios óptimos para establecimiento de Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) en las comunidades agrícolas de la IV región con fines reproductivos y de recuperación de suelos. *Proy. CORFO* 10.
- Chen, C.-P., Wang, B.-J., Weng, Y.-M., 2010. Physiochemical and antimicrobial properties of edible aloe/gelatin composite films. *Int. J. Food Sci. Technol.* 45, 1050–1055. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02235.x>
- Choi, S., Chung, M.-H., 2003. A review on the relationship between aloe vera components and their biologic effects. *Semin. Integr. Med.* 1, 53–62. [https://doi.org/10.1016/S1543-1150\(03\)00005-X](https://doi.org/10.1016/S1543-1150(03)00005-X)
- Cunha, A.G., Gandini, A., 2010. Turning polysaccharides into hydrophobic materials: a critical review. Part 2. Hemicelluloses, chitin/chitosan, starch, pectin and alginates. *Cellulose* 17, 1045–1065. <https://doi.org/10.1007/s10570-010-9435-5>
- Das, S., Ng, K.-Y., Ho, P.C., 2010. Formulation and Optimization of Zinc-Pectinate Beads for the Controlled Delivery of Resveratrol. *AAPS PharmSciTech* 11, 729–742. <https://doi.org/10.1208/s12249-010-9435-7>
- Dey, A., Bera, R., Chakrabarty, D., 2015. Influence of Aloe vera on the properties of N-vinylpyrrolidone-Acrylamide copolymer hydrogel. *Mater. Chem. Phys.* 168, 168–179. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2015.11.017>
- Dhalleine, C., Assifaoui, A., Moulari, B., Pellequer, Y., Cayot, P., Lamprecht, A., Chambin, O., 2011. Zinc-pectinate beads as an in vivo self-assembling system for pulsatile drug delivery. *Int. J. Pharm.* 414, 28–34. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2011.04.059>

- Espitia, P.J.P., Du, W.-X., Avena-Bustillos, R. de J., Soares, N. de F.F., McHugh, T.H., 2014. Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties - A review. *Food Hydrocoll.* 35, 287–296. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.06.005>
- Farris, S., Schaich, K.M., Liu, L., Piergiovanni, L., Yam, K.L., 2009. Development of polyion-complex hydrogels as an alternative approach for the production of bio-based polymers for food packaging applications: a review. *Trends Food Sci. Technol.* 20, 316–332. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.04.003>
- Felton, L.A., 2007. Characterization of coating systems. *AAPS PharmSciTech* 8, 258–266. <https://doi.org/10.1208/pt0804112>
- Ferraro, G.M., 2009. Revisión de la aloe vera (*Barbadensis* Miller) en la dermatología actual. *Rev. Argent. Dermatol.* 90, 00–00.
- Fraeye, I., Duvetter, T., Doungra, E., Van Loey, A., Hendrickx, M., 2010. Fine-tuning the properties of pectin–calcium gels by control of pectin fine structure, gel composition and environmental conditions. *Trends Food Sci. Technol.* 21, 219–228. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.02.001>
- Gandini, A., 2008. Polymers from Renewable Resources: A Challenge for the Future of Macromolecular Materials. *Macromolecules* 41, 9491–9504. <https://doi.org/10.1021/ma801735u>
- Gnanasambandam, R., Proctor, A., 2000. Determination of pectin degree of esterification by diffuse reflectance Fourier transform infrared spectroscopy. *Food Chem.* 68, 327–332. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00191-0](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00191-0)
- Guillard, V., Broyart, B., Bonazzi, C., Guilbert, S., Gontard, N., 2003. Preventing Moisture Transfer in a Composite Food Using Edible Films: Experimental and Mathematical Study. *J. Food Sci.* 68, 2267–2277. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb05758.x>
- Gupta, P., Vermani, K., Garg, S., 2002. Hydrogels: from controlled release to pH-responsive drug delivery. *Drug Discov. Today* 7, 569–579. [https://doi.org/10.1016/S1359-6446\(02\)02255-9](https://doi.org/10.1016/S1359-6446(02)02255-9)
- Gutiérrez, T.J., Álvarez, K., 2016. Physico-chemical properties and in vitro digestibility of edible films made from plantain flour with added Aloe vera gel. *J. Funct. Foods* 26, 750–762. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.08.054>
- Gutiérrez, T.J., González, G., 2017. Effect of Cross-Linking with Aloe vera Gel on Surface and Physicochemical Properties of Edible Films Made from Plantain Flour. *Food Biophys.* 12, 11–22. <https://doi.org/10.1007/s11483-016-9458-z>
- Hajian, M., Mahmoodi, M., Imani, R., 2017. In Vitro Assessment of Poly (Vinyl Alcohol) Film Incorporating Aloe Vera for Potential Application as a Wound Dressing. *J. Macromol. Sci. Part B* 56, 435–450. <https://doi.org/10.1080/00222348.2017.1330183>
- Hamman, J., 2008. Composition and Applications of Aloe vera Leaf Gel. *Molecules* 13, 1599–1616. <https://doi.org/10.3390/molecules13081599>
- Han, J.H., Floros, J.D., 1997. Casting Antimicrobial Packaging Films and Measuring Their Physical Properties and Antimicrobial Activity. *J. Plast. Film Sheeting* 13, 287–298. <https://doi.org/10.1177/875608799701300405>
- [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 enero, 2015. Retomado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/74.pdf>.
- Kabiri, K., Omidian, H., Hashemi, S.A., Zohuriaan-Mehr, M.J., 2003. Synthesis of fast-swelling superabsorbent hydrogels: effect of crosslinker type and concentration on porosity and absorption rate. *Eur. Polym. J.* 39, 1341–1348. [https://doi.org/10.1016/S0014-3057\(02\)00391-9](https://doi.org/10.1016/S0014-3057(02)00391-9)
- Kashyap, N., Kumar, N., Kumar, M.N.V.R., 2005. Hydrogels for Pharmaceutical and Biomedical Applications. *Crit. Rev. Ther. Drug Carr. Syst.* 22. <https://doi.org/10.1615/CritRevTherDrugCarrierSyst.v22.i2.10>

- Khoshgozaran-Abras, S., Azizi, M.H., Hamidy, Z., Bagheripoor-Fallah, N., 2012. Mechanical, physicochemical and color properties of chitosan based-films as a function of Aloe vera gel incorporation. *Carbohydr. Polym.* 87, 2058–2062. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.10.020>
- Kiran, P., Rao, P.S., 2014. Rheological and structural characterization of prepared aqueous Aloe vera dispersions. *Food Res. Int.* 62, 1029–1037. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.033>
- Kiran, P., Swami Hulle, N.R., Rao, P.S., 2017. Viscoelastic behavior of reconstituted Aloe vera hydrogels as a function of concentration and temperature. *Int. J. Food Prop.* 20, 475–490. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1168436>
- Kumar, M., Mishra, R.K., Banthia, A.K., 2010. Development of pectin based hydrogel membranes for biomedical applications. *Int. J. Plast. Technol.* 14, 213. <https://doi.org/10.1007/s12588-011-0019-5>
- Li, X., Liu, W., Ye, G., Zhang, B., Zhu, D., Yao, K., Liu, Z., Sheng, X., 2005. Thermosensitive N-isopropylacrylamide–N-propylacrylamide-vinyl pyrrolidone terpolymers: Synthesis, characterization and preliminary application as embolic agents. *Biomaterials* 26, 7002–7011. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2005.05.094>
- Li, Y., Zhao, Q., Huang, Q., 2014. Understanding complex coacervation in serum albumin and pectin mixtures using a combination of the Boltzmann equation and Monte Carlo simulation. *Carbohydr. Polym.* 101, 544–553. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.09.056>
- Liu, L., Fishman, M.L., Hicks, K.B., 2006. Pectin in controlled drug delivery – a review. *Cellulose* 14, 15–24. <https://doi.org/10.1007/s10570-006-9095-7>
- Liu, Liu, C.-K., Fishman, M.L., Hicks, K.B., 2007. Composite Films from Pectin and Fish Skin Gelatin or Soybean Flour Protein. *J. Agric. Food Chem.* 55, 2349–2355. <https://doi.org/10.1021/jf062612u>
- López-Mata, M.A., García-González, G., Valbuena-Gregorio, E., Ruiz-Cruz, S., Zamudio-Flores, P.B., Burruel-Ibarra, S.E., Morales-Figueroa, G.G., Quihui-Cota, L., 2016. Development and characteristics of biodegradable Aloe-gel/egg white films. *J. Appl. Polym. Sci.* 133. <https://doi.org/10.1002/app.44067>
- Lupton, J.R., 2000. Is fiber protective against colon cancer? Where the research is leading us. *Nutr. Burbank Los Angel. Cty. Calif* 16, 558–561.
- Martínez, M.J., Betancourt Badell, J., Alonso González, N., 1996. Ausencia de actividad antimicrobiana de un extracto acuoso liofilizado de Aloe vera (Sábila). *Rev. Cuba. Plantas Med.* 1, 18–20.
- Minjares-Fuentes, R., Femenia, A., Comas-Serra, F., Rosselló, C., Rodríguez-González, V.M., González-Laredo, R.F., Gallegos-Infante, J.A., Medina-Torres, L., 2016. Effect of different drying procedures on physicochemical properties and flow behavior of Aloe vera (Aloe barbadensis Miller) gel. *LWT - Food Sci. Technol.* 74, 378–386. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.060>
- Miranda, M., Maureira, H., Rodríguez, K., Vega-Gálvez, A., 2009. Influence of temperature on the drying kinetics, physicochemical properties, and antioxidant capacity of Aloe Vera (Aloe Barbadensis Miller) gel. *J. Food Eng.* 91, 297–304. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.09.007>
- Mishra, R.K., Datt, M., Banthia, A.K., 2008. Synthesis and Characterization of Pectin/PVP Hydrogel Membranes for Drug Delivery System. *AAPS PharmSciTech* 9, 395–403. <https://doi.org/10.1208/s12249-008-9048-6>
- Nature photos and pictures. 2008. Aloe vera. [Figura 1]. Recuperado de http://www.naturephoto-cz.com/aloe-vera-photo_lat-10115.html

- Ng, V.W.L., Chan, J.M.W., Sardon, H., Ono, R.J., García, J.M., Yang, Y.Y., Hedrick, J.L., 2014. Antimicrobial hydrogels: A new weapon in the arsenal against multidrug-resistant infections. *Adv. Drug Deliv. Rev.* 78, 46–62. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2014.10.028>
- Park, K.R., Nho, Y.C., 2003. Synthesis of PVA/PVP hydrogels having two-layer by radiation and their physical properties. *Radiat. Phys. Chem.* 67, 361–365. [https://doi.org/10.1016/S0969-806X\(03\)00067-7](https://doi.org/10.1016/S0969-806X(03)00067-7)
- Pasini Cabello, S.D., Takara, E.A., Marchese, J., Ochoa, N.A., 2015. Influence of plasticizers in pectin films: Microstructural changes. *Mater. Chem. Phys.* 162, 491–497. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2015.06.019>
- Pereira, R., Mendes, A., Bártolo, P., 2013. Alginate/Aloe Vera Hydrogel Films for Biomedical Applications. *Procedia CIRP* 5, 210–215. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.01.042>
- Rezvanian, M., Ahmad, N., Mohd Amin, M.C.I., Ng, S.-F., 2017. Optimization, characterization, and in vitro assessment of alginate-pectin ionic cross-linked hydrogel film for wound dressing applications. *Int. J. Biol. Macromol.* 97, 131–140. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.12.079>
- Saibuatong, O., Phisalaphong, M., 2010. Novo aloe vera–bacterial cellulose composite film from biosynthesis. *Carbohydr. Polym.* 79, 455–460. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.08.039>
- Saravanan, M., Rao, K.P., 2010. Pectin–gelatin and alginate–gelatin complex coacervation for controlled drug delivery: Influence of anionic polysaccharides and drugs being encapsulated on physicochemical properties of microcapsules. *Carbohydr. Polym.* 80, 808–816. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.12.036>
- Serna, M.F.V., 2012. Identificación y cuantificación de antraquinonas y cromonas en plantas de Aloe vera cultivadas en municipios de Risaralda por cromatografía líquida de alta eficiencia (PhD Thesis). Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Química Industrial.
- Šešlija, S., Nešić, A., Ružić, J., Kalagasidis Krušić, M., Veličković, S., Avolio, R., Santagata, G., Malinconico, M., 2018. Edible blend films of pectin and poly(ethylene glycol): Preparation and physico-chemical evaluation. *Food Hydrocoll.* 77, 494–501. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.10.027>
- Sharmin, N., Khan, R.A., Salmieri, S., Dussault, D., Lacroix, M., 2012. Fabrication and Characterization of Biodegradable Composite Films Made of Using Poly(caprolactone) Reinforced with Chitosan. *J. Polym. Environ.* 20, 698–705. <https://doi.org/10.1007/s10924-012-0431-8>
- Sila, D.N., Van Buggenhout, S., Duvetter, T., Fraeye, I., De Roeck, A., Van Loey, A., Hendrickx, M., 2009. Pectins in Processed Fruits and Vegetables: Part II-Structure-Function Relationships. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 8, 86–104. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00071.x>
- Silva, S.S., Popa, E.G., Gomes, M.E., Cerqueira, M., Marques, A.P., Caridade, S.G., Teixeira, P., Sousa, C., Mano, J.F., Reis, R.L., 2013. An investigation of the potential application of chitosan/aloe-based membranes for regenerative medicine. *Acta Biomater.* 9, 6790–6797. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2013.02.027>
- Sriamornsak, P., 2003. Chemistry of pectin and its pharmaceutical uses: a review. *Silpakorn Univ. Int. J.* 3, 206–228.
- Srinivasa, P.C., Ramesh, M.N., Tharanathan, R.N., 2007. Effect of plasticizers and fatty acids on mechanical and permeability characteristics of chitosan films. *Food Hydrocoll.* 21, 1113–1122. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.08.005>
- Taqi, A., Mutihac, L., Stamatini, I., 2014. Physical and Barrier Properties of Apple Pectin/Cassava Starch Composite Films Incorporating *L. aureus nobilis* L. Oil and Oleic Acid: Edible Films. *J. Food Process. Preserv.* 38, 1982–1993. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12174>

- Urias-Orona, V., Rascón-Chu, A., Lizardi-Mendoza, J., Carvajal-Millán, E., Gardea, A.A., Ramírez-Wong, B., 2010. A Novel Pectin Material: Extraction, Characterization and Gelling Properties. *Int. J. Mol. Sci.* 11, 3686–3695. <https://doi.org/10.3390/ijms11103686>
- Valencia-Gómez, L.E., Martel-Estrada, S.A., Vargas-Requena, C.L., Rodríguez-González, C.A., Olivas-Armendariz, I., Valencia-Gómez, L.E., Martel-Estrada, S.A., Vargas-Requena, C.L., Rodríguez-González, C.A., Olivas-Armendariz, I., 2016. Apósitos de polímeros naturales para regeneración de piel. *Rev. Mex. Ing. Bioméd.* 37, 235–249. <https://doi.org/10.17488/rmib.37.3.4>
- Vega G, A., Ampuero C, N., Díaz N, L., Lemus M, R., 2005. EL ALOE VERA (ALOE BARBADENSIS MILLER) COMO COMPONENTE DE ALIMENTOS FUNCIONALES. *Rev. Chil. Nutr.* 32. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182005000300005>
- Videcoq, P., Garnier, C., Robert, P., Bonnin, E., 2011. Influence of calcium on pectin methylesterase behaviour in the presence of medium methylated pectins. *Carbohydr. Polym.* 86, 1657–1664. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.06.081>
- Villegas, G., R, V., Ojeda, Y., G, A., Lezama, G., G, E., Pumachagua Huertas, R., García, M., J, H., 2011. Estudio de la cinética de biosorción de iones plomo en pectina reticulada proveniente de cáscaras de cítricos. *Rev. Soc. Quím. Perú* 77, 173–181.
- Wang, L., Khor, E., Wee, A., Lim, L.Y., 2002. Chitosan-alginate PEC membrane as a wound dressing: Assessment of incisional wound healing. *J. Biomed. Mater. Res.* 63, 610–618. <https://doi.org/10.1002/jbm.10382>
- White, G.W., Katona, T., Zodda, J.P., 1999. The use of high-performance size exclusion chromatography (HPSEC) as a molecular weight screening technique for polygalacturonic acid for use in pharmaceutical applications. *J. Pharm. Biomed. Anal.* 20, 905–912. [https://doi.org/10.1016/S0731-7085\(99\)00083-7](https://doi.org/10.1016/S0731-7085(99)00083-7)
- Wong, T.W., Colombo, G., Sonvico, F., 2011. Pectin Matrix as Oral Drug Delivery Vehicle for Colon Cancer Treatment. *AAPS PharmSciTech* 12, 201–214. <https://doi.org/10.1208/s12249-010-9564-z>
- Yamaguchi, I., Mega, N., Sanada, H., 1993. Components of the Gel of *Aloe vera* (L.) Bunn. f. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 57, 1350–1352. <https://doi.org/10.1271/bbb.57.1350>
- Zapata, P.J., Navarro, D., Guillén, F., Castillo, S., Martínez-Romero, D., Valero, D., Serrano, M., 2013. Characterisation of gels from different *Aloe* spp. as antifungal treatment: Potential crops for industrial applications. *Ind. Crops Prod.* 42, 223–230. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.06.002>

ANEXOS

Anexo 1. Abreviaturas y Siglas

%. Porcentaje

% m. porcentaje masa.

°C. Grado Celsius o Centígrado.

>. Mayor a.

<. Menor que.

100/0. Membrana control 100% de PC.

50/50. Membrana de proporción 50% PC y 50% AG.

60/40. Membrana de proporción 60% PC y 30% AG.

70/30. Membrana de proporción 70% PC y 30% AG.

80/20. Membrana de proporción 80% PC y 20% AG.

90/10. Membrana de proporción 90% PC y 10% AG.

a*. Valores rojo – verde en el modelo CIELAB.

AG. *Aloe-gel* o *Aloe vera*.

ASTM. Sociedad Americana para Ensayos de Materiales. (American Society for Testing Materials).

ATCC. Colección de Géneros de Cultivos Americanos (American Type Culture Collection).

b*. Valores amarillo – azul en el modelo CIELAB.

CIAD. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo.

CIELAB. Comisión Internacional en Iluminación $L^*a^*b^*$ (Commission internationale de l'éclairage).

CIIBAA. Centro de Investigación e Innovación Biotecnológica, Agropecuaria y Ambiental.

cm. Centímetro.

Ec. Ecuación.

EC. Éster Carbonilo

EDS. (Energy disperse X-ray).

FTIR. Espectrometría infrarroja con transformada de Fourier.

g. Grosor.

GE. Grado de esterificación.

h. Hora.

HR. Humedad relativa.

INE. Instituto Nacional de Ecología.

kPa. Kilo Pascal.

kV. kilovoltio

L*. Luminosidad del color en el modelo CIELAB.

ME. Módulo de elasticidad.

M_f. Masa final.

M_i. Masa inicial.

m/m. Proporción masa/masa.

m/v. Proporción masa volumen

nm. Nanómetro.

MPa. Mega Pascal.

PA1. Presión parcial interna.

PA2. Presión parcial externa.

PC. Pectina Cítrica.

PE. Porcentaje de elongación.

pH. Potencial de hidrógeno.

p/v. Proporción peso/volumen.

PVA. Permeabilidad al vapor de agua.

RT. Resistencia a la tracción.

RTVA. Razón de transmisión del vapor de agua.

S.A. de C.V. Sociedad Anónima de Capital Variable.

SEM. Microscopio electrónico de barrido (scanning electron microscope).

UV. Ultravioleta.

v/v. Proporción volumen/volumen.

⁶⁰Co. isótopo radiactivo sintético del cobalto.