

# UNIVERSIDAD DE SONORA

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

## CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE MEMBRANAS ELABORADAS A BASE DE ALOE-GEL (*Aloe vera*) Y CLARA DE HUEVO



**TESIS PROFESIONAL**

Que para obtener el Título de

**QUÍMICO BIÓLOGO CLÍNICO**

Presenta:

**GERARDO GARCÍA GONZÁLEZ**

# 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 **Gerardo García González** 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  
Director de Tesis

---

Dr. David Octavio Corona Martínez  
Secretario

---

Dr. Saúl Ruiz Cruz  
Vocal

---

Dra. Idania Emedith Quintero Reyes  
Suplente

## AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecer a mi director de tesis, Dr. Marco A. López, no solo por invitarme a ser partícipe de este proyecto, si no por todas las gratificantes enseñanzas que a lo largo de más de dos años he recibido; por ser un maestro que confió en mí en más de una ocasión; por el consejo y la orientación; porque siempre estuvo disponible para apoyarme en mis inquietudes más inesperadas. Por muchas cosas, gracias maestro, y sepa que siempre estaré agradecido con usted por haberme involucrado en esta área de la ciencia que no había tenido oportunidad de conocer.

Agradezco de una manera muy especial a mi equipo de sinodales, Dr. David Corona, Dr. Saúl Ruiz y Dra. Idania Quintero, quienes con sus sugerencias y observaciones me ayudaron a pulir y mejorar este trabajo de tesis. El trabajo y trayectoria de los tres, son el ejemplo de que con constancia y dedicación puedo lograr mi objetivo de ser un futuro investigador.

Quiero agradecer al equipo de técnicos de laboratorio de la Universidad de Sonora Campus Cajeme, M. C. Teresita Ayala, M. C. Marissa Martínez y M. C. Susana Quintero, por las constantes facilidades y la disponibilidad de permitirme desarrollar mi trabajo en el laboratorio, gracias.

Al Instituto Tecnológico de Sonora, al Dr. Saúl Ruiz y su equipo, M. C. Esmeralda Cárdenas y M. C. Saraí Chaparro, a la Dra. Isabel Estrada y al Dr. Luis Cira y su equipo, M. C. Balam Martínez y M. C. Juan Carlos Coronado, por su asesoría y siempre muy atenta disponibilidad de ayuda y enseñanza, gracias.

A la Dra. Silvia Elena Burruel Ibarra del Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales de la Universidad de Sonora, por las facilidades concedidas en las observaciones microestructurales realizadas en este proyecto, 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 apoyo desinteresado para la participación en este proyecto apoyando con la realización de algunas mediciones, gracias.

A mis amigos, a quienes en alguna ocasión participaron en este proyecto, y a los que no lo hicieron e igualmente siguen siendo mis amigos. Con quienes empecé una amistad en la Universidad y con quienes ya tenía una amistad. A mis amigos, por su compañía, por su apoyo, por su ayuda; porque la amistad es una de esas luces que te despiertan para no caer u olvidar tus metas. Porque me siento afortunado de contar con los amigos que tengo, le agradezco a la vida el que me haya puesto en el camino de todos ellos. En lo particular a cada uno de ellos, gracias.

Quiero agradecer de una manera muy especial a mis maestros, aquellas personas que desde mis inicios en esta vida de aprendizaje estuvieron dispuestos a darme un consejo, una idea, el apoyo y la motivación de crecer y salir adelante. Porque es al maestro al que se le debe el estudiante, porque sin su enseñanza, el estudiante no es estudiante. De una manera particular quiero agradecer a mis maestros de la preparatoria en el CBTis #37, porque fue bajo su dirección donde encontré mi vocación y tomé una de las decisiones más importantes de mi vida. A mis maestros en la Universidad de Sonora les doy las gracias, porque ellos me formaron como profesionista, me enseñaron lo que disfruto estudiar, pero sobre todo, me enseñaron a amar estudiar lo que me gusta. Porque a mis maestros les debo mucho de lo que ahora soy, solo me resta decirle a cada uno de ustedes, gracias.

Finalmente, a la Universidad de Sonora, la institución de quien recibí cobijo, quien a través de sus docentes inyectó en mí no solo un nuevo conocimiento día a día, también me enseñó que como ciudadano tengo una responsabilidad social para con los demás, dentro y fuera de ella. A la Universidad le debo el hecho de que entre sus pasillos, aulas y laboratorios conocí a grandes amigos (colegas y futuros colegas) y a excelentes maestros, ahora también amigos. En la Universidad de Sonora estudié, aprendí y me volví un profesionista en las disciplinas que disfruto estudiar; por esto, por todo lo anterior y por todas las memorias que viví en casi cinco años y que siempre conservaré en mi corazón... a la Universidad de Sonora, mi alma máter, muchas gracias.

## DEDICATORIA

A mis abuelos, que siempre creyeron en mí y de quienes recibí el consejo más importante de mi vida.

A mis hermanas, las dos mujercitas que están ahí incondicionalmente. Porque sin su presencia mi vida no sería igual.

A mis padres, el pilar constante en mi vida, los maestros que se han mantenido por más tiempo que nadie, los responsables de que ame esta vida y todo lo que en ella he conocido. Porque a mis padres les debo que hoy este alcanzando una meta más en mi vida, a mis padres les debo quien soy... es a mis padres a quien dedico este logro.

## CONTENIDO

	Página
LISTA DE TABLAS.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
OBJETIVOS.....	10
Objetivo General.....	10
Objetivos Particulares.....	10
RESUMEN.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
ANTECEDENTES.....	15
<i>Aloe vera</i> .....	15
Taxonomía de <i>Aloe vera</i> .....	15
Características de las Hojas del <i>Aloe vera</i> .....	16
Composición Química del Gel de <i>Aloe vera</i> .....	19
Aplicaciones del <i>Aloe vera</i> .....	20
Clara de Huevo.....	21
Composición Bioquímica de la Clara de Huevo.....	23
Ovoalbúmina.....	23
Ovotransferrina.....	24
Lisozima.....	24
Polímeros Biodegradables.....	24
<i>Aloe vera</i> en la Formación de Membranas.....	25
Ovoalbúmina en la Formación de Membranas.....	26
MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
Obtención del Gel de <i>Aloe vera</i> .....	28
Recolección de Clara de Huevo.....	28
Elaboración de Membranas.....	29
Evaluación Física.....	29
Grosor.....	29
Pruebas Mecánicas.....	31
Caracterización de la Microestructura.....	31
Solubilidad (Resistencia al Agua).....	31

Permeabilidad al Vapor de Agua.....	32
Color.....	33
Transparencia.....	33
Transmitancia.....	33
Evaluación Química.....	34
Cuantificación de Proteína en Microplaca por el Método de Bradford...	34
Evaluación Microbiológica.....	35
Capacidad Antibacteriana.....	35
Análisis Estadístico.....	36
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
Evaluación Física.....	37
Pruebas Mecánicas.....	37
Microestructura.....	39
Solubilidad (Resistencia al Agua).....	40
Permeabilidad al Vapor de Agua.....	42
Color.....	43
Transparencia y Transmitancia.....	44
Evaluación Química.....	46
Cuantificación de Proteína.....	46
Evaluación Microbiológica.....	48
Capacidad Antibacteriana.....	48
CONCLUSIONES.....	51
BIBLIOGRAFÍA.....	52
ANEXO.....	61
Anexo 1. Abreviaturas y Siglas.....	61

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla</b>		<b>Página</b>
1.	Clasificación taxonómica del <i>Aloe vera</i> .....	16
2.	Componentes proteicos de la clara de huevo.....	23
3.	Pruebas mecánicas de las membranas de <i>Aloe-gel-CH</i> .....	38
4.	Resultados de medición de color de membranas de <i>Aloe-gel-CH</i> .....	44
5.	Resultados de lectura de porcentaje de transmitancia y valores de transparencia.....	45
6.	Resultados de la cuantificación de proteína.....	47

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Planta de <i>Aloe vera</i> .....	17
2.	Partes de la hoja de <i>Aloe vera</i> .....	18
3.	Principales estados productores de huevo en México en el año 2013...	21
4.	Constituyentes del huevo de gallina.....	22
5.	Metodología de elaboración de membranas de <i>Aloe</i> -gel-CH.....	30
6.	Metodología para la evaluación de la capacidad antibacteriana de membranas <i>Aloe</i> -gel-CH.....	36
7.	Microestructura de las membranas de <i>Aloe</i> -gel-CH.....	39
8.	Porcentaje de solubilidad en membranas de <i>Aloe</i> -gel-CH.....	41
9.	Permeabilidad al vapor de agua en membranas de <i>Aloe</i> -gel-CH.....	43
10.	Transparencia de membranas según la proporción de <i>Aloe</i> -gel-CH.....	45
11.	Inhibición antibacteriana por barrera contra cepas de <i>E. coli</i> y <i>S. aureus</i> (aislados clínicos y cepas de referencia ATCC).....	50

## OBJETIVOS

### Objetivo General

Caracterizar físicoquímica y microbiológicamente membranas elaboradas a base de la combinación de matrices de *Aloe-gel* y clara de huevo (CH).

### Objetivos Particulares

- Determinar las propiedades físicas de membranas elaboradas a base de *Aloe-gel* y CH en cuanto a su grosor y su apariencia microestructural.
- Medir la tensión, elongación y elasticidad de las membranas de *Aloe-gel* y CH mediante pruebas mecánicas.
- Determinar las propiedades de solubilidad (resistencia al agua) y permeabilidad al vapor de agua (PVA) en membranas elaboradas con *Aloe-gel* y CH.
- Determinar las propiedades ópticas de color, transparencia y transmitancia de las membranas de *Aloe-gel* y CH.
- Cuantificar la concentración de proteína soluble de las membranas de *Aloe-gel* y CH mediante una maceración utilizando el método de Bradford.
- Evaluar la actividad antibacterial contra *E. coli* y *S. aureus* como cepas de referencia y cepas de aislado clínico con las membranas a base de *Aloe-gel* y CH.

## RESUMEN

Las biomembranas son estructuras poliméricas cuyas aplicaciones han sido utilizadas en la medicina, la industria alimentaria y farmacéutica. Actualmente se ha incrementado el interés por la búsqueda de nuevas matrices naturales para la formación de membranas, con propiedades biodegradables y compatibles con los seres vivos. Con base en sus características independientes, una nueva matriz podría ser la clara de huevo en combinación con el gel de *Aloe vera*. Es justamente esta combinación de matrices la que se utilizó para elaborar membranas en proporciones 50AV:50CH, 40AV:60CH, 30AV:70 (% m/m) y un control de CH. Las membranas fueron caracterizadas con base en sus propiedades fisicoquímica (mecánicas, solubilidad, PVA, ópticas y cuantificación de proteína soluble), microestructurales y la evaluación de la capacidad antibacteriana contra *E. coli* y *S. aureus*. Las membranas fueron transparentes y de coloración amarilla, con capacidad de absorber la luz UV, con una porosidad no apreciable a una escala micrométrica y con cúmulos de proteína sin disolver. La membrana 30AV:70CH fue la que presentó la mayor plasticidad y la 40AV:60CH la mayor solubilidad (8.4 % respecto al control). No se mostraron cambios significativos en la PVA de las membranas 30AV:70CH y 40AV:60CH, pero si en la de 50AV:50CH ( $p < 0.05$ ) con respecto al control. No hubo efecto antibacterial contra *E. coli* y *S. aureus* a las 24 horas, y observamos en general una baja concentración de proteína soluble en todas las membranas.

## INTRODUCCIÓN

El *Aloe sp* es un género de plantas actualmente clasificado dentro de la familia de las *Xantoroaceas* con más de 500 especies descritas, de las cuales las dos especies con mayor predominio en México son *Aloe vera* (AV) (Linneo [L]) y *Aloe ferox* (Miller [M]) (INE, 2014). El AV es una planta con pocos requerimientos nutricionales, que crece favorablemente en suelos bien drenados, arcillosos o arenosos, con pH neutro o alcalino. Este tipo de condiciones hace que el suelo de valle del Yaqui sea ideal para el desarrollo de esta planta (SAGARPA, 2009).

La planta del AV ha sido utilizada desde hace miles de años en el hemisferio oriental, y en América desde la llegada de los conquistadores europeos (INE, 2014). La utilidad del AV es amplia debido a la gran variedad de propiedades que posee, como acelerador en la sanación de pequeñas heridas, quemaduras y por su efecto antimicrobiano. Todas estas propiedades han sido atribuidas a su composición química heterogénea, por eso la industria cosmética y farmacéutica han empezado a aprovechar estas propiedades (Silva y col., 2013).

Una nueva manera de aprovechar las propiedades benéficas del AV, diferentes a la aplicación en geles o cremas, es mediante la formación de membranas o películas utilizando el gel de la planta como ingrediente de su formación, en combinación con otras matrices poliméricas. La membrana o película es un producto polimérico cuyas aplicaciones pueden ser muy variadas, por ejemplo, como apósitos en traumatismos dérmicos, recubrimientos alimenticios, transportadores de compuestos bioactivos, entre otras (Silva y col., 2013; López-Mata y col., 2011).

Por otro lado, el huevo de gallina (*Gallus gallus domesticus*) es un producto agropecuario ampliamente aprovechado en México, país considerado como el principal consumidor a nivel mundial, destacando en el orden prioritario de producción los estados de Jalisco (55 %), Puebla (15 %) y Sonora (8 %) (UNA, 2014). El principal uso del huevo ha sido principalmente para el consumo humano, aunque son pocos los estudios que se han enfocado en buscar nuevas alternativas en el uso de sus constituyentes. Los constituyentes del huevo son básicamente la cáscara, yema y clara. Esta última está compuesta en un 90 % agua y el resto de su composición en diversas proteínas (Burley y Vadehra, 1989). A la clara de huevo

(CH) se le han atribuido propiedades de regeneración celular, bactericida (Hansen, 2006; Fang, 2013) y formadora de películas (Herrera, 2011).

Actualmente se ha incrementado la búsqueda de nuevos compuestos naturales con la finalidad de conocer y darle aplicación a sus componentes. Por tal motivo, la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria se ha enfocado en la búsqueda de nuevas matrices poliméricas de origen natural, que tengan las características de ser económicas, no tóxicas, biodegradables y biocompatibles. Algunas de las aplicaciones de las matrices poliméricas en estos ramos han sido como películas y recubrimientos comestibles, apósitos en tratamientos dérmicos, encapsulación y protección de compuestos bioactivos (vitaminas, antibióticos), entre otras aplicaciones. El *Aloe*-gel extraído de la planta AV se le ha puesto especial atención porque posee una gama de propiedades muy diversas, entre las que se encuentran regeneración epitelial, efecto antimicrobiano, hemostático y la capacidad de formar membranas, entre otras. La desventaja de estas membranas formadas por el *Aloe*-gel es la limitada maleabilidad estructural en forma de membranas, por lo que algunos estudios se han enfocado en combinar esta matriz con otras, cuya propiedad de formación ya son conocidas en tanto a la sustentabilidad física. Existen pocos estudios donde se halla utilizado el *Aloe*-gel junto con otras matrices poliméricas en la elaboración de membranas. Una de las probables alternativas sería la CH, cuyas propiedades formadoras de película han sido demostradas en investigaciones previas (Herrera y col., 2011; Yadav y Kandasubramanian, 2013). Además, a la CH se le han atribuido diversas propiedades de carácter antimicrobiano. Considerando así, que una combinación de matrices a base de carbohidratos (*Aloe*-gel) y proteínas (CH) podría generar una membrana con características novedosas.

Las mezclas de matrices de *Aloe*-gel con CH en proporciones 30AV:70CH, 40AV:60CH y 50AV:50CH, son las proporciones adecuadas para la evaluación debido a que mantiene niveles considerables de AV con respecto a la CH necesaria para su formación. Las pruebas consideradas para su caracterización se limitaron al grosor, sus características microestructurales, la solubilidad, la permeabilidad al vapor de agua (PVA), el color, la transparencia, el porcentaje de transmitancia, la cantidad de proteína soluble y la capacidad antibacteriana.

La fusión del AV y de la CH podría traducirse en la formación de una membrana que aporte las características particulares de cada matriz, tanto en la conformación adquirida de la

membrana, como en las propiedades benéficas, por lo cual se busca la caracterización físicoquímica y microbiológica de membranas elaboradas a base de la combinación de estas matrices.

## ANTECEDENTES

### *Aloe vera*

El AV es una planta ancestralmente conocida por sus aplicaciones en la medicina tradicional. Proveniente del noreste de África, la palabra *Aloe* proviene del árabe “*Alloeh*” que significa “sustancia brillante amarga, esto debido a las características del jugo o acíbar del *Aloe sp* que se liberan al hacer un corte en la planta. Es justamente el acíbar al que las antiguas civilizaciones atribuían el poder curativo de la planta, así, desde los antiguos egipcios, árabes, las mismas tribus africanas, e incluso civilizaciones lejanas de estas regiones como los griegos, los romanos y los chinos, consideraron a esta planta como uno de los tesoros de la naturaleza de mayor valor (Garcés, 2004; López, 2004).

Con la llegada de los conquistadores europeos a América fue como el AV se introdujo en varias regiones del continente, siendo aceptada por muchas culturas. Específicamente en México, el AV popularmente conocido como “sábila” es una planta cuyos beneficios son conocidos desde hace mucho tiempo y los cuales, generación tras generación siguen siendo aprovechados. Las especies del género *Aloe sp* que se encuentran con mayor presencia en el país son: *Aloe vera* (L) y *Aloe ferox* (M), pero es la primer especie mencionada la que con mayor frecuencia se utiliza como opción terapéutica tradicionalmente (INE, 2014).

Todos los conocimientos heredados por las civilizaciones de la antigüedad sobre las propiedades de esta planta, es lo que ha llevado a investigadores de todo el mundo a saber más sobre las características de la misma. Así como encontrar la manera de explotar sus beneficios a través de nuevos usos y aplicaciones significativas (Medel y Ortiz, 2006).

### **Taxonomía del *Aloe vera***

Las plantas del género *Aloe sp* pertenecen actualmente a la familia de las *Xantoroaceas* (Tabla 1). Son plantas perennes, xerófitas y suculentas conocidas por almacenar grandes

cantidades de agua en su interior, cualidad por la que son resistentes a climas áridos y secos. El género *Aloe sp* posee una variedad de especies cuyas hojas son grandes y carnosas dispuestas en forma de roseta desde la base, que nacen de un tallo pequeño, el cual puede o no ramificarse, produciendo un nuevo racimo de hojas. El género *Aloe sp* comprende más de 500 especies de las cuales el AV es el mayormente estudiado y explotado (Moreno y col., 2012).

Tabla 1. Clasificación taxonómica del *Aloe 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 var. Vulgaris</i>
	<i>A vera var. Humilis</i>
	<i>A vera var. Mitiformis</i>

Moreno y col., 2012; Vélez y Villa, 2012.

### **Características de las Hojas del *Aloe vera***

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

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



Figura 1. Planta de *Aloe vera*.

Las hojas de sábila se componen de tres elementos, corteza, capa fibrosa y la pulpa (Figura 2). La corteza de las hojas de AV es una firme envoltura de color verde formada de células flexibles con cloroplastos y estomas. Los estomas son los organelos que permiten el intercambio de líquidos y gases con el exterior de la planta. Las células de la corteza son las responsables de la síntesis de compuestos orgánicos necesarios por la misma planta (carbohidratos, lípidos y proteínas). La capa fibrosa es un conjunto de canalículos encargados del transporte de nutrientes en la planta, ubicados en el interior de la pulpa y adyacentes a la

corteza. Los canalículos son clasificados de acuerdo a su función en tres tipos: xilema, floema y tubos pericíclicos. Los xilemas son pequeños canales encargados del transporte de agua y sales, de la raíz a la hoja; por su parte los floemas son pequeñas vainas encargadas de la distribución de sustancias orgánicas como carbohidratos en la hoja; finalmente los tubos pericíclicos son pequeños tubos encargados del almacenamiento y transporte del acíbar (jugo de AV) a lo largo de la hoja (Moreno y col., 2012).

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

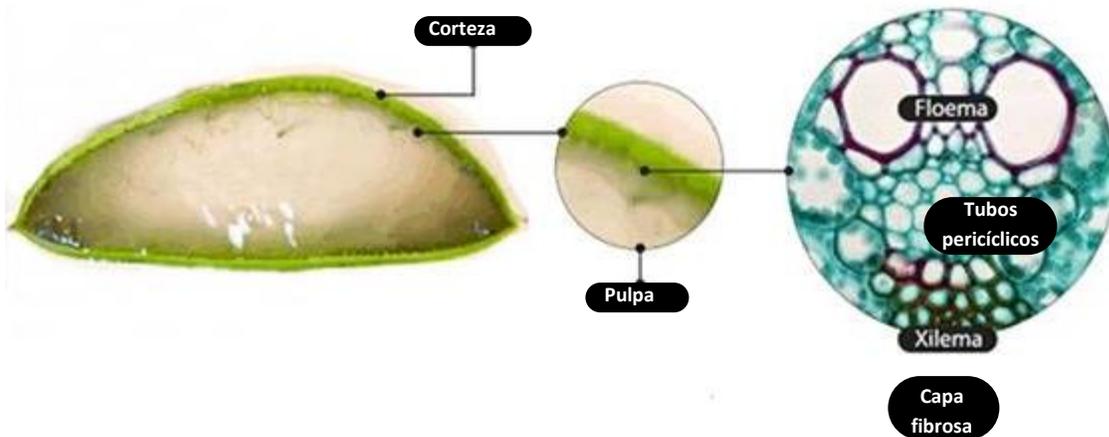


Figura 2. Partes de la hoja de *Aloe vera*.

## Composición Química del Gel de *Aloe vera*

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

Entre los carbohidratos encontrados en el *Aloe-gel* se encuentran monosacáridos, como la glucosa, la galactosa y la manosa, y polisacáridos como el mucilago, celulosa, pectinas, glucomananos (acetilados y no acetilados) y acemananos, entre otros. La diversidad de carbohidratos es un factor importante en las multipropiedades que posee esta especie. Los acemananos son los carbohidratos que más ampliamente han sido estudiado, por sus propiedades estimuladoras de la respuesta inmune, la capacidad de bloqueo de la radiación UV, inhibidor del crecimiento tumoral, entre otras; otro carbohidrato al que se le han atribuido propiedades importantes es la manosa, la cual se ha visto que tienen la capacidad de estimular el proceso de cicatrización y modular la respuesta antiinflamatoria (Choi y Chung, 2003; Vega y col., 2005).

Otros componentes importantes del AV son los compuestos fenólicos, con poder antioxidante, conocidos como antraquinonas y cromonas. Las antraquinonas son compuestos encontrados en algunas plantas siendo base de una cantidad considerable de pigmentos, presentando actividad antibacteriana y antifúngica. Algunas antraquinonas encontradas en el AV son la aloína, la isobarbaloina y la aloemodina, de las cuales la primera es el componente principal del acíbar, y la cual es conocida por sus efectos laxantes y antifúngicos. Por otro lado, las cromonas son compuestos orgánicos conocidos por presentar una amplia gama de efectos biológicos como antibiótico y antiinflamatorio; las principales cromonas aisladas del AV son la aloeresina A y la aloeresina B. El AV contiene en su composición 20 tipos de aminoácidos, de los cuales la arginina es la más abundante, glicoproteínas y algunas enzimas como la catalasa, la amilasa y la oxidasa. (Vega y col., 2005; Vélez y Villa, 2012; Zapata y col., 2012)

La planta AV también es rica en vitaminas y minerales. Entre las vitaminas que aparecen en su composición encontramos el  $\alpha$ -tocoferol (vitamina E), el ácido ascórbico (vitamina C), la tiamina (vitamina B<sub>1</sub>), la riboflavina (vitamina B<sub>2</sub>), la niacina (vitamina B<sub>3</sub>), el ácido fólico (vitamina B<sub>9</sub>) y trazas de cobalamina (vitamina B<sub>12</sub>). Entre los minerales que se han identificado en el AV están el calcio, el fósforo, el potasio, el hierro, el sodio, el magnesio, el manganeso, el cobre, el cromo, el cinc, entre otros (CSHF, 2013; Vélez y Villa, 2012; Vega y col., 2005).

### **Aplicaciones del *Aloe vera***

El AV es una planta con propiedades curativas, que se conocen desde la antigüedad y cuyas propiedades se siguen explotando en la actualidad por sus rápidos efectos. En México y en otras partes del mundo, el AV es ampliamente usado como una alternativa natural en disciplinas como la medicina, la cosmetología y la farmacéutica, e incluso actualmente la industria alimentaria aprovecha las propiedades de la planta para preservar alimentos o purificar sus nutrientes (Choi y Chung, 2003). Lo anterior con el objetivo de elaborar productos ricos en vitaminas, minerales, aminoácidos, entre otros. Estas aplicaciones también se han extendido en el campo de la agronomía, ya que a partir de la planta, se ha iniciado con el aprovechamiento de ciertas características para elaborar insecticidas menos nocivos para la salud (INE, 2014).

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

La cosmetología es la disciplina en la que el AV ha sido muy explotado, debido a las características emolientes, humectantes, hidratantes, astringentes, desinfectantes, de regeneración celular y por su elevado poder penetrante en la piel, por eso, se ha explotado en la producción de una diversidad de productos como jabones, cremas, tonificantes, lociones para la piel, filtros solares y otros (INE, 2014; Almonacid, 2012). Los efectos de esta planta se le han atribuido a la acción de sus nutrientes y a la sinergia entre los mismos componentes (Medel y Ortiz, 2006).

### Clara de Huevo

El huevo, particularmente el de gallina, es un alimento cuyo consumo por el hombre es ancestral. Se estima que la crianza de gallinas para la producción de huevo nació en el sureste de Asia, para luego extenderse al resto de Asia, África, Europa y América. A nivel mundial, China es el principal productor de huevo (Araneda, 2015; IEH, 2009) mientras que a nivel nacional, el principal Estado productor de este producto es Jalisco, seguido de Puebla y Sonora, respectivamente (Figura 3) (UNA, 2014).



Figura 3. Principales estados productores de huevo en México en el año 2013.

La principal aplicación que recibe el huevo de gallina es la de alimentación, lo cual lo reconoce a nivel internacional como uno de los alimentos con aportación proteínica más elevado (Paredes y col., 2014) y de bajo costo en su producción (Souza y Fernández, 2012).

El huevo es considerado un gameto que aporta el miembro femenino de las aves en la reproducción sexual, el cual puede estar o no fecundado. Los componentes del huevo son básicamente la yema (31 %), la CH o albumen (58 %) y la cáscara o cascarón (11 %) (Barroeta, 2014). La CH es una solución viscosa que rodea la yema y se encuentra contenida dentro de las membranas del cascarón. Esta porción del huevo está compuesta por cuatro capas, la albúmina fina externa (16.8 %), la albúmina fina interna (57.3 %), la albúmina gruesa (23.2 %) y las chalazas (2.7 %) (Figura 4). El contenido bioquímico es el mismo en todas las capas, excepto por los niveles de ovomucina, proteína encargada de dar la viscosidad a la CH y lo cual es cuatro veces mayor en la albúmina gruesa que en las albúminas finas (Yamamoto y col., 1997; FESC, 2010).

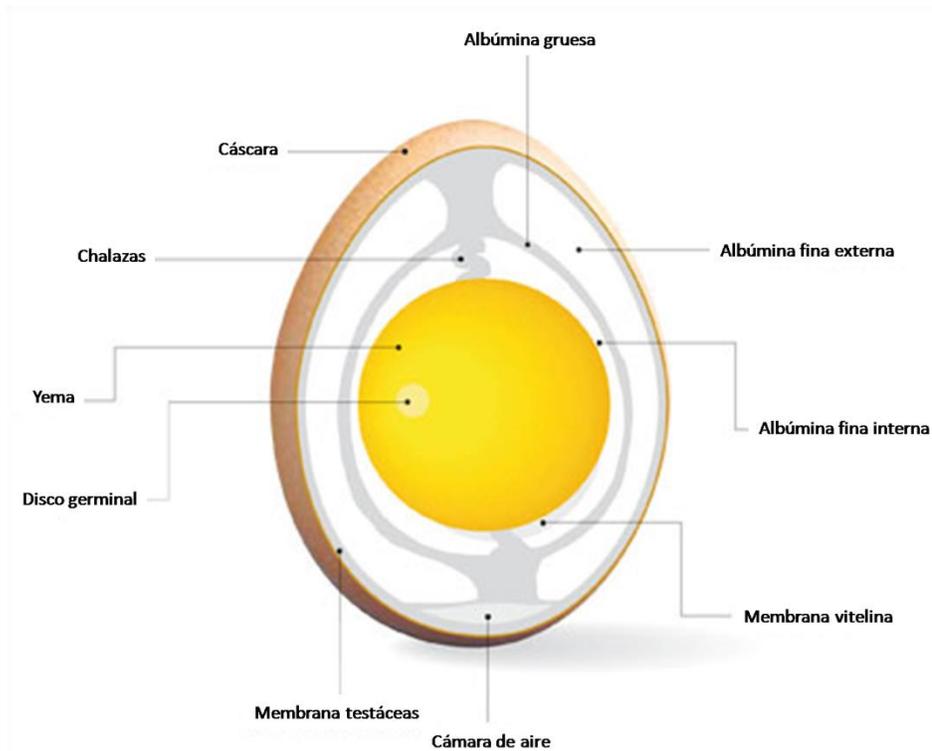


Figura 4. Constituyentes del huevo de gallina (IEH, 2009).

## Composición Bioquímica de la Clara de Huevo

La CH es la parte mayoritaria del huevo, formada principalmente por agua en un 88%, el resto son productos sólidos, de los cuales 10.4 % corresponden a proteínas y el resto a otros componentes más pequeños como minerales y riboflavina (Paredes y col., 2014; Yamamoto y col., 1997). Las principales proteínas de la CH que le brindan importantes funciones biológicas son la ovoalbúmina, la ovotransferrina, la lisozima y la ovomucoide (Yamamoto y col., 1997).

Tabla 2. Componentes proteicos de la clara de huevo.

Tipos de Proteínas	Concentración (%)	Masa molar (kDa)
Ovoalbúmina	54	45
Ovotransferrina o conalbúmina	12	76
Ovomucoide	11	28
Ovomucina	3.5	-
Ovoglobulina G2	4	49
Ovoglobulina G3	4	49
Lisozima	34	14
Ovomacroglobulina	0.5	-
Ovoglicoproteína	1	24
Flavoproteína	0.8	32
Ovoinhibidor	1.5	49
Cystatina	0.005	13
Avidina	0.5	68

Yamamoto y col., 1997

**Ovoalbúmina.** La ovoalbúmina es una proteína que pertenece a la familia de las serpinas y es el principal componente proteico de la CH (Huntington y Stein, 2001). Es una fosfoglicoproteína que se desnaturaliza muy fácil con el calor; es rica en grupos sulfhidrilo, procedentes de cisteína y metionina. Existen tres subunidades de esta proteína, A1, A2 y A3 solamente diferenciadas por la cantidad de fósforo (FESC, 2010).

La ovoalbúmina es una proteína de mucho interés en biotecnología como portador macromolecular, por demostrar características de biodegradación, no ser tóxico, por ser metabolizado *in vivo* produciendo productos inocuos, no inmunogénicos, fáciles de purificar y por su solubilidad en agua (Elzoghby, 2011).

**Ovotransferrina.** Es la segunda proteína más abundante en la CH. Es igualmente rápida en desnaturalizarse al calor; no presenta fósforo en su estructura ni grupos sulfhidrilo, pero es rica en enlaces disulfuro y posee terminaciones con carbohidratos en su estructura. Esta proteína es principalmente conocida por la capacidad de atrapar ciertos metales como el hierro, cobre, cinc y aluminio, lo que le confiere ciertas propiedades antimicrobianas y antioxidantes (FESC, 2010).

**Lisozima.** La lisozima de la CH es una proteína que comprende cerca del 3.4 % de la CH con una masa molar de 14.3 kDa, y compuesta por una cadena de 129 aminoácidos con cuatro enlaces disulfuro, encargados de conferirle una alta estabilidad a la proteína (Carrillo, 2013). Esta proteína se caracteriza por la capacidad enzimática de disolver la pared celular de ciertos microorganismos bacterianos gram positivos (FESC, 2010).

### **Polímeros Biodegradables**

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

Los polímeros naturales son preferidos por los consumidores por su menor toxicidad, bajo costo, su libre disponibilidad y su biodegradabilidad. Sin embargo, los polímeros naturales presentan algunas limitaciones como la tasa de hidratación descontrolada, la contaminación microbiana y la tendencia a la viscosidad durante el almacenamiento (Kulkarni y col., 2010).

Específicamente en el campo de la medicina, los polímeros son sustancias o conjunto de sustancias de origen natural o sintético que sirven para un brindar un beneficio de salud a un organismo como un tratamiento o la sustitución de una función. Los polímeros naturales deben presentar ciertas características para poder ser aplicados en un organismo, por ejemplo, no deben ser mutagénicos, cancerígenos, tóxicos y/o antigénicos. Dentro de los polímeros naturales existen los polímeros de naturaleza proteica como la albúmina y el colágeno y los de naturaleza carbohidrato como el quistosano, quitina y carboxicelulosa (Infante, 2006).

En la industria alimentaria, estos biopolímeros se han utilizado como recubrimientos comestibles o biopelículas. Estos son capas delgadas de material biológico comestible dispuestas sobre un producto alimenticio como recubrimiento, y cuya función es la de proteger los alimentos con la finalidad de prolongar su periodo de vida. Además, estas membranas pueden funcionar como vehículo para el transporte de compuestos bioactivos complementando los beneficios de las películas. Igualmente que los polímeros de aplicación médica, en la industria alimentaria se han venido utilizando matrices de naturaleza proteica, carbohidrato o lipídica, que exigen que no presenten riesgos para la salud del consumidor, además de que pueda ser comestible, económica y biodegradable.

Los polisacáridos son carbohidratos que se han utilizado en la industria alimentaria, porque algunos de ellos son capaces de formar matrices estructurales con buenas propiedades mecánicas y de resistencia al agua. Por otra parte, las proteínas forman películas cuyas propiedades de resistencia contra la humedad son más débiles que las de los polisacáridos, pero al contrario tienen mejores propiedades mecánicas (Salgado, 2015). La combinación de matrices carbohidrato y proteína da como resultado películas con buenas propiedades mecánicas, pero con pobres propiedades de barrera debido a su hidrofilia (Pereda y col., 2014).

### ***Aloe vera* en la Formación de Membranas**

Los trabajos en los que se involucra al AV son muchos y muy variados en cuanto a objetivos; estudios de la composición, determinación de propiedades, y búsqueda del uso óptimo que se le pueda dar, sobre todo para optimizar al máximo las cualidades que la naturaleza ofrece a través de esta planta. De esta manera, y retomando la industria biotecnológica de la elaboración

de membranas y/o películas, se encuentra en la literatura que ya desde hace algunos años varios investigadores se han dado a la tarea de buscar la manera en la que se puedan aprovechar los beneficios que aporta el AV, por ejemplo, Saibuatong y Phisalaphong (2010) diseñaron una membranas a base de *Aloe*-gel y celulosa bacteriana, y al realizar un estudio de espectroscopia de infrarrojo se reveló que la interacción intermolecular se establecía a través de los grupos funcionales amino de los componentes del AV. Este estudio de la interacción, dejó sentado que es posible la formación de membranas a través de la combinación del *Aloe*-gel con otras matrices formadoras de membranas. Por otro lado, Khoshgozaran y colaboradores (2011) elaboraron membranas con polímeros de quitosano (conocido como formador de membrana), al cual se le incorporó con AV en proporciones de masa/masa 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 y 50:50, todas en función del quitosano y a las cuales se les evaluó distintas pruebas físicas (grosor, color, permeabilidad al vapor de agua, solubilidad en agua y propiedades mecánicas), resultando la de mejor cualidad la membrana en proporción 80:20. Esto es evidencia de que el *Aloe*-gel, pueden combinarse con otras matrices y mejorar sus propiedades formadoras de membranas.

Por su parte, Pereira (2013), estableció que la elaboración de membranas de AV con alginato exhibe mejores características de transparencia y flexibilidad, además de un incremento significativo de la hidrofilia, conforme se aumenta la proporción de AV. Mientras tanto, Silva y colaboradores (2013) también demostraron que membranas de AV incorporadas con quitosano pueden inducir cambios importantes en las características físicas y antimicrobianas. Los estudios antes mencionado, fueron encaminados para la posible aplicación biomédica de las membranas. Por otro lado, con fines de aplicar membranas en productos alimenticios, Benítez y colaboradores (2013) elaboraron una membrana a base de *Aloe*-gel, con el objetivo de proteger el fruto del kiwi para reducir el desarrollo microbiano y aumentar su vida de anaquel. También se han probado combinaciones de *Aloe vera* y *Aloe arborescens* para la conservación de duraznos con un incremento significativo en su vida útil (Guillén y col., 2013).

### **Ovoalbúmina en la Formación de Membranas**

La elaboración de membranas a base de albúmina de huevo ha sido utilizada para diversos fines en la industria cosmética y alimentaria. Herrera y colaboradores (2011) se enfocaron en

elaborar membranas de quitosano y ovoalbúmina adicionada con carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) Por su parte, Yadav y Kandasubramanian (2013) demostraron que las membranas de albúmina de huevo con alcohol polivinílico adicionadas con extracto de las plantas *Azadirachta indica* y *Curcuma longa*, presentan actividad antibacteriana. También se ha demostrado que membranas preparadas con zeína e incorporadas con lisozima de huevo de gallina pueden funcionar como antioxidante y antimicrobiano (Güçbilmez y col., 2006).

Las combinaciones de matrices anteriores han demostrado tener características benéficas, en diferentes contextos, pero sobre todo características que permiten la formación de membranas. Por su parte Jerez y colaboradores (2007) demostraron que la mezcla de albúmina de huevo con glicerol tiene mejores cualidades en cuanto a las propiedades viscoelásticas y reológicas, en comparación con otras proteínas como el gluten. Por otro lado, Elzoghby y colaboradores. (2012) observaron que nanopartículas de albúmina pueden servir como transportador y administrador de fármacos. Finalmente, Nafchi y colaboradores (2013) establecen que las propiedades mecánicas de los geles de proteína de huevo varían en cuanto a la presencia de azúcares reductores y/o el ácido ascórbico, que suelen ser responsables de la rigidez, posiblemente debido a la formación de enlaces por reacciones de Maillard.

Todas las aplicaciones que se han mostrado del AV en cuanto a sanación de heridas, efectos antihemorrágicos, antiinflamatorios, protector de la piel y antimicrobiano (Silva y col., 2013), además de los beneficios de la CH, tanto nutricionales, como factor importante en la regeneración celular y la actividad antibacteriana de sus enzimas (Hansen y Mecham, 2006; Fang y Huang, 2013), son algunas de las propiedades que podrían aprovecharse para la formación de nuevas membranas que puedan servir como nuevos sistemas de protección de tejidos celulares sanos y dañados, además de posibles modelos de transporte de sustancias bioactivas, (antibacterianos, antioxidante, antifúngicos e incluso nutraceuticos) que sirvan como protectores de un compuesto hasta la liberación en un punto deseado.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Obtención del Gel de *Aloe vera***

El AV que se utilizó para este estudio, procedió de una planta silvestre en un domicilio particular, propio de la región, con más de dos años de haber sido plantada. Para la obtención del *Aloe*-gel, las hojas de la planta fueron cortadas desde la base con ayuda de un cuchillo común. Las hojas fueron envueltas en un papel estraza y transportadas al Laboratorio de Biología del Departamento de Ciencias de la Salud de la Universidad de Sonora. Una vez en el laboratorio, fueron lavadas para eliminar las trazas de látex y los posibles rastros de tierra. Posteriormente, se retiró la corteza de las hojas por medio de fileteo para obtener sólo la pulpa del AV (*Aloe*-gel). Como la pulpa se encuentra compactada, fue necesario licuarla hasta formar un gel con la viscosidad deseada. Posteriormente, se filtró con una malla de poliéster para retirar los restos de fibras vegetales y las burbujas de aire. Una vez realizado este procedimiento se centrifugó (CRM Globe, mod. Centrificient 1) a 617 g por 10 minutos y el sobrenadante se recolectó y nuevamente se filtró en una malla de poliéster limpia. Todo el gel obtenido de este procedimiento se pesó en una balanza (Mettler Toledo, mod. MS3002S). Con base en la masa obtenida del *Aloe*-gel se le adicionó ácido cítrico (0.1 % m/m) y se agitó a 8 RPM por 15 minutos en placa de agitación (Corning, mod. PC-220). Una vez terminado, se prepararon alícuotas de 50 mL y se congelaron a -20 °C.

### **Recolección de Clara de Huevo**

Los huevos blancos de gallina (*Gallus gallus domesticus*) se adquirieron en el comercio local. Para la obtención de la CH; se rompió la cascara con cuidado en la parte superior y se extrajo la CH con cuidado de no contaminarla con la yema. A partir de la CH obtenida, se formó una mezcla homogénea con la clara de diferentes huevos y a partir de esta, se prepararon alícuotas de 50 mL y se congelaron a -20 °C, hasta el momento de la elaboración de la membrana.

## **Elaboración de Membranas**

Se prepararon tres tipos de membranas con diferentes proporciones de *Aloe-gel* y CH y un control de CH. Las combinaciones de las matrices se realizaron en proporciones de *Aloe-gel*/CH como sigue: 0AV:100CH (control), 50AV:50CH, 40AV:60CH y 30AV:70CH (m/m). A cada una de las disoluciones se les adicionó el 3.75 % glicerol (m/m). Estas mezclas de matrices fueron agitadas a 8 RPM por 15 minutos. Una vez realizado este procedimiento, se midieron 10 mL de la solución y se filtraron con una malla de algodón y se decantó cada una de las soluciones en un molde de silicón con seis espacios de 6 cm de diámetro, con capacidad de soportar una temperatura de hasta 204 °C (utilizado comúnmente en el horneado de pan).

Una vez en el molde, se colocaron en un horno (Binder, mod. FD53) a 30 °C por 22 horas con 30 minutos. Posteriormente, se expusieron a temperatura ambiente por 30 minutos y luego fueron calentadas de nuevo a 80 °C por una hora. Una vez transcurrido este lapso se redujo la temperatura a 40 °C y se dejaron bajo estas condiciones por 21 horas con 30 minutos. Después de este tiempo, las películas fueron retiradas del molde de silicón con mucho cuidado. Las películas se guardaron individualmente en sobres de papel encerado dentro de bolsas con cierre hermético con gel de sílice como desecante en su interior a 25 °C hasta el momento de su análisis.

## **Evaluación Física**

### **Grosor**

El grosor se midió con un micrómetro (Mitutoyo, Japón) con precisión de 0.001 mm. Para ello, las mediciones se realizaron en diferentes puntos al azar de la membrana (Khoshgozaran y col., 2011). Estas mediciones se usaron también para estimar la transparencia y la permeabilidad al vapor de agua.

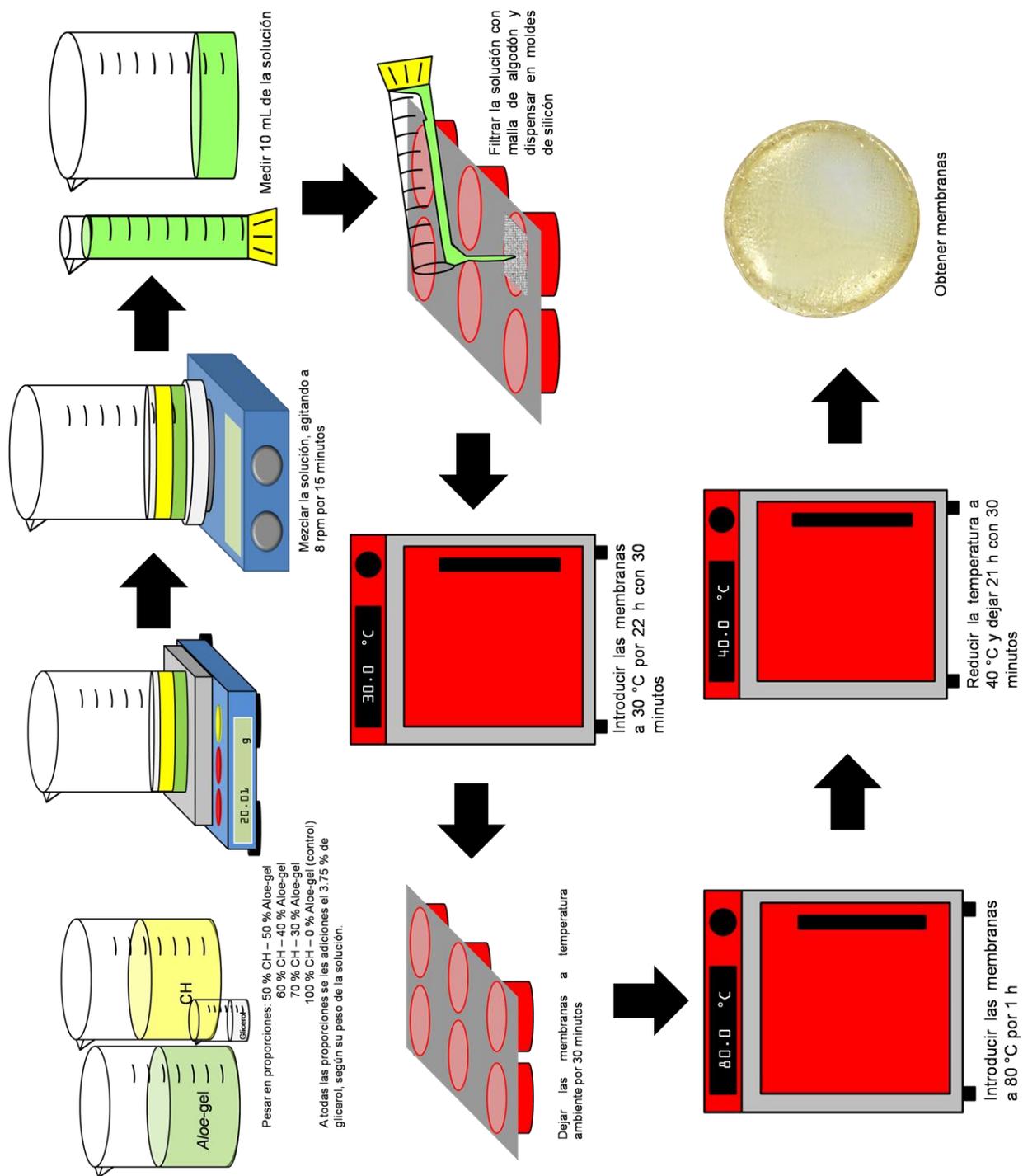


Figura 5. Metodología de elaboración de membranas de Aloe-gel-CH.

## **Pruebas Mecánicas**

Se utilizó el método estándar ASTM-882-95 (ASTM, 1995) para medir la fuerza de tensión (FT), porcentaje de elongación (%E) y el módulo de elasticidad (ME). Las películas se cortaron en rectángulos (6 × 1 cm) y se acondicionaron a 52 % de humedad relativa durante 24 horas antes de la prueba con bromuro de sodio (NaBr). Tras el acondicionamiento, se montaron y se sujetaron con garras de texturómetro Taxt-Plus (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido). Los resultados se analizaron con el Software Exponent Lite (Versión 4.0). Las condiciones de la prueba fueron con carga de 30 kg, longitud de calibre inicial de 4 cm y se estiraron utilizando una velocidad de 20 mm/min. FT se expresó en MPa y se calculó dividiendo la carga máxima por el área de sección transversal inicial de la película. %E se calculó como razón de aumento de la longitud a la longitud inicial de la película y se expresó como porcentaje. El ME se evaluó según el comportamiento lineal de la pendiente de tensión. Todas las pruebas se repitieron cinco veces para cada tipo de película.

## **Caracterización de la Microestructura**

La morfología de las películas obtenidas se examinaron con un microscopio electrónico de barrido (SEM, por sus siglas en inglés) marca JEOL modelo JSM 5410LV, equipado con un sistema INCA, detector de microanálisis EDS (Energy Dispersive X-Ray por sus siglas en inglés) marca Oxford Instruments, operado a 20 kV. Para este análisis las muestras se enviaron al Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales de la Universidad de Sonora en Hermosillo, protegidas según la forma de almacenamiento antes mencionada.

## **Solubilidad (Resistencia al Agua)**

La solubilidad se determinó según lo informado por Casariego y colaboradores (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 × 24 horas) para obtener la masa seca de las membranas.

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 masa constante en el horno con vacío, para determinar la masa de materia seca, que no se solubilizó en el agua. La solubilidad se calculó con base en la siguiente ecuación:

$$\text{Solubilidad} = \left( \frac{M_i - M_f}{M_i} \right) 100$$

### **Permeabilidad al Vapor de Agua**

La PVA, se determinó gravimétricamente basados en el método ASTM E96-92 (Guillard y col., 2003). Para ello, las membranas a probar se sellaron en la parte superior de tubos de ensaye de vidrio de 13 × 100 mm, los cuales, contenían 2.5 mL de agua destilada (100 % de humedad relativa (HR); 3.168 kPa de PVA a 25 °C). Posteriormente, se colocaron en un desecador con sulfato de calcio anhidro a 25 °C y 0 % de HR (0 kPa de PVA). Los tubos de ensaye sellados, se pesaron en intervalos de 3 horas por 12 horas. El estado ideal y uniformidad de las condiciones de PVA se asumió con una circulación de aire constante fuera del tubo de prueba. Para ello, se utilizó un ventilador miniatura dentro del desecador. Con el valor de las diferencias de masa perdida del tubo se hizo 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 siguiente ecuación:

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

La PVA de las películas 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 tubo (PA2) como se expresa en la ecuación:

$$\text{PVA} = \frac{\text{Pendiente}}{(\text{PA1} - \text{PA2})}$$

## Color

Las membranas se midieron con un colorímetro (X-rite SP-64), para ello se tomaron tres películas de cada concentración, de las cuales se tomó el promedio de cinco mediciones al azar. El color de la película se expresó con base en el modelo CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ), los parámetros seleccionados como  $L^*$  representarán la luminosidad del material estudiado y  $b^*$  representa una escala de color de amarillo al azul y  $a^*$  del verde al rojo.

## Transparencia

Los datos de grosor de las membranas y el porcentaje de transmitancia a 600 nm se utilizaron para calcular la transparencia según lo establecido por Han y Floro (1997). Esto se calculó con base en la siguiente ecuación:

$$T = -\log T_{600}/g$$

Donde T: transparencia;  $T_{600}$ : transmitancia a 600 nm y g: grosor de la membrana.

## Transmitancia

Primeramente se prepararon pequeños cortes de película de 1.3 × 4.5 cm; los recortes de película se dispusieron en una celda de cuarzo recargadas completamente paralelas a una de las caras transparentes de la celda. Las celdas con las películas son llevadas al espectrofotómetro de barrido (espectrofotómetro UV-vis Marca Cintra 10e, Australia) Se hizo un barrido de la transmitancia por triplicado a cada una de las membranas a las siguientes longitudes de onda: 200, 280, 350, 400, 500, 600, 700 y 800 nm. De esta manera comprendemos tanto el rango ultravioleta como el visible (Han y Floro, 1997).

## Evaluación Química

### Cuantificación de Proteína Soluble en Microplaca por el Método de Bradford

Para la cuantificación de proteína de las membranas por el método de Bradford (1976), primero se realizó una curva estándar con albúmina sérica bovina (BSA) como proteína estándar. La concentración de la solución estándar fue de 25 µg/mL, y para la elaboración de la curva se hicieron mediciones por triplicado en microplaca de cinco concentraciones conocidas, 3, 6, 9, 12 y 15 µg/mL.

Una vez preparadas todas las diluciones se incubaron a temperatura ambiente por cinco minutos y posteriormente se leyeron en un lector de microplaca (BIO RAD. iMark). El valor de  $R^2$  obtenido fue igual a 0.994 con un coeficiente de variación menor al < 5 % en todas las mediciones. Con base en esta curva estándar se cuantificó la proteína soluble en las membranas.

Para la cuantificación de proteína se prepararon soluciones con las membranas de proporción 50AV:50CH, 40AV:60CH, 30AV:70CH y la membrana control de CH. Para ello se pesó 0.1 g de cada una de las membranas y se sumergieron en 10 mL de agua. Después de 20 horas de estar sumergidas en agua, las películas fueron homogenizadas en un ULTRA-TURRAX por 10 minutos a 12,000 RPM. Posteriormente las soluciones fueron centrifugadas a 699 g por 5 minutos, se separó el sobrenadante y este fue el utilizado para la cuantificación de proteína. Los volúmenes utilizados para la cuantificación fueron de 25 µL de muestra y 225 µL de solución de Bradford. Las soluciones fueron incubadas a temperatura ambiente por 5 minutos y leídas a 595 nm en el lector de microplaca. Las absorbancias fueron calculadas utilizando la ecuación de la recta de la curva estándar; las unidades se expresaron en µg/mg de película.

## Evaluación Microbiológica

### Capacidad Antibacteriana

La capacidad antibacteriana de las membranas fue medida en bacterias de aislado clínico previamente identificadas con un equipo automatizado (Biomérieux, mod Vitrek 2) y utilizando cepas de referencia. Estas bacterias fueron *Staphylococcus aureus* (ATCC 9144) y *Escherichia coli* O157:H7 (ATCC 43890). Las bacterias se inocularon en caldos nutritivos e incubados a 37 °C por 24 horas en una incubadora (Binder, mod. FD53). Posteriormente se preparó una dilución de las cepas hasta la escala  $1 \times 10^5$  en la escala de McFarland, y de esta dilución se tomaron 100 µL para inocular las cajas con agar Muller-Hinton. El extendido del inóculo se realizó con perlas de vidrio estériles (Rojas-Graü y col., 2006). Sobre el medio inoculado se colocaron discos de 6 mm de diámetro, de recortes de las membranas de *Aloe-gel* y CH en proporciones 50AV:50CH, 40AV:60CH y 30AV:70CH, discos de la película control de CH y discos de papel filtro impregnado con *Aloe-gel* y CH, así como un control positivo de papel filtro sin impregnar. Además, se probaron el *Aloe-gel*, la CH, la solución formadora de membrana *Aloe-gel*-CH (50AV:50CH) con y sin glicerol y agua (control), depositando 50 µL en pequeños pozos de 5 mm de diámetro en el agar. Una vez que se tuvieron todas las cajas inoculadas y con sus respectivos discos y/o pozos, se incubaron a 37 °C por 24 horas. Una vez transcurrido este periodo, se extrajeron las cajas de la incubadora y se procedió a medir los halos de inhibición o revisar la inhibición al contacto con el disco (Figura 6). El método que se utilizó para la medición de la actividad antibacteriana fue el de difusión en agar y la inhibición por contacto (Rojas-Graü y col., 2006; Silva y col., 2013).

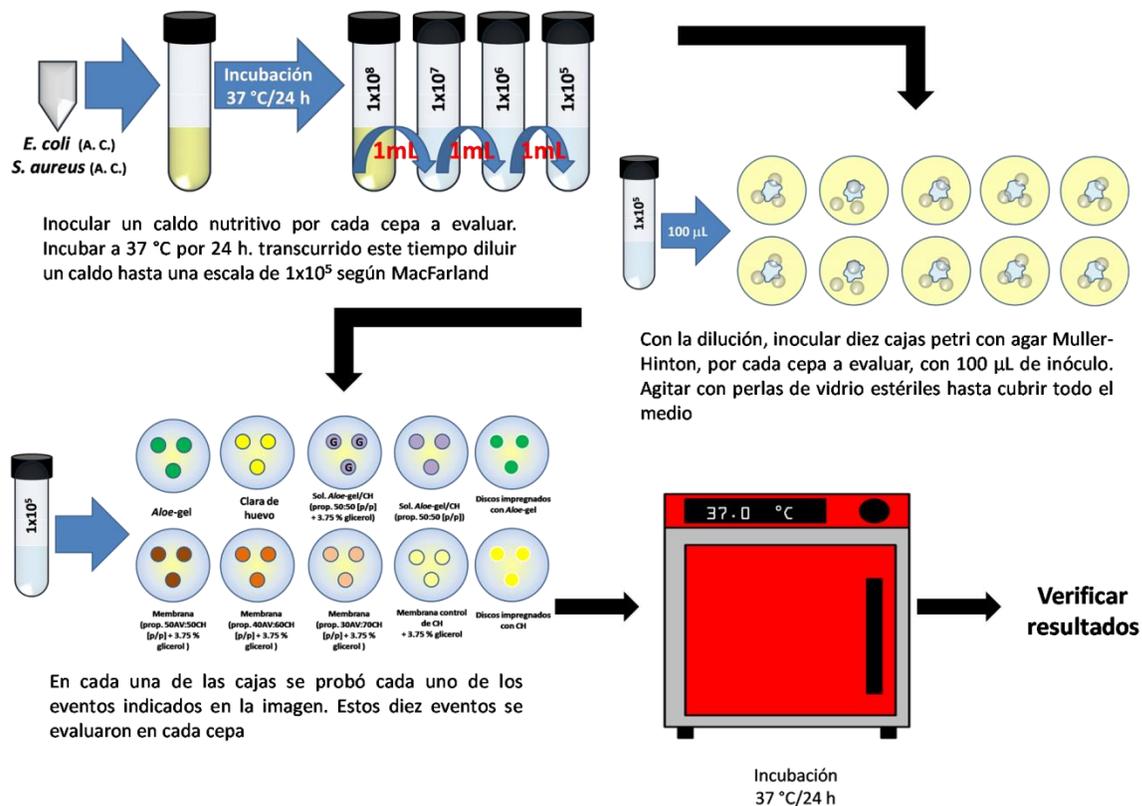


Figura 6. Metodología para la evaluación de la capacidad antibacteriana de membranas Aloe-gel-CH.

### Análisis Estadísticos

Los datos se realizaron por triplicado y se analizaron mediante un análisis de varianza donde se obtuvieron la media y el error estándar. Para ello se consideraron como factores la concentración de las membranas y como variable de respuesta la transparencia, color, PVA, solubilidad, concentración de proteína y pruebas mecánicas. Para la toma de decisiones se utilizó la prueba de comparaciones de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ). Todo lo anterior, se realizó mediante el paquete estadístico NCSS, 2000.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Evaluación Física

#### Pruebas Mecánicas

Las pruebas mecánicas de FT, %E y ME, fueron las pruebas consideradas para evaluar el comportamiento físico–mecánico de las membranas. La FT es la fuerza que se aplica a un material hasta el punto de rompimiento; el %E se refiere al cambio en la medida de la longitud de un material cuando se le aplica una fuerza hasta antes de su deformación; por su parte el ME (módulo de Young) es un parámetro que caracteriza el comportamiento elástico de un material. Hay que destacar que no se presentan los resultados de las pruebas mecánicas de las membranas *Aloe*-gel-CH de las proporciones 50AV:50CH debido a que resultó imposible de sujetar en la probeta de prueba utilizada en el equipo de medición; esta imposibilidad derivó de su misma naturaleza (alta adhesividad y elevada fragilidad).

En la tabla 3 se muestran las pruebas mecánicas de las membranas evaluadas, donde podemos observar que la membrana control presentó la mayor FT y esta se redujo significativamente al adicionar *Aloe*-gel a la CH ( $p < 0.05$ ) aunque significativamente los resultados del control fueron diferentes a los de las membranas evaluadas. Respecto al %E, encontramos que las películas adicionadas con *Aloe*-gel fueron significativamente menos rígidas que el control, lo que también pudimos evidenciar por su baja elasticidad mostrada por los valores de ME, siendo la membrana 30AV:70CH con una mejor característica plástica. El aumento en la concentración (40AV:60CH) no mejoró esta característica, incluso se observó que en proporciones 50AV:50CH, no fue posible evaluar su comportamiento mecánico. Con lo anterior podemos decir, que si bien es cierto que la adición de *Aloe*-gel mejora la naturaleza plástica de las membranas, también es cierto que un incremento en su concentración más allá, no necesariamente representó una mejora en la característica plástica.

Estudios previos han evidenciado que el *Aloe*-gel es una matriz que en conjunto con otras matrices tienen la capacidad de formar membranas o películas, y a las cuales puede otorgar

ciertas características que suelen favorecer su flexibilidad (Khoshgozaran y col., 2011). Por otro lado, se ha observado que grandes concentraciones de *Aloe*-gel adicionados durante la elaboración de membranas pueden ocasionar la pérdida de su estructura, ocasionando una deformación en las membranas (Saibuatong y Phisalaphong, 2010). Por su parte el uso de un plastificante como el glicerol en conjunto con una matriz de proteínas como la CH suele generar una membrana con buenas características de flexibilidad debido a la buena interacción de sus moléculas (Lee y col., 2013).

Tabla 3. Pruebas mecánicas de las membranas de *Aloe*-gel-CH.

Factores		FT (MPa)	%E	ME (MPa)	Grosor ( $\mu\text{m}$ )
		M $\pm$ ES*	M $\pm$ ES*	M $\pm$ ES*	M $\pm$ ES*
* <i>Aloe</i> -gel (%)	CH (%)				
Control		22.88 $\pm$ 3.04 <sup>a</sup>	6.97 $\pm$ 1.98	16.04 $\pm$ 1.77 <sup>a</sup>	0.22 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>
30	70	4.22 $\pm$ 0.58 <sup>b</sup>	30.86 $\pm$ 4.28	98.59 $\pm$ 10.65 <sup>b</sup>	0.22 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>
40	60	1.80 $\pm$ 0.30 <sup>b</sup>	27.91 $\pm$ 7.21	32.06 $\pm$ 5.70 <sup>a</sup>	0.28 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>
50	50	---	---	---	0.36 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>

Literales distintas en una misma columna significan una diferencia significativa ( $p < 0.05$ )

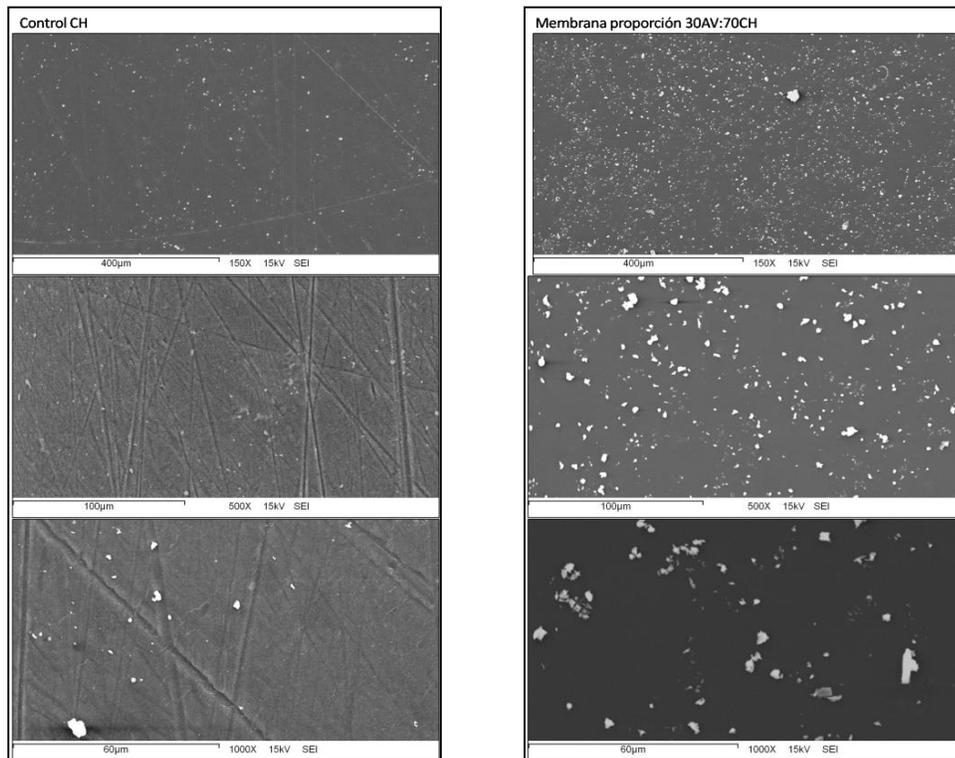
FT: Fuerza de tensión; %E: Porcentaje de elongación; ME: Módulo de elasticidad.

\*M  $\pm$  ES: Media  $\pm$  desviación estándar.

Los resultados de FT de la membrana control obtenidos en el presente estudio, son similares a los informados en películas de gelatina de piel de cerdo (FT  $\approx$  21 MPa), pero diferentes a los informados en películas de gelatina de pargo (FT  $\approx$  44 MPa) bajo similares condiciones de glicerol utilizado. Respecto a la reducción de la resistencia de las membranas que fue observado con el aumento en la concentración de *Aloe*-gel hacia la CH, otros autores también han evidenciado que un aumento en la proporción de 50 % de *Aloe*-gel es capaz de reducir la FT en películas de *Aloe*-gel-celulosa (Saibuatong y Phisalaphong, 2010).

## Microestructura

La microestructura fue utilizada para conocer la morfología que presentan las membranas a un nivel micrométrico. En la figura 7, se pueden observar diferencias en su superficie, sobre todo en la presencia de estructuras de diversos tamaños y amorfas de aspecto blanquecinos. También se aprecia, la formación de delgadas ranuras que aparecen sobre la superficie de algunas membranas. En lo que respecta a las estructuras amorfas, son pocas en la película control y van aumentando conforme disminuye la concentración de CH y aumenta la de AV. Estas estructuras amorfas blanquecinas se han relacionado con concentrados de proteína que no se alcanzaron a solubilizar en la membrana (Lee y col., 2013), posiblemente a medida que se incrementa la concentración de *Aloe-gel*, la interacción de las matrices impide la formación de una solución homogénea. Por su parte la presencia de ranuras, que sólo se observan en las películas control y de proporción 40AV:60CH, se asocia a una deformación en la red de proteínas lo que conlleva a una mayor facilidad de fractura y por lo tanto, menor elasticidad (Lee y col., 2013). Esta misma característica fue observada en la FT que se mostró en la tabla 3.



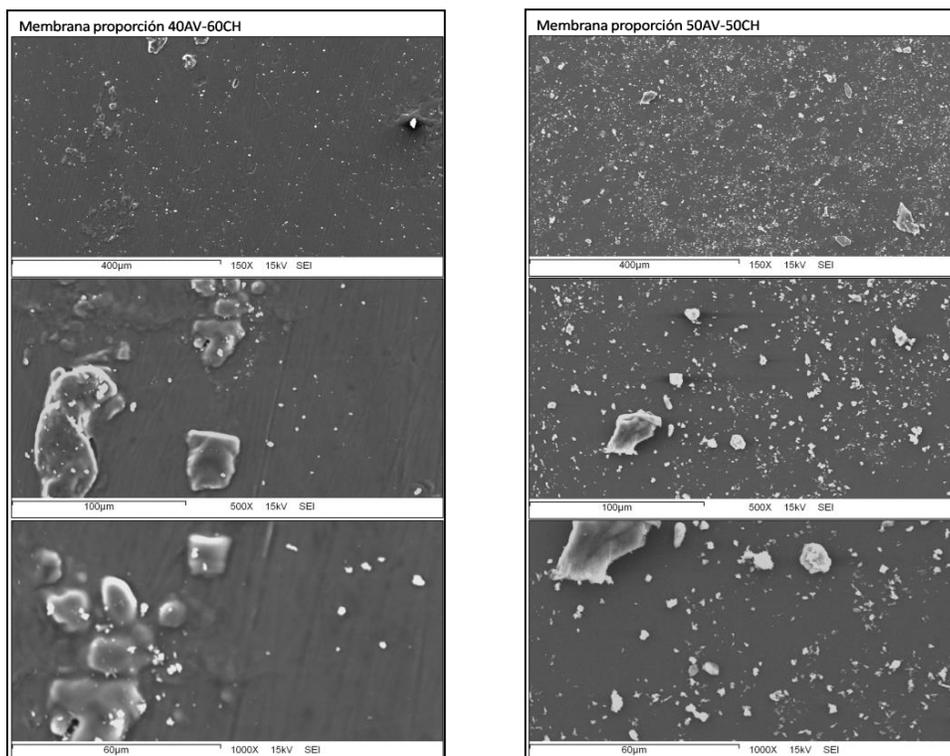


Figura 7. Microestructura de las membranas de *Aloe-gel-CH*.

### Solubilidad (Resistencia al Agua)

La prueba de solubilidad es una propiedad muy importante de las membranas ya que esta es útil para medir su resistencia al agua. En la figura 8, se muestran los resultados de la membrana de AV:CH, donde se puede observar que todas las películas que contenía *Aloe-gel* fueron más solubles que la película control de CH ( $p < 0.05$ ). Las películas en proporciones 50AV:50CH y 40AV:60CH fueron las películas más solubles y la de menor solubilidad fue la película que contenía la mayor proporción de CH (30AV:70CH). El incremento en la solubilidad fue de hasta 8.48 % para proporciones 40AV:60CH con respecto al control. Significativamente hablando el resultado de la solubilidad de las tres membranas es diferente a la solubilidad del control; por su parte la membrana de proporción 30AV:70CH es significativamente diferente a la membrana de proporción 40AV:60CH, pero particularmente, cada una de ellas es significativamente igual a la membrana de proporción 50AV:50CH.

Aunque se observó que un incremento en la solubilidad de estos resultados son mucho menores que los informados por Khoshgozaran y colaboradores (2011), en membranas de

naturaleza carbohidrato, pero mayores que membranas de zeína-ácido oleico adicionadas con glicerol (Pena-Serna y Lopes-Filho, 2013). Aunque la tendencia que se esperaba era la de un alto porcentaje de solubilidad, debido a la naturaleza higroscópica del *Aloe*-gel y del glicerol, los resultados obtenidos no fueron tan bajos. Esta información coincide con lo informado por Khoshgozaran y colaboradores (2011) quienes elaboraron películas de AV-quitosano y observaron que el incremento proporcional en las concentraciones de AV puede incrementar su solubilidad. Por otro lado, Jouki y colaboradores (2013) quienes evaluaron la función del glicerol como plastificante en películas de goma de semilla, en lo que respecta a la solubilidad, indica que el glicerol es un plastificante que debido a su naturaleza hidrofílica puede incrementar la solubilidad de las películas; esto sucede porque el glicerol induce un incremento en la afinidad del polímero con los enlaces de las moléculas de agua.

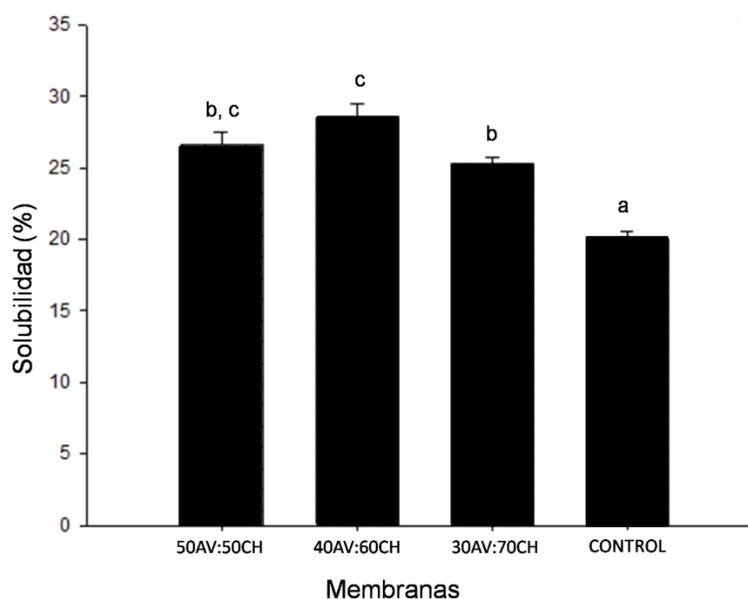


Figura 8. Porcentaje de solubilidad en membranas de *Aloe*-gel-CH. Literales distintas entre columnas representan una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

## Permeabilidad al Vapor de Agua

La PVA es la capacidad que tiene una membrana para permitir el paso del vapor de agua a través de ella. Para calcular la PVA de las diferentes membranas se calculó la RTVA con base en los datos obtenidos de la ecuación de la recta, según las mediciones de cada membrana.

$$\text{CONTROL: } y = 0.010x + 0.011 ; R^2 = 0.999$$

$$30\text{AV:}70\text{CH: } y = 0.010x + 0.005 ; R^2 = 0.999$$

$$40\text{AV:}60\text{CH: } y = 0.010x + 0.007 ; R^2 = 0.999$$

$$50\text{AV:}50\text{CH: } y = 0.015x - 0.001 ; R^2 = 0.998$$

En la figura 9 se muestran los resultados obtenidos de la PVA de las membranas evaluadas. En esta figura, observamos que los valores de PVA presentaron una tendencia de incremento. Conforme aumenta la proporción de *Aloe-gel* el resultado de la PVA también aumenta; este fenómeno se observa hasta la membrana 40AV:60CH, pero la diferencia significativa se presentó solamente hasta la membrana 50AV:50CH ( $22.21 \pm 1.42 \text{ g mm m}^2 \text{ h}^{-1} \text{ kPa}^{-1}$ ), todo lo anterior, con respecto al control ( $5.37 \pm 0.79 \text{ g mm m}^2 \text{ h}^{-1} \text{ kPa}^{-1}$ ). Por otro lado, las membranas 40AV:60CH ( $7.74 \pm 0.77 \text{ g mm m}^2 \text{ h}^{-1} \text{ kPa}^{-1}$ ) y 30AV:70CH ( $6.31 \pm 0.27 \text{ g mm m}^2 \text{ h}^{-1} \text{ kPa}^{-1}$ ) fueron muy similares en su comportamiento ante el vapor de agua. Otro punto importante es que pueden utilizarse altas proporciones de *Aloe-gel* (hasta 40 %) y la película conserva aún características de permeabilidad muy similares a las de la membrana control, pero a su vez con características de mejor plasticidad (tabla 3) comparada con el control.

Saibuatong y Phisalaphong (2010) elaboraron membranas de AV-celulosa y establecieron que hasta ciertas proporciones el AV, favorece la permeabilidad del vapor de agua. Por otra, parte Ghanbarzadeh y colaboradores (2006) afirmaron que el uso de glicerol en las formulaciones de las membranas, también puede influir en el incremento de la PVA sobre todo en membranas de zeína, ya que el plastificante reduce las fuerzas intermoleculares entre las cadenas de los polímeros, facilitando así la migración de moléculas de agua a través de la película. La hidrofilia del glicerol también puede favorecer la adsorción de moléculas de agua, lo que puede contribuir al incremento de la PVA (Jouki y col., 2013). Al igual que el glicerol, el *Aloe-gel* (la proporción carbohidratos hidrofílicos) también tiene la propiedad de retener agua, este fenómeno no fue directamente estudiado, pero suponemos que una proporción importante

del agua, pudo no haberse fugado a la atmósfera, sino que fue retenida en la misma película, induciendo un probable efecto de hinchazón de la membrana.

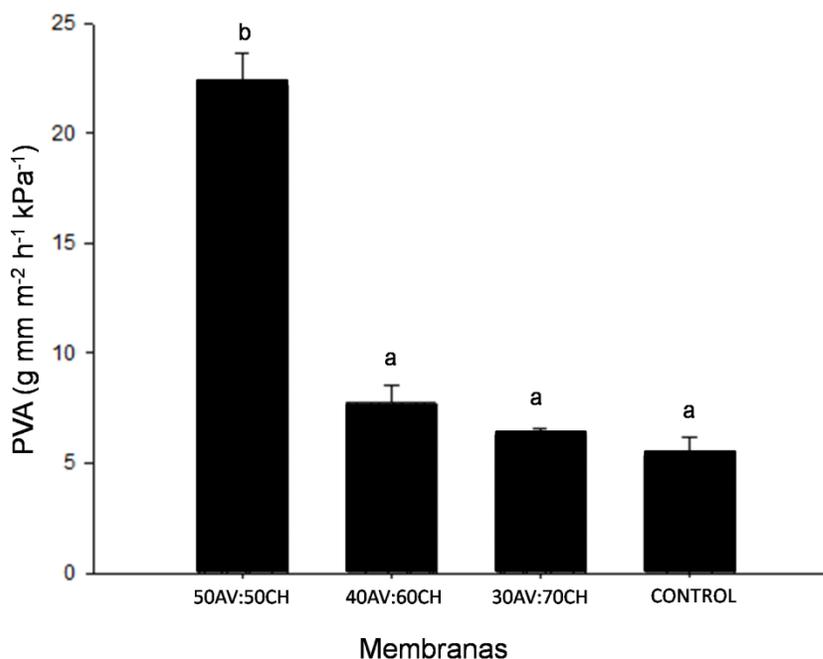


Figura 9. Permeabilidad al vapor de agua en membranas de *Aloe*-gel-CH. Literales distintas entre columnas representan una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

## Color

Las características del color son propias de la materia, y establecerlas como una evaluación a las membranas ayuda a caracterizar con más detalle sus especificaciones visuales. El color en las membranas fue en los cuatro eventos de un color amarillo con distintas tonalidades según la proporción. La membrana control fue la que presenta el valor de  $b^*$  más elevado (amarillez) y la proporción 40AV:60CH el más bajo (Tabla 4); no podemos establecer que el color amarillo de las membranas está en función de la concentración de alguna de las matrices porque el aumento del color no sigue una tendencia lineal. Igualmente en la luminosidad de la película tampoco hay un crecimiento del valor  $L^*$  en función de alguna matriz. Podríamos establecer que esta tonalidad amarilla se debe a la coloración de la CH, o a las melanoidinas (productos

resultantes de la reacción de los carbohidratos del *Aloe-gel* y las proteínas de la CH cuando se someten a altas temperaturas) después del proceso de secado (Miranda y col., 2008). En otro estudio, Khoshgozaran y colaboradores (2011) menciona que en películas de quitosano-AV las películas con una concentración elevada de AV presentan una coloración más oscura, pero en este caso se atribuyen a que las antraquinonas son componentes que al contacto con el ambiente o la luz tienden a oxidarse, generando un cambio de color. Finalmente, aunque no podemos establecer en función de que matriz se induce la coloración, si podemos suponer que la coloración amarilla proviene de la tonalidad amarilla de la CH que junto con el *Aloe-gel* adquiere una coloración ligeramente marrón.

Tabla 4. Resultados de medición de color de membranas de *Aloe-gel*-CH.

Factores		$L^*$	$a^*$	$b^*$
		$M \pm ES^*$	$M \pm ES^*$	$M \pm ES^*$
<i>Aloe-gel</i> (%)	CH (%)			
Control		$84.78 \pm 0.01^a$	$2.37 \pm 0.01^a$	$41.13 \pm 0.05^a$
30	70	$84.05 \pm 0.01^c$	$-1.15 \pm 0.01^c$	$41.00 \pm 0.03^b$
40	60	$85.44 \pm 0.01^b$	$-1.66 \pm 0.01^d$	$28.87 \pm 0.01^d$
50	50	$69.68 \pm 0.01^d$	$8.86 \pm 0.02^b$	$39.38 \pm 0.02^c$

Literales distintas en una misma columna significan una diferencia significativa ( $p < 0.05$ )

\* $M \pm ES$ : Media  $\pm$  desviación estándar.

### Transparencia y Transmitancia

La transparencia es una propiedad que consiste en permitir el paso de la luz a través de un cuerpo y que permite al observador ver a través de él. Todas las membranas presentaron una transparencia considerable y permitía su observación de manera clara a través de ellas (Figura 10). Según el análisis estadístico, las membranas de proporción 50AV:50CH son las que presentaron mayor transparencia; este fenómeno sigue un comportamiento lineal observando en la película control, cuya concentración de CH es más elevada (Tabla 6), el valor más pequeño de esta propiedad.



Figura 10. Transparencia de membranas según la proporción de *Aloe-gel-CH*.

Al igual que en nuestro estudio, Pereira y colaboradores (2013) establecieron que la transparencia de membranas de *Aloe-gel-alginato* puede estar en función de la cantidad de AV que se incluye en la elaboración de membranas, debido a que ellos observaron que el incremento en el *Aloe-gel* en la formulación de sus membranas, era directamente proporcional a su transparencia. Según los datos de la tabla 5 los valores de la transparencia de todas las membranas de *Aloe-gel-CH* son mayores que los informados por Pereira y colaboradores (2013). En este trabajo, aunque las matrices fueron diferentes a las de dichos autores, los valores mantienen resultados similares a los reportados, aumentando la transparencia con respecto se incrementa la proporción de *Aloe-gel*.

Tabla 5. Resultados de lectura de porcentaje de transmitancia y valores de transparencia.

Factores	Longitud de onda (nm)									Valor de transparencia M ± ES*
	CH (%)	200	280	350	400	500	600	700	800	
Control		0.02	0.10	13.54	48.11	75.72	84.82	86.55	87.35	2.57 ± 0.03 <sup>d</sup>
30	70	0.03	0.15	2.74	12.08	50.76	67.65	73.51	75.33	2.48 ± 0.03 <sup>a</sup>
40	60	0.09	0.30	2.78	9.38	46.37	61.37	67.40	69.25	2.33 ± 0.02 <sup>b</sup>
50	50	0.02	0.11	0.93	2.69	25.83	37.58	43.51	45.30	2.04 ± 0.06 <sup>c</sup>

Literales distintas en una misma columna significan una diferencia significativa ( $p < 0.05$ )

\*M ± ES: Media ± desviación estándar.

La transmitancia es una prueba que consiste en conocer la luz que logra atravesar un cuerpo en una longitud de onda específica. En este estudio se observó la capacidad que tienen estas membranas para absorber la luz en la región UV y la buena capacidad que tienen para permitir el paso de la luz visible. De manera general se observa en la tabla 8 los valores de transmitancia y el crecimiento que presentan conforme aumentan las longitudes de onda. En cuanto a los porcentajes de transmitancia de la luz en las membranas estudiadas en este trabajo, destacan las longitudes de onda de 200 y 280 nm, donde la radiación que atraviesa las membranas está en un intervalo de 0.02-0.09 % a 200 nm y de 0.10-0.30 % a 280 nm. Esto nos permite establecer que tienen la capacidad de absorber la radiación UV, lo que les confiere un potencial como bloqueadores. En forma particular observamos en la tabla anterior que la membrana control y la membrana de proporción 50AV:50CH presentan los valores más bajos de porcentaje de transmisión de la luz, de ahí que se relacione su capacidad por absorber la radiación UV. Al observar las lecturas en longitudes de 350 - 800 nm, vemos que las lecturas empiezan a tomar un patrón más ordenado, de manera que presentan niveles mayores de transmitancia las películas con una concentración más elevada de CH. En un estudio realizado por Crowell y colaboradores (1987) mencionan que el aplicar gel de AV sobre lesiones ocasionadas por radiación UV no presenta beneficios para la salud; pero, según Goyal y Gehlot (2009) y Lee y colaboradores (1997) el AV podría proteger, al menos en parte, contra los daños causados por esta misma radiación. En este trabajo se demostró que tanto el control como las membranas de *Aloe-gel-CH* si tienen la capacidad de manera general de absorber la radiación UV; por otro lado no se conoce aún el efecto que tendrían sobre lesiones causadas por esta radiación.

## **Evaluación Química**

### **Cuantificación de Proteína Soluble**

La estimación de la concentración de proteínas que se encuentra en las membranas es importante para observar el comportamiento de la proteína en las membranas. En los resultados obtenidos en la cuantificación de proteína, se obtuvieron concentraciones bajas de proteína. En este proyecto las membranas evaluadas cuyas concentraciones fueron más

elevadas son las que se forman en una proporción 50AV:50CH con  $0.08 \pm 0.001$   $\mu\text{g}/\text{mg}$  de proteína, disminuyendo la concentración conforme se incrementa la proporción de la matriz proteica (Tabla 6).

Tabla 6. Resultados de la cuantificación de proteína.

<i>Aloe</i> -gel (%)	CH (%)	Proteína total
		( $\mu\text{g}/\text{mg}$ de película) M $\pm$ ES*
0	100	$0.002 \pm 0.001^a$
30	70	$0.07 \pm 0.003^c$
40	60	$0.07 \pm 0.005^{b,c}$
50	50	$0.08 \pm 0.001^b$

Literales distintas en una misma columna significan una diferencia significativa ( $p < 0.05$ )

\*M  $\pm$  ES: Media  $\pm$  desviación estándar.

Significativamente la concentración de esta membrana es igual a la de proporción 40AV:60CH y esta a su vez igual a la de proporción 30AV:70CH; las tres membranas presentan una diferencia significativa con el control, esto es según el análisis estadístico que se realizó. Esto es posible debido a la complejidad que tienen las películas con mayores concentraciones de proteína de solubilizarse en el agua. Debido a esto es que vemos una insignificante concentración de proteína cuantificada en el control de CH. Según menciona Rozo y Bermúdez (2003) cuando los tiempos de secado son muy prolongados en películas de CH es posible la oxidación de un mayor número de grupos sulfhidrilos, lo que induce a la formación de grupos disulfuro y una subsecuente interacción con los grupos hidrofílicos de las proteínas con el agua, lo cual quiere decir que se forma una estructura con material insoluble. Esto sería otro motivo que explicaría las bajas concentraciones de proteínas cuantificadas en estas membranas y los posibles cúmulos de blanquecinos que aparecen en la imagen del SEM (Figura 7).

En el trabajo de Giménez y colaboradores (2011) el cual consistió en la caracterización de películas de gelatina-clara de huevo, al realizar la cuantificación de la liberación de proteínas obtienen resultados que fluctúan de 0.5–1.5 mg/mL y 2–2.5 mg/mL, los cuales son resultados mucho mayores a los obtenidos en este trabajo. Bajo este criterio podemos mencionar que en

las membranas realizadas en este trabajo también se utilizó una matriz carbohidrato que como se mencionó anteriormente, al someterse a altas temperaturas se puede inducir la interacción entre sus componentes, formando, quizá, productos derivados de reacciones de Maillard, lo cual probablemente reduce la cantidad de proteína libre. Probablemente la baja concentración de proteína cuantificada en este estudio es también debido a la metodología utilizada, ya que al cuantificar proteína soluble, solo se está considerando esa porción proteica de la membrana que alcanza a disolverse en agua. Cuando se comparan los resultados de solubilidad con las concentraciones de proteína, se observa que en el control están los resultados más bajos, y conforme aumenta la concentración de *Aloe-gel*, incrementan también los valores tanto de solubilidad como de concentración de proteína soluble.

## Evaluación Microbiológica

### Capacidad Antibacterial

La capacidad antimicrobiana fue un ensayo que se midió en varias ocasiones, probando el efecto de las películas contra distintos microorganismos y en distintos medios. Para lo anterior, se utilizaron cepas de referencia (*E. coli* O157:H7 ATCC 43890 y *S. aureus* ATCC 9144) y de aislados clínicos (*E. coli* y *S. aureus*). Entre los distintos ensayos que se realizaron para establecer la capacidad antibacterial por el método de difusión en agar considerando la inhibición por el contacto como un efecto antibacterial *in situ*, considerándose positivos aquellos cultivos donde no se presentó crecimiento bajo su posición, y caso contrario una inhibición negativa cuando hay un crecimiento bajo o sobre el disco.

Los resultados obtenidos en la serie de ensayos que se realizaron para determinar el efecto antibacterial de las membranas fueron desfavorables. Primeramente, no se observaron halos de inhibición en las membranas y/o controles, lo que puede deberse según la bibliografía a que la difusión de antimicrobianos de una película depende del tamaño, la polaridad, la estructura química y el grado de enlace molecular de los compuestos químicos de la película (Rojas-Graü y col., 2006). Al no encontrar halos de inhibición, entonces se considera la inhibición al contacto entre el microorganismo y el antibacteriano a evaluar, lo cual representó

un resultado positivo en todos los eventos. Este resultado se contrasta con el control de papel sin impregnar, el cual al haber impedido el crecimiento bacteriano nos indica que el efecto no está en sí en la membrana, sino que todos los eventos evaluados actuaron como barreras que impiden el crecimiento, según como se observa en la figura 11.

Los eventos evaluados en estado líquido (solución *Aloe-gel*, CH, solución *Aloe-gel* con CH, solución *Aloe-gel* con CH y glicerol, y agua) tenían como objetivo evaluar por separado el efecto antimicrobiano de los componentes de las membranas y de esta manera poder establecer en cuál de ellos encontrábamos el efecto bactericida de las películas. Estos cuatro eventos se realizaron exponiendo en forma de “pozos” las cuatro suspensiones, de manera que los componentes inhibitorios del crecimiento difundieran en el medio. Los resultados obtenidos fueron tan pequeños que resultan insignificantes para considerarse una inhibición (< 2 mm).

El *Aloe-gel* según la literatura presenta un efecto antibacteriano contra bacterias gram positivas y gram negativas. Martínez y colaboradores (1996) demostraron este efecto en cepas de aislado clínico. Por otro lado, la CH posee lisozimas que se sabe tienen efecto antibacterial contra gram positivos y este efecto se ha mostrado contra las cepas de *S. aureus* (Mecitoflu y col., 2005).

Aunque los mecanismos de acción antibacteriana del AV no están del todo entendidos, algunos estudios sugieren que ciertos compuestos como los acemananos y las antraquinonas, son los posibles causantes del efecto de estas (Pandey y Mishra, 2010). Por su parte en películas de zeína con huevo, la función antibacteriana está en función de las concentraciones de lisozima de huevo (Güçbilmez, 2006).

Según lo informado en la bibliografía, ambas matrices en lo individual o en combinaciones con otras presentan un efecto antibacteriano, sin embargo en la metodología seleccionada para evaluar la capacidad antibacteriana de estas membranas no se encontró. Podrían plantearse otras alternativas como el porcentaje de inhibición o la capacidad mínima inhibitoria.

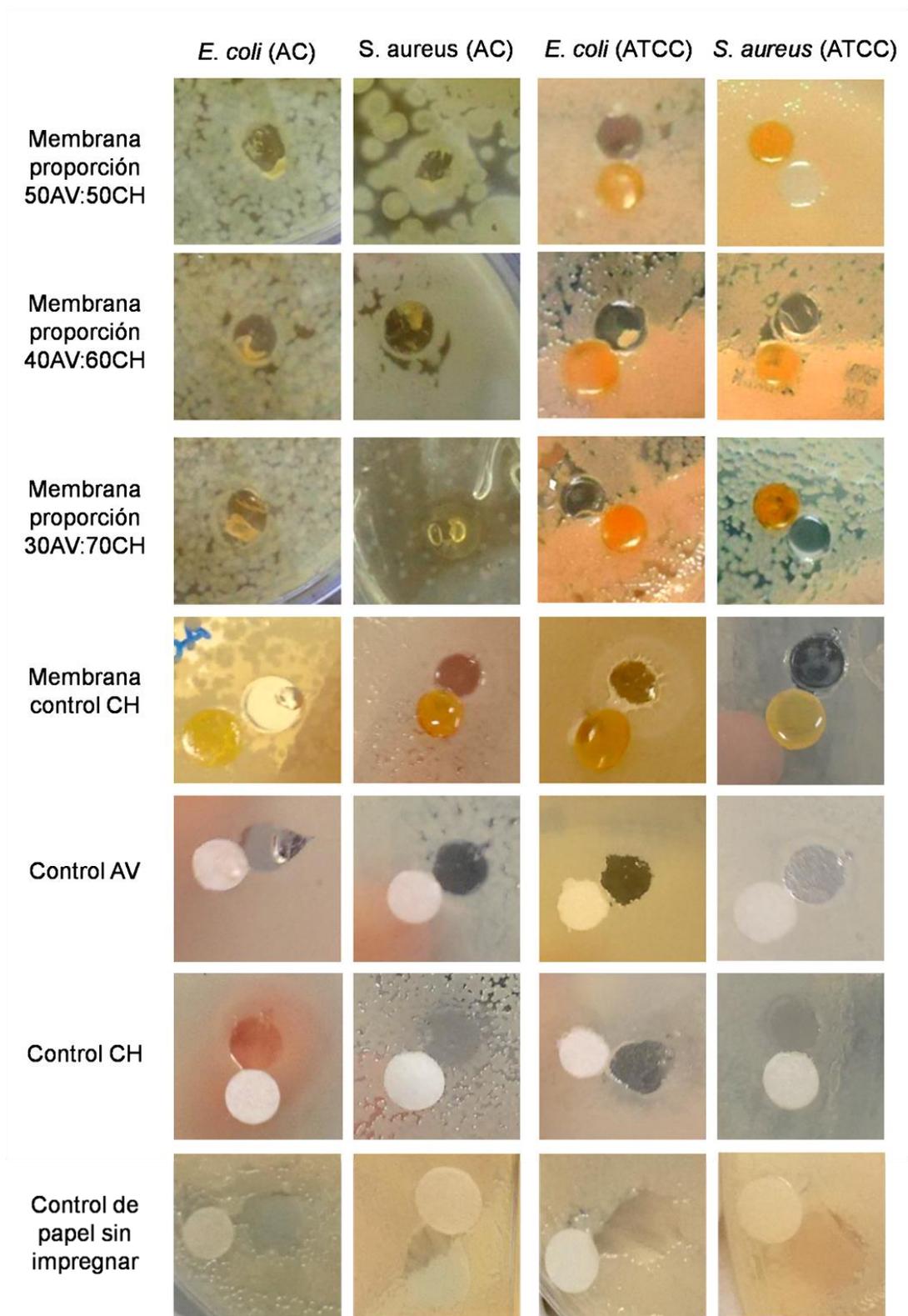


Figura 11. Inhibición antibacteriana por barrera contra cepas de *E. coli* y *S. aureus* (aislados clínicos y cepas de referencia ATCC).

## CONCLUSIONES

Las membranas obtenidas fueron transparentes y con tendencia a una coloración amarilla, con capacidad de absorber la luz UV y buena transmisión de la luz en la región visible. La microestructura mostró una superficie relativamente lisa, con una porosidad no apreciable a una escala micrométrica y evidenció cúmulos de proteína sin disolver. También la membrana 30AV:70CH fue la que presentó la mayor plasticidad y 40AV:60CH la mayor solubilidad (8.4 % respecto al control). Obtuvimos que su comportamiento ante el vapor de agua aumentó solo en proporciones 50AV:50CH ( $p < 0.05$ ) y se mantuvo sin cambios en membranas 30AV:70CH y 40AV:60CH.

Por otro lado, la concentración de proteína soluble cuantificada en las membranas fue de  $0.07 \pm 0.003$  (AV30:CH70),  $0.07 \pm 0.005$  (AV40:CH60),  $0.08 \pm 0.001$  (AV50:CH50), siendo esta menor en la membrana control con una concentración de  $0.002 \pm 0.001$ . Respecto a la actividad antibacteriana de las membranas, no fue posible demostrar su efecto por el método de difusión en agar y la inhibición por contacto en cepas de *E. coli* y *S. aureus*.

## BIBLIOGRAFÍA

Almonacid A. 2012. Efecto antiinflamatorio y cicatrizante del extracto liofilizado de *Aloe vera* (*Aloe vera* (L) burm. f.) presentado en forma de gel farmacéutico. (Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos). Revisado el 14 de enero, 2015. Retomado de [http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/cybertesis/2591/1/almonacid\\_ma.pdf](http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/cybertesis/2591/1/almonacid_ma.pdf).

Araneda M. 12 de febrero, 2015. Huevos y derivados. Composición y propiedades. Revisado el 2 de febrero, 2015. Retomado de <http://www.edualimentaria.com/huevos-composicion-y-propiedades>

Barroeta A. 2014. El huevo y sus componentes como alimento funcional. Instituto de Estudios del Huevo. Revisado el 2 de febrero, 2015. Retomado de [http://www.institutohuevo.com/images/archivos/ana\\_barroeta.\\_el\\_huevo\\_alimento\\_funcional08\\_13135328.pdf](http://www.institutohuevo.com/images/archivos/ana_barroeta._el_huevo_alimento_funcional08_13135328.pdf).

Benítez S, Achaerandio I, Sepulcre F, Pujolá M. 2013. *Aloe vera* based edible coatings improve the quality of minimally processed 'Hayward' kiwifruit. *J Postharvest Biology and Technology* 81(2013):29-36.

Bradford M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *J Analytical Biochemistry* 72(1):248-254.

Burley R, Vadehra D. 1989. *The avian egg: Chemistry and biology*. 1ra ed. New York: Wiley.

Caballero MR. 2010. Obtención y caracterización de películas poliméricas de almidón termoplástico/arcilla modificada con quitosano. (Tesis de maestría, Universidad Industrial de Santander). Revisado el 27 de febrero, 2015. Retomado de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6558/2/133245.pdf>.

Carrillo W. 2013. Lysozyme: Antibacterial activity and allergenicity. *J Actualización en Nutrición* 14(4):314-316.

Casariego A, Souza B, Cerqueira M, Teixeira J, Cruz L, Díaz R, Vicente A. 2009. Chitosan/clay film's properties as affected by biopolymer and clay micro/nanoparticle's concentrations. *J Food Hydrocolloids* 23(7):1895-1902.

Choi S, Chung M. 2003. A review on the relationship between *Aloe vera* components and their biologic effects. *J Seminars in Integrative Medicine* 1(1):53-59.

[CONACYT] Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. 2014. *Aloe vera*: Bondades terapéuticas de la sábila. Revisado el 14 de enero, 2015. Retomado de <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/269/articulos/aloe-vera-bondades-terapeuticas-sabila.html>

Crowell J, Penneys N. 1987. The effects of *Aloe vera* on cutaneous erythema and blood flow following ultraviolet B (UVB) exposure [abstract]. *Clin Res* 35(1987):676. Revisado el 15 de enero, 2015. Retomado de [http://drcowan.womanshealthgroup.com/your-health/condition\\_detail.dot?id=21842&lang=Spanish&db=hls&ebSCOType=healthlibrary&widgetTitle=EBSCO%20-%20Condition%20Detail%20%28USE%29](http://drcowan.womanshealthgroup.com/your-health/condition_detail.dot?id=21842&lang=Spanish&db=hls&ebSCOType=healthlibrary&widgetTitle=EBSCO%20-%20Condition%20Detail%20%28USE%29)".

[CSHF] Cadena del Sector Hortofrutícola de Cordova. 2013. El cultivo de la sábila (*Aloe vera/barbadensis*). Revisado el 15 de enero, 2015. Retomado de <http://www.cadenahortofruticola.org/admin/bibli/406sabila.pdf>.

Elzoghby A, Samy W, Elgindy N. 2011. Albumin-based nanoparticles as potential controlled release drug delivery systems. *Journal of Controlled Release* 157(2012):168-182.

Fang T, Huang L. 2013. Growth and survival kinetics of *Listeria monocytogenes* in cooked egg whites. *J Food Control* 36:191-198.

Ferraro G. 2009. Hoja de Aloe vera corte transversal y sus capas. [Figura 2]. Recuperado de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-300X2009000400004](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-300X2009000400004).

[FESC] Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. 2010. El huevo. Revisado el 2 de febrero, 2015. Retomado de [http://avalon.cuautitlan2.unam.mx/pollos/m2\\_9.pdf](http://avalon.cuautitlan2.unam.mx/pollos/m2_9.pdf).

Garcés, M. 2004. Identificación de los aminoácidos esenciales para uso medicinal en la sábila (*Aloe vera*). (Tesis de doctorado, Universidad de Guayaquil). Revisado el 14 de enero, 2015. Retomado de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/3116/2/SABILA.pdf>.

Ghanbarzadeh B, Musavi M, Oromiehie AR, Rezayi K, Razmi E, Milani J. 2006. Investigation of water vapor permeability, hydrophobicity and morphology of zein films plasticized by polyols. *Iranian Polymer Journal* 15(9):691–700.

Giménez B, Gómez-Guillén M, López-Caballero M, Gómez-Estaca J, Montero P. 2011. Role of sepiolite in the release of active compounds from gelatin-egg white films. *J Food Hydrocolloids* 27:475-486.

Goyal PK, Gehlot P. 2009. Radioprotective effects of *Aloe vera* leaf extract on Swiss albino mice against whole-body gamma irradiation. *J Environ Pathol Toxicol Oncol.* 28(1):53-61. Revisado el 15 de enero, 2015. Retomado de [http://www.medizzine.com/plantas2/aloe\\_vera.php](http://www.medizzine.com/plantas2/aloe_vera.php).

Güçbilmez Ç, Yemenicioflu A, Arslanoflu A. 2006. Antimicrobial and antioxidant activity of edible zein films incorporated with lysozyme, albumin proteins and disodium EDTA. *J Food Research International* 40:80-91.

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. *Journal of food science* 68(7):2267-2277.

Guillén F, Díaz-Mula H, Zapata P, Valero D, Serrano M, Castillo S, Martínez-Romero D. 2013. *Aloe arborescens* and *Aloe vera* gels as coatings in delaying postharvest ripening in peach and plum fruit. *J Postharvest Biology and Technology* 83(2013):54-57.

Han JH, Floros JD. 1997. Casting antimicrobial packaging films and measuring their physical properties and antimicrobial activity. *Journal of plastic film and sheeting* 13(4):287-298.

Hansen S, Mecham N. 2006. Pediatric anaphylaxis: Allergic reaction to egg applied to burns. *Journal of Emergency Nursing* 32(3): 274-276.

Herrera-Robledo M, Arenas C, Morgan-Sagastume J, Castaño V, Noyola A. 2011. Chitosan/albumin/CaCO<sub>3</sub> as mimics for membrane bioreactor fouling: Genesis of structural mineralized-EPS-building blocks and cake layer compressibility. *J Chemosphere* 84(2):191-198.

Huntington J, Stein P. 2001. Structure and properties of ovalbumin. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications* 756(2001):189-198.

Infante R. 2006. Biopolímeros. Revisado el 24 de febrero, 2015. Retomado de <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/medicina/biopolimeros.htm>.

Infante R. 2006. Polímeros biodegradables. Revisado el 24 de febrero, 2015. Retomado de <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/medicina/contactenos.htm>.

[IEH] Instituto de Estudios del Huevo. 2009. Constituyentes del huevo de gallina. [Figura 4]. Recuperado de [http://www.huevo.org.es/images/archivos/el\\_gran\\_libro\\_del\\_huevo.pdf](http://www.huevo.org.es/images/archivos/el_gran_libro_del_huevo.pdf).

[IEH] Instituto de Estudios del Huevo. 2009. El gran libro del huevo. 1ra ed. León (Madrid): Everest. Revisado el 2 de febrero, 2015. Recuperado de: [http://www.huevo.org.es/images/archivos/el\\_gran\\_libro\\_del\\_huevo.pdf](http://www.huevo.org.es/images/archivos/el_gran_libro_del_huevo.pdf).

[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>.

Jerez A, Partal P, Martínez I, Gallegos C, Guerrero A. 2007. Egg white-based bioplastics developed by thermomechanical processing. *Journal of Food Engineering* 82(2007):608-617.

Jongjareonrak A, Benjakul S, Visessanguan W, Prodpran T, Tanaka M. 2006. Characterization of edible films from skin gelatin of brownstripe red snapper and bigeye snapper. *J Food Hydrocolloids* 20(4):492-501.

Jouki M, Khazaei N, Ghasemlou M, Hadinezhad M. 2013. Effect of glycerol concentration on edible film production from cress seed carbohydrate gum. *J Carbohydrate Polymers* 96:39-46.

Khoshgozaran-Abras S, Azizi M, Hamidy Z, Bagheripoor-Fallah N. 2011. Mechanical, physicochemical and color properties of chitosan based-films as a function of *Aloe vera* gel incorporation. *J Carbohydrate Polymers* 87:2058-2062.

Kulkarni R, Mangond B, Mutalik S, Sa B. 2010. Interpenetrating polymer network microcapsules of gellan gum and egg albumin entrapped with diltiazem–resin complex for controlled release application. *J Carbohydrate Polymers* 83:1001-1007.

Lee CK, Han SS, Mo YK, Kim RS, Chung MH, Park YI, Lee SK, Kim YS. 1997. Prevention of ultraviolet radiation-induced suppression of accessory cell function of Langerhans cells by *Aloe vera* gel components. *Immunopharmacology* 37(2-3):153-62. Revisado el 15 de enero, 2015. Retomado de [http://www.medizzine.com/plantas2/aloe\\_vera.php](http://www.medizzine.com/plantas2/aloe_vera.php).

Lee R, Pranata M, Ustunol Z, Almenar E. 2013. Influence of glycerol and water activity on the properties of compressed egg white-based bioplastics. *Journal of Food Engineering* 118(2013):132-140.

López-Mata MA, Ruiz S, Silva NP. 2011. Aprovechamiento del residuo del camarón para la elaboración de recubrimientos comestibles con propiedades antioxidantes y antimicrobianas. *Ideas CONCYTEG* 6(71):552-560.

López, MT. 2004. *Aloe vera*. Actividad farmacológica, indicaciones y reacciones adversas. *Ámbito farmacéutico*. 23(9):96-100. Revisado el 14 de enero, 2015. Retomado de [http://apps.elsevier.es/watermark/ctl\\_servlet?\\_f=10&pident\\_articulo=13067351&pident\\_usuario=0&pcontactid=&pident\\_revista=4&ty=44&accion=L&origen=zonadelectura&web=www.elsevier.es&lan=es&fichero=4v23n09a13067351pdf001.pdf](http://apps.elsevier.es/watermark/ctl_servlet?_f=10&pident_articulo=13067351&pident_usuario=0&pcontactid=&pident_revista=4&ty=44&accion=L&origen=zonadelectura&web=www.elsevier.es&lan=es&fichero=4v23n09a13067351pdf001.pdf).

Martínez M, Betancourt J, Alonso N. 1996. Ausencia de actividad antimicrobiana de un extracto acuoso liofilizado de *Aloe vera* (sábila). *Revista Cubana de Plantas Médicas* 1(3):18-20.

Mecitoflu Ç, Yemenicioflu A, Arslanoflu A, Elmaçlı Z, Korel F, Çetin A. 2005. Incorporation of partially purified hen egg white lysozyme into zein films for antimicrobial food packaging. *J Food Research International* 39:12-21.

Medel AE, Ortiz JR. 2006. Estudio de factibilidad para el cultivo de sábila (*Aloe vera*) en San Luis Potosí. (Tesis de maestría, Universidad Autónoma de San Luis Potosí).

Revisado el 14 de enero, 2015. Retomado de [http://cicsa.uaslp.mx/bvirtual/tesis/tesis/Estudio\\_de\\_la\\_Factibilidad\\_para\\_el\\_Cultivo\\_de\\_Sábila\\_\(ALOE\\_VERA\)\\_en\\_San\\_Luis\\_Potosí/Estudio de Factibilidad para la Sabila.pdf](http://cicsa.uaslp.mx/bvirtual/tesis/tesis/Estudio_de_la_Factibilidad_para_el_Cultivo_de_Sábila_(ALOE_VERA)_en_San_Luis_Potosí/Estudio_de_Factibilidad_para_la_Sabila.pdf).

Miranda M, Maureira H, Rodríguez K, Vega-Gálvez A. 2008. Influence of temperature on the drying kinetics, physicochemical properties, and antioxidant capacity of *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller) gel. *Journal of Food Engineering* 91:297-304.

Moreno A, López MY, Jiménez L. 2012. *Aloe vera* (sábila): Cultivo y utilización. 2da ed. Madrid (España): Ediciones Mundi-Prensa. Revisado el 14 de enero, 2015. Retomado de <https://books.google.com.mx/books?id=3L4OtndZ2uAC&printsec=frontcover&dq=aloevera&hl=es&>.

Nafchi A, Tabatabaei R, Pashania B, Rajabi H, Karim A. 2013. Effects of ascorbic acid and sugars on solubility, thermal, and mechanical properties of egg white protein gels. *J Biological Macromolecules* 62:397-404.

Nature photos and pictures. 2008. *Aloe vera*. [Figura 1]. Recuperado de [http://www.naturephoto-cz.com/aloe-vera-photo\\_lat-10115.html](http://www.naturephoto-cz.com/aloe-vera-photo_lat-10115.html).

Pandey R, Mishra A. 2010. Antibacterial activities of crude extract of *Aloe barbadensis* to clinically isolated bacterial pathogens. *Appl Biochem Biotechnol* 160:1356-1361.

Paredes B, González S, Renduelas M, Díaz J. 2014. Innovaciones en el campo de la separación cromatográfica a escala preparativa de la ovoalbúmina de la clara de huevo y en la aplicación de sus propiedades en la elaboración de mouse de yogur. Revisado el 4 de febrero, 2015. Retomado de <http://www.institutohuevo.com/images/archivos/2002.pdf>.

Patruni KP, Srinivasa R. 2014. Rheological and structural characterization of prepared aqueous *Aloe vera* dispersions. 62:1029-1037.

Pena-Serna C, Lopes-Filho J. 2013. Influence of ethanol and glycerol concentration over functional and structural properties of zein–oleic acid films. *J Materials Chemistry and Physics*, 142(2013):580-585.

Pereda M, Moreira M, Roura S, Marcovich N, Aranguren M. 2014. Bio-películas para el envasado de alimentos: Proteínas y carbohidratos. *Ciencia e Investigación* 64(2):35-50.

Pereira R, Mendes A, Bártolo P. 2013. Alginate/*Aloe vera* hydrogel films for biomedical applications. *Procedia College International pour la Recherche en Productique (CIRP)* 5:210-215.

Rojas-Graü M, Avena-Bustillos R, Friedman M, Henika P, Martín-Belloso O, Mchugh T. 2006. Mechanical, barrier, and antimicrobial properties of apple puree edible films containing plant essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54(24):9262-9267.

Rozo A, Bermúdez A. 2003. Films preparation for food packaging obtained from faba bean (*Vicia faba*) protein concetrate. *Revista Colombiana de Química* 32(1):55-64.

[SAGARPA] Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. 2009. La sábila, una opción. México, D.F. Revisado el 14 de enero, 2015. Retomado de <http://www.sicde.gob.mx/portal/bin/nota.php?accion=buscar&notald=18325065204ffb304b0616c>

Saibuatong OA, Phisalaphong M. 2010. Novo *Aloe vera*–bacterial cellulose composite film from biosynthesis. *J Carbohydrate Polymers* 79(2):455-460.

Salgado R. 2015. ¿Biopelículas comestibles? Revisado el 24 de febrero, 2015. Retomado de [http://www.sabermas.umich.mx/archivo/secciones-anteriores/articulos/47-numero-6/93\\_ibio\\_películas-comestibles.html](http://www.sabermas.umich.mx/archivo/secciones-anteriores/articulos/47-numero-6/93_ibio_películas-comestibles.html)

Silva SS, Caridade SG, Mano JF, Reis RL. 2013. Effect of crosslinking in chitosan/*Aloe vera*-based membranes for biomedical applications. *J Carbohydrate Polymers*. 98(1):581-588.

Silva SS, Popa EG, Gomes ME, Cerqueira M, Marques AP, Caridade SG, Teixeira P, Sousa C, Mano JF, Reis RL. 2013. An investigation of the potential application of chitosan/*Aloe*-based membranes for regenerative medicine. *J Acta Biomaterialia* 9:6790-6797.

Souza P, Fernández A. 2012. Rheological properties and protein quality of UV-C processed liquid egg products. *J Food Hydrocolloids* 31:127-134.

Stevens N. 2006. *Aloe vera*. 7a ed. Málaga (España): Sirio. Revisado el 14 de enero, 2015. Retomado de <https://books.google.com.mx/books?id=9uF2tmDxB14C&printsec=frontcover&dq=aloevera&hl=es&sa=X&ei=lf8CVYOHOCqOyASSsYGABQ&ved=0CBsQ6AEwAA>.

Thomazine M, Carvalho RA, Sobral PIA. 2005. Physical properties of gelatin films plasticized by blends of glycerol and sorbitol. *Journal of Food Science* 70:172-176.

[UNA] Unión Nacional de Avicultores. 2013. Principales estados productores de huevo en México en el año 2013. [Figura 3]. Recuperado de <http://www.una.org.mx/images/yootheme/widgetkit/gallery/zoom/Estadosproductoreshuevo.jpg>

[UNA] Unión Nacional de Avicultores. 2014. Principales consumidores de huevo entero en 2012. México, D.F. Revisado el 2 de febrero, 2015. Retomado de <http://www.una.org.mx/index.php/component/content/article/2-uncategorised/19-indicadores-economicos>.

Vega A, Ampuero N, Díaz L, Lemus R. 2005. El *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller) como componente de alimentos funcionales. *Revista chilena de nutrición* 32(3):208-214.

Vélez M, Villa N. 2012. Identificación y cuantificación de antraquinonas y cromonas en plantas de *Aloe vera* cultivadas en municipios de Risaralda por cromatografía líquida de alta eficiencia. (Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica de Pereira). Revisado el 15 de enero, 2015. Retomado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/3042/1/5430894V436.pdf>.

Yadav R, Kandasubramanian B. 2013. Egg albumin PVA hybrid membranes for antibacterial application. *J Materials Letters* 110:130-133.

Yamamoto T, Juneja LR, Hatta H, Kim M. 1997. Hen eggs: Their basic and applied science. 1ra ed. Boca Raton (Florida): CRC Press.

Zapata P, Navarro D, Guillén F, Castillo S, Martínez-Romero D, Valero D, Serrano M. 2012. Characterization of gels from different *Aloe spp* as antifungal treatment: Potential crops for industrial applications. J Industrial Crops and Products 42:223-230.

## ANEXOS

### Anexo 1. Abreviaturas y Siglas

%E. Porcentaje de elongación.

0AV:100CH. Membrana control de proporción 0 % AV y 100 % CH.

30AV:70CH. Membrana de proporción 30 % AV y 70 % CH.

40AV:60CH. Membrana de proporción 40 % AV y 60 % CH.

50AV:50CH. Membrana de proporción 50 % AV y 50 % CH.

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

*Aloe-gel*. Gel de *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).

AV. *Aloe vera*.

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

BSA. Albúmina sérica bovina (bovine serum albumin).

CH. Clara de huevo.

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

CONACYT. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

CSHF. Cadena del Sector Hortofrutícola de Córdoba.

EDS. (Energy disperse X-ray).

FESC. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

FT. Fuerza de tensión.

g. Grosor.

HR. Humedad relativa.

IEH. Instituto de Estudios del Huevo.

INE. Instituto Nacional de Ecología.

kDa. Kilo Dalton.

kPa. Kilo Pascal.

L\*. Luminosidad del color en el modelo CIELAB.

L. Clasificación taxonómica de Linneo.  
M. Clasificación taxonómica de Miller.  
ME. Modulo de elasticidad.  
M<sub>f</sub>. Masa final.  
M<sub>i</sub>. Masa inicial.  
m/m. Masa/masa.  
MPa. Mega Pascal.  
PA1. Presión parcial interna.  
PA2. Presión parcial externa.  
PVA. Permeabilidad al vapor de agua.  
RTVA. Razón de transmisión del vapor de agua.  
SAGARPA. Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación.  
SEM. Microscopio electrónico de barrido (scanning electron microscope).  
T. Transparencia.  
T<sub>600</sub>. Transmitancia a 600 nm.  
UNA. Unión Nacional de Avicultores.  
UV. Ultravioleta.