



# Benemérita Universidad Autónoma de Puebla



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

COLEGIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

***Elaboración de membranas compuestas con quitosano y  
aceite de chía (*Salvia hispánica L.*)***

TESIS PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTA

HAIDE GUADALUPE GASCA BETANZOS

DIRECTOR DE TESIS:

DRA. EVA ÁGUILA ALMANZA

CO-DIRECTOR:

DRA. LILIA ALEJANDRA CONDE HERNÁNDEZ

ABRIL 2024



**BUAP**

Oficio No. FIQ/AC095//2023  
Asunto: Registro de Tema de Tesis

**C. HAIDE GUADALUPE GASCA BETANZOS**  
PASANTE DE LA LICENCIATURA EN  
INGENIERÍA AMBIENTAL  
P R E S E N T E:

Por medio del presente me permito informarle, de la aprobación del Registro de Tema de Tesis de la Licenciatura en Ingeniería Ambiental cuyo título es el siguiente:

**“Elaboración de membranas de quitosano y aceite de chia (Salvia hispánica L.)”**

Con el siguiente contenido:

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1	ANTECEDENTES
CAPÍTULO 2	METODOLOGÍA
CAPÍTULO 3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CONCLUSIONES  
BIBLIOGRAFÍA

Director de Tesis: Dra. Eva Águila Almanza.  
Co-Directora de Tesis: Dra. Lilia Alejandra Conde Hernández.

Lo cual me permito comunicarle para su conocimiento y fines consiguientes aclarando que la vigencia de este tema será **UNICAMENTE POR UN AÑO.**

Atentamente  
"Pensar Bien, Para Vivir Mejor"  
H. Puebla de Zaragoza, a 19 de Mayo de 2023

**Dra. Valeria Jordana González Coronel**  
Secretaria Académica

C.c.p. Director de Tesis: Dra. Eva Águila Almanza.  
C.c.p. Co-Directora de Tesis: Dra. Lilia Alejandra Conde Hernández.  
C.c.p. Archivo.

Facultad  
de Ingeniería  
Química

Av. San Claudio s/n, Col. San  
Manuel, Ciudad Universitaria,  
Puebla, Pue. C. P. 72590  
01 (222) 229 55 00  
Exts. 7250 y 7251



**Autorización de Impresión de Tesis**

- Ingeniería Química ( )
- Ingeniería Ambiental (X)
- Ingeniería en Alimentos ( )
- Ingeniería en Materiales ( )

Matrícula: 201324985





Al C. Sustentante Haide Guadalupe Gasca Betanzos

De acuerdo a la presentación y revisión de la tesis:

Elaboración de membranas de quitosano y aceite de chía (*Salvia hispánica L.*)

se aprueba la impresión y empastado de la misma.

**Jurado de examen profesional:**

		Firma
<b>Presidente:</b>	Dr. Heriberto Hernández Cocoltzi	
<b>Secretario:</b>	M.I.A. Miriam Vega Hernández	
<b>Vocal:</b>	Dra. Eva Águila Almanza	
	Dra. Lilia Alejandra Conde Hernández	

Fecha de examen: Jueves 23 de mayo de 2024

H. Puebla de Zaragoza a 25 de abril de 2024.

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero agradezco a mis padres Adriana Betanzos y Miguel Ángel Gasca, sin su guía, apoyo e infinito amor jamás hubiera llegado hasta aquí.

A mis hermanas Michelle y Sarahit Gasca, por alentarme a cumplir mis sueños, por sus consejos y amor.

A mi esposo David Martínez, por su apoyo, paciencia, dedicación y amor

A mi hijo Adonis Martínez, por ser mi alegría, la luz de mi vida y mi fortaleza.

Por último, agradecer a mi casa a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, la cual me formo y oriento profesionalmente, a la Dra. Eva Águila Almanza y la Dra. Lilia Alejandra Conde Hernández por apoyarme, enseñarme y alentarme en la elaboración de este trabajo. Así como al Dr. Heriberto Hernández Cocolletzi y la M.I.A. Miriam Vega Hernández por su tiempo, aportaciones y retroalimentación en este trabajo.

# CONTENIDO

<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	1
<b>OBJETIVOS</b> .....	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos .....	2
<b>HIPÓTESIS</b> .....	2
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	3
<b>CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO</b> .....	4
1.1 Chía (Salvia hispánica L) .....	4
1.2 Composición química de la chía .....	6
1.3 Aceite de chía .....	7
1.4 Quitosano.....	10
1.5 Impacto ambiental .....	15
1.6 Membranas .....	17
<b>CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA</b> .....	23
2.1 Materiales, equipo y reactivos .....	23
2.2 Aceite de chía.....	24
2.2 Determinación de rendimiento.....	25
2.3 Densidad del aceite de chía .....	25
2.4 Preparación de membranas quitosano-chía .....	25
2.5 Espesor de las membranas.....	26
2.6 Factor de hinchamiento.....	26
2.7 Espectroscopía de FTIR .....	27
<b>CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	28
3.1 Aceite de chía.....	28
3.2 Rendimiento del aceite de chía .....	28
3.3 Densidad de aceite de chía .....	28
3.4 Membranas quitosano-chía.....	28
3.5 Espesor y factor de hinchamiento de las membranas .....	29
3.6 Espectroscopía FTIR .....	30
3.7 Aplicación de las membranas y pruebas preliminares. ....	38
<b>CONCLUSIONES</b> .....	40
<b>REFERENCIAS</b> .....	41

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

- AE:** Aceite esencial
- ALA:** ácido alfa-linolénico
- APM:** Alto peso molecular
- BUAP:** Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
- BPM:** Bajo peso molecular
- °C:** grados Celsius
- EA:** Estado acuoso
- FIQ:** Facultad de Ingeniería Química
- FTIR:** infrarrojos por transformada de Fourier
- g:** Gramos
- h:** hora(s)
- IR:** Infrarrojo
- min:** minutos
- mm:** Milímetro
- MPM:** Medio peso molecular
- msnm:** metros sobre nivel del mar
- NI:** No presenta información
- PM:** Peso molecular
- Q:** quitosano

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Semilla de chía.....	4
Figura 2. Aceite de chía.....	9
Figura 3. Estructura química del ácido alfa linolénico.....	10
Figura 4. Estructura química del ácido linoleico.....	10
Figura 5. Relación estructural entre quitina y quitosano .....	11
Figura 6. Esquema de la obtención de quitosano.....	12
Figura 7. (a) molécula de quitina; (b) molécula de quitosano .....	12
Figura 8. Exoesqueletos de camarón.....	15
Figura 9. Membrana.....	17
Figura 10. Quitosano obtenido en la FIQ BUAP .....	23
Figura 11. Extractor de semillas eléctrico .....	24
Figura 12. Micrómetro .....	26
Figura 13. Espectrofotómetro FTIR en FIQ BUAP .....	27
Figura 14. Membranas de quitosano y aceite de chía.....	29
Figura 15. Factor de hinchamiento.....	30
Figura 16. Espesor de membranas de quitosano y aceite de chía.....	30
Figura 17. FTIR quitosano FIQ BUAP .....	31
Figura 18. Estructura molecular del quitosano .....	32
Figura 19. FTIR de aceite de chía FIQ BUAP. ....	32
Figura 20. Espectro FTIR del blanco .....	33
Figura 21. Espectro FTIR de membrana al 1% .....	34
Figura 22. Espectro FTIR de membrana al 3% .....	35
Figura 23. Espectro FTIR de membrana al 5% .....	36
Figura 24. Espectros FTIR de membranas Q/Ch .....	38
Figura 25. Diagrama de aplicación preliminar .....	38
Figura 26. Frutos de zarzamora recubiertos con membranas de Q/Ch .....	39

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Composición química de la semilla de chía .....</b>	<b>6</b>
<b>Tabla 2. Propiedades del aceite de chía .....</b>	<b>9</b>
<b>Tabla 3. Propiedades funcionales del quitosano .....</b>	<b>14</b>
<b>Tabla 4. Distribución de compuestos en los exoesqueletos de camarón .....</b>	<b>16</b>
<b>Tabla 5. Relación de artículos .....</b>	<b>19</b>
<b>Tabla 6. Equipos usados para la obtención de membranas.....</b>	<b>23</b>
<b>Tabla 7. Análisis visual del aceite de chía .....</b>	<b>28</b>
<b>Tabla 8. Resultados del factor de hinchamiento y espesor.....</b>	<b>29</b>
<b>Tabla 9. Grupos funcionales y número de onda .....</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 10. Análisis del espectro FTIR de aceite de chía.....</b>	<b>32</b>
<b>Tabla 11. Análisis del espectro FTIR del blanco .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 12. Análisis de espectro FTIR de la membrana al 1%.....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 13. Análisis de espectro FTIR de la membrana al 3%.....</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 14. Análisis de espectro FTIR de la membrana al 5%.....</b>	<b>36</b>

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años se ha investigado y se revalorizado el uso de membranas naturales a base de quitosano aplicables en las diferentes industrias de los alimentos, cosméticos, farmacéuticos, biomédicos, agricultura, ambiental, entre otras. Esto se debe a que el quitosano es un polímero natural que se obtiene a partir de la desacetilación de la quitina obtenida de los exoesqueletos de crustáceos, los cuales no tienen un segundo uso y tienen un impacto ambiental importante. (Quintana Vásquez, 2015)

Se busca utilizar los exoesqueletos debido a que en su composición química hay presencia de quitina, los cuales son sometidos a un tratamiento químico para obtener el quitosano y así darles un segundo uso evitando al aporte de un impacto negativo. Después, obtener membranas de quitosano que se enriquecen con aceite de chía, y evaluar cuáles son sus propiedades y posibles aplicaciones.

El interés de usar membranas de quitosano enriquecidas con aceite de chía es muy relevante, ya que son mezclas complejas de compuestos orgánicos, con diferentes características y aplicaciones industriales.

En la elaboración de las membranas, ambos compuestos se obtienen con procesos sustentables y aportan a la alta demanda de productos naturales que pretenden generar menos contaminantes y menos residuos.

Teniendo esto en cuenta ambos productos son de fácil acceso, el quitosano es un copolímero catiónico que se caracteriza por su elevado número de grupos amina y su solubilidad en medio ácido, haciéndolo una sustancia de gran interés, así como su presencia en los crustáceos como cangrejos, camarones, jaibas etc., y en la pared celular de los hongos (Beil, 2012).

El segundo producto utilizado es la semilla de chía (*Salvia hispánica L.*), que es una fuente interesante ya que su aceite presenta un elevado contenido de ácidos grasos esenciales.

Las principales características de estos productos es que ambos son inocuos, biodegradables y no tóxicos. Por ello se preparan membranas con ambas

sustancias para evaluar su posible aplicación en función de las propiedades fisicoquímicas que presentan.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Obtener membranas de quitosano enriquecidas con aceite de chía (*Salvia hispánica L.*)

### **Objetivos específicos**

1. Extraer aceite de chía (*Salvia hispánica L.*) por el método de prensado en frío.
2. Obtener membranas de quitosano y aceite de chía (*Salvia hispánica L.*)
3. Caracterizar las membranas obtenidas.

## **HIPÓTESIS**

Las membranas de quitosano enriquecidas con aceite de chía tienen aplicación en el sector alimentario.

## JUSTIFICACIÓN

La combinación de aceite de chía y quitosano para la fabricación de membranas es un enfoque innovador que podría tener aplicaciones interesantes en varios campos, dadas las propiedades únicas de ambos materiales.

El aceite de chía (*Salvia hispánica* L.) es conocido por su alto contenido de ácidos grasos omega-3, antioxidantes y otros compuestos beneficiosos para la salud. Al combinar este aceite con quitosano, se pueden crear membranas con propiedades mejoradas, aprovechando la biocompatibilidad, biodegradabilidad y propiedades antimicrobianas del quitosano.

El desarrollo de estas membranas implica la estandarización de un método para la extracción del aceite y la elaboración de las membranas, a diferentes concentraciones de aceite de chía. Los resultados de este trabajo podrían tener un impacto significativo en áreas como la conservación de alimentos, la cosmética, la medicina y la industria textil.

## CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 Chía (*Salvia hispánica L.*)

Se origina en el sur de México y norte de Guatemala, es una de las especies que se cosecha durante todo el año, y pertenece de acuerdo con su clasificación a la familia Lamiaceae.

Su hábitat comprende en lugares de alto relieve, con clima templado y cálido. La altitud ideal para estos cultivos se determina en rangos de 1400 – 2200 msnm, por motivo que las zonas demasiado altas provocarían la pérdida de cultivo, por sus bajas temperaturas.

Las semillas de chía (Figura 1) tiene como propiedades principales la aportación fibra y antioxidantes, mientras que el aceite de la semilla presenta un gran contenido de ácidos grasos esenciales para la salud humana, cuya incorporación en la dieta permite disminuir la influencia de enfermedades coronarias, así como otras enfermedades (diabetes, síndrome metabólico, enfermedades de la piel, procesos inflamatorios, desórdenes del sistema inmunológico, cáncer, depresión) (Quintana, 2015) .



**Figura 1. Semilla de chía.**

Para los aztecas y mayas representó un grano importante ya que era usada para la alimentación, preparación de pinturas, elaboración de medicinas y en uso ceremonial mediante ofrendas (Hernández, 2008). Los numerosos usos culinarios,

medicinales, artísticos y religiosos convirtieron al grano y su harina en las materias primas más usadas de la época de la conquista española, formando parte de los cuatro granos más importantes: maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), chía (*Salvia hispánica*) y amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) los cuales conformaron la base de la dieta alimentaria (Cahill, 2004) .

Las semillas de chía (*Salvia hispánica L.*) se han reintroducido en las dietas con la finalidad de mejorar la salud humana, recomendándose por sus altos niveles de proteínas, antioxidantes, fibra dietética, vitaminas y minerales (calcio, potasio, magnesio, fósforo, selenio, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, sodio y zinc), pero sobre todo por su alto contenido de aceite omega 3 en comparación con otras fuentes naturales conocidas hasta la fecha (Guiotto et al., 2013) .

En este sentido, las semillas de chía son el recurso natural de origen vegetal con mayor contenido de ácidos grasos (60% de ácidos grasos totales del aceite). Estas características nutricionales dirigen a un creciente interés por este cultivo y por los productos obtenidos como la harina, aceite y el mucilago, así como su potencial aplicación en la industria alimentaria (Xingú López et al., 2017) .

### **Descripción de la semilla de chía**

La chía se consideraba una de las semillas más necesarias en la alimentación, por la energía que les brindaba para realizar los trabajos, se consumió más que otros tipos de cereales, por su gran contenido nutritivo. Se ingiere, en semillas enteras, harina y aceite (Carrillo et al., 2017) .

*Salvia hispánica L.* es una planta herbácea anual, de 1 a 1.5 m de altura, el peso de 1 000 semillas varía entre 0.94 y 1.29 g (Bueno et al., 2010). La forma de la semilla es ovalada de cobertura muy lisa, con pequeñas líneas de color blanco. Sus medidas comprenden en lo ancho de 1 a 1.2 mm y el largo es de 2 a 2.2 mm. Prefiere suelos ligeros a medios, bien drenados, no demasiado húmedos, es tolerante respecto a la acidez y a la sequía, pero no soporta las heladas. Requiere abundante sol, y no florece en la sombra (Silveira et al., 2018).

México cuenta con las condiciones ambientales óptimas para la producción de chía en condiciones de temporada, encontrando estas condiciones óptimas principalmente, en tierras bajas y de altitud intermedia, lo que demuestra que las condiciones climáticas de las zonas entre 0 y 2200 msnm cumplen con los requerimientos agroclimáticos de la especie (Orozco et al., 2014) .

La producción en México en 2017 fue de 7 mil toneladas, concentrándose principalmente en Jalisco y Puebla.

En Jalisco la producción se centra en los municipios de: Acatic, Cuquío, Ixtlahuacán del Río y Jamay, mientras en Puebla los municipios productores son: Atzitzihuatlán, Huaquechula, San Felipe Tepemaxalco y Tochimilco (Xingú López, 2017).

## 1.2 Composición química de la chía

La semilla de chía está compuesta de nutrientes, vitaminas, antioxidantes y ácidos grasos. La cantidad y calidad de los componentes puede variar según el sitio de cultivo, condiciones ambientales, disponibilidad de nutrientes en el suelo, año de cultivo, tipo de suelo, tiempo de recolección, almacenamiento, entre otros factores.

La chía es un alimento completo y funcional por su contenido de antioxidantes (ácido clorogénico, ácido caféico, miricetina, quercetina y kaempferol flavonoles) y por no contener gluten.

La chía es aprovechada de diferentes formas para su consumo o uso humano, como lo es la semilla, aceite y harina. Cabe mencionar que estas tres presentaciones tendrán una variante en su valor nutricional y su composición química. La semilla de chía contiene un porcentaje bajo de humedad, contiene gran cantidad de lípidos y fibra como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1. Composición química de la semilla de chía (Jiménez et al., 2013)**

Parámetro	%
Humedad	6.2 ± 0.0
Proteínas	19.9 ± 0.2

<b>Grasas</b>	27.9 ± 0.4
<b>Carbohidratos</b>	8.6 ± 0.3
<b>Fibra</b>	33.0 ± 0.5

Dentro de sus componentes destaca el gran aporte de ácidos grasos (30%), principalmente poliinsaturados, donde un 60% de los ácidos grasos corresponden a ácido alfa-linolénico (omega 3), seguido por un 20% de ácido linoléico (omega 6).

El aporte proteico es de 16-26%, que incluyen aminoácidos esenciales como arginina, leucina, fenilalanina, entre otros. Un 20-40% corresponde a fibra encontrada en la semilla de chía, compuesta principalmente por celulosa, pectina, hemicelulosa, lignina, polisacáridos y oligosacáridos. Las vitaminas contenidas en la semilla corresponden principalmente a vitaminas del complejo B, tales como tiamina (B1), riboflavina (B2), niacina (B3) y ácido fólico, y minerales como calcio, fósforo, magnesio, potasio, selenio, hierro, cobre y zinc, así como antioxidantes (Mosquera Quelal, 2017).

La composición química del aceite de chía se caracteriza por presentar un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados ácido linoléico (17-26%) y alfa-linolénico (60%) y de bajo contenido en ácidos grasos saturados (mirístico, palmítico y esteárico), además de aportar ácidos grasos esenciales.

### **1.3 Aceite de chía**

El aceite de chía se puede obtener por diferentes métodos como el prensado en frío de la semilla, garantizando un aceite con un gran porcentaje de pureza, natural, libre de contaminantes y obtenido de manera limpia. Es una fuente natural para obtener omega 3, siendo más o menos 60% del aceite, también tiene sustancias bioactivas y antioxidantes, haciendo del aceite un producto muy particular.

Dentro de las ventajas del prensado en frío es que no se requiere de personal especializado, proporciona aceites de buena calidad, produce buenos rendimientos en el proceso de extracción de aceites, adecuada producción y económica.

El tipo de omega 3 que se encuentra en el aceite de chía es el ácido alfa-linolénico (ALA), sabemos que el cuerpo humano es incapaz de producir estos aminoácidos, siendo así, debe de ser adquirido a través de los alimentos.

Basándose en la evidencia de estudios dietéticos en humanos con ALA, un adulto puede cubrir su requerimiento de omega 3 con solo 2 ml/día de aceite de chía.

Existen estudios científicos que respaldan que el ALA del aceite de chía es beneficioso para la salud cardiovascular, mejora el perfil de los colesterolos, reduce la inflamación y los triglicéridos. Además, durante el embarazo la madre se beneficia en gran medida del aceite de chía como suplemento, para cubrir todas sus necesidades y las de su bebé ([Valenzuela, 2012](#)).

El aceite de chía es de color ámbar como se muestra en la Figura 2, por su manera de extracción (prensado en frío) conserva muchos nutrientes esenciales.

Como características organolépticas de este aceite, tiene olor y sabor característico de la chía, y su textura es viscosa. También podemos descartar la presencia de metales pesados debido a que su extracción la cual no conlleva ningún proceso químico. ([Procesadora de Ingredientes, 2020](#)).



**Figura 2. Aceite de chía** (Cariño, 2024)

En la Tabla 2 se muestran las propiedades y las condiciones de almacenamiento del aceite de chía, la cual recomienda conservar a una temperatura entre 10°C a 20°C, así como su vida de anaquel es de aproximadamente 12 meses después de su producción en condiciones adecuadas de almacenamiento (Shen et al., 2018).

**Tabla 2. Propiedades del aceite de chía** (Procesadora de Ingredientes, 2020)

<b>Aceite de chía</b>			
<b>Descripción</b>	Aceite extraído del prensado en frío de las semillas de chía, decantado y filtrado sin conservantes y aditivos.		
<b>Características organolépticas</b>		<b>Conservación y almacenamiento</b>	
<b>Olor</b>	Olor tenue a chía	<b>Tipo de conservación</b>	Ambiente fresco
<b>Color</b>	Color amarillo claro/ ámbar	<b>Temperatura</b>	Menos de 25 °C
<b>Sabor</b>	Sabor tenue a chía	<b>Condiciones de almacenamiento</b>	Lugar fresco, sin ser expuesto a luz solar directa
<b>Textura</b>	Líquido denso (aceite)		
<b>Otros</b>	Exento de sustancias extrañas, insectos, contaminantes	<b>Vida útil</b>	12 meses

El punto de humo en un aceite se considera la temperatura en la que un aceite cambia sus propiedades y se puede considerar peligroso para la salud

humana. El valor del punto de humo del aceite de chía es de 185 °C, el cual indica que es un aceite no adecuado para freír u otros procesos que conlleven altas temperaturas.

Con la información recolectada sabemos que el aceite de chía se compone de 2 principales ácidos grasos los cuales son ácido alfa linolénico (omega-3) que representa aproximadamente el 60% del aceite, seguido del ácido linoleico (omega 6) que representa el 20% total, ambas estructuras moleculares son presentadas en las Figuras 3 y 4.

### ácido alfa linolénico

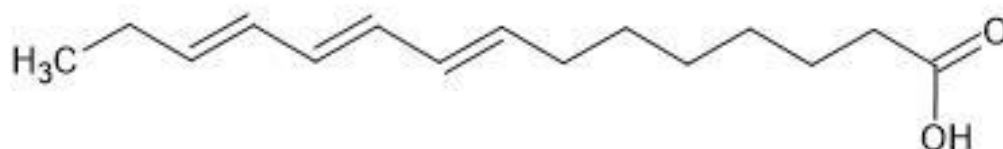


Figura 3. Estructura química del ácido alfa linolénico

### ácido linoleico

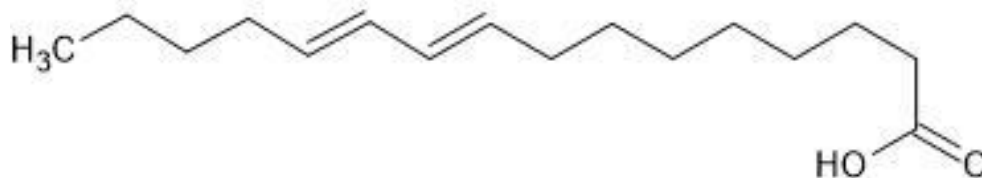
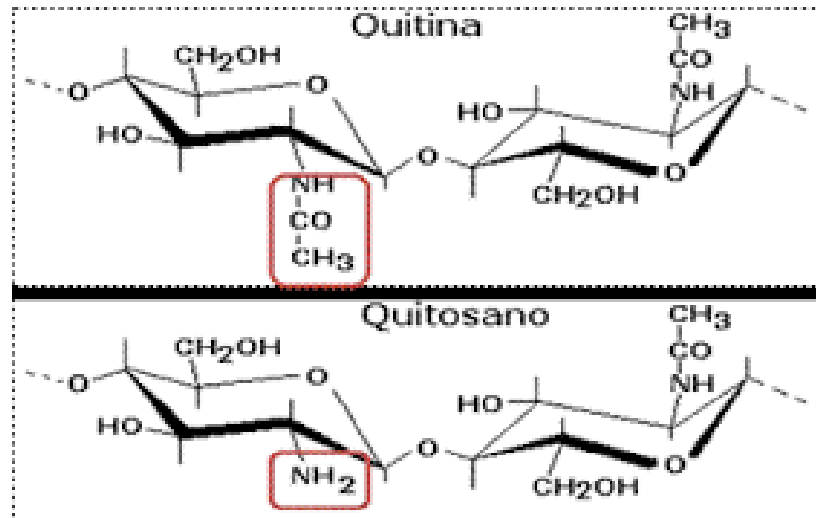


Figura 4. Estructura química del ácido linoleico

## 1.4 Quitosano

El quitosano es un biopolímero de gran importancia debido a su bajo impacto ambiental, está compuesto por unidades monoméricas de β-D-glucosamina y N-acetil-glucosamina distribuidas aleatoriamente como se observa en la Figura 5 (Morún, 2011).

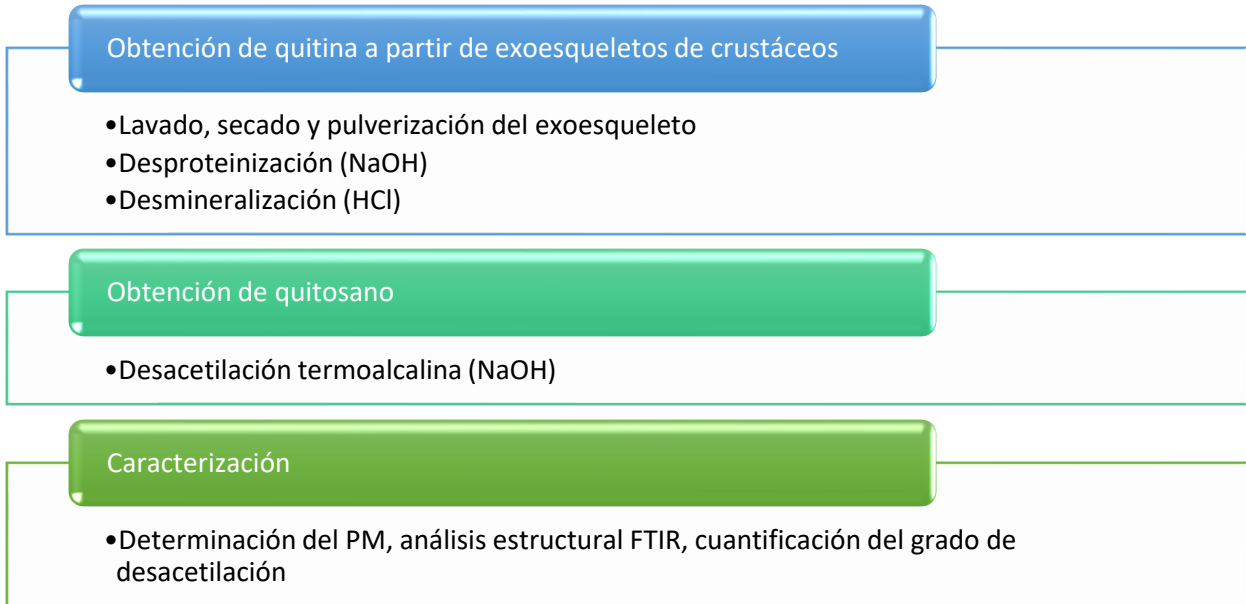


**Figura 5. Relación estructural entre quitina y quitosano. (Hernández et al., 2021)**

El quitosano se deriva por desacetilación de quitina que se encuentra principalmente de forma natural en los exoesqueletos de crustáceos, también se le puede encontrar conformando las paredes celulares de plantas y hongos, así como en algunos insectos.

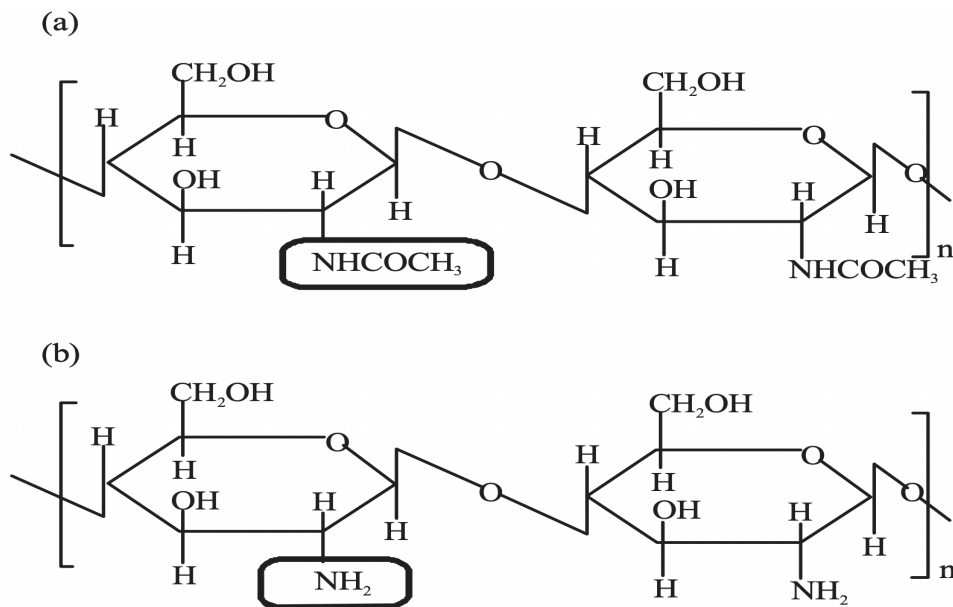
Mediante un proceso de desacetilación química o enzimática a la quitina permite obtener quitosano a gran escala, por ende, es de una gran importancia industrial debido a sus propiedades singulares como no tóxico, biodegradable y biocompatible. (Velásquez, 2006).

En la Figura 6 se muestran las etapas del proceso de obtención del quitosano a partir de exoesqueletos de camarón, realizado en el laboratorio de biomateriales de la FIQ BUAP.



**Figura 6. Esquema de la obtención de quitosano.** (Águila Almanza et al., 2009)

La desacetilación con un tratamiento alcalino a altas concentraciones de solución (40-50%) favorece la eliminación de los grupos acetilo (Figura 7) (Velásquez, 2006).



**Figura 7. (a) molécula de quitina; (b) molécula de quitosano.** (Aleem et al., 2018)

El grado de acetilación es uno de los parámetros estructurales más importantes de la quitina y del quitosano. La quitina pura (100% acetilada) y el quitosano (>50 % desacetilado) son productos que apenas se presentan como tales. Es por ello frecuente referirse a la quitina como producto en el que la mayoría de los grupos amina están libres. El quitosano comercialmente disponible contiene un 15-20% de grupos acetilados. Por la gran diferencia de propiedades entre los grupos amina y acetamida, el grado de acetilación de estos polímeros puede ser determinado a través de una gran variedad de métodos químicos y físicos como la espectroscopia de infrarrojo, análisis elemental, termogravimetría, entre otros métodos ([Guillén et al., 1996](#)).

Muchas de sus aplicaciones se ven afectadas por su escasa solubilidad a pH neutro o alcalino, debido a su estructura cristalina muy estable derivada de enlaces de hidrogeno muy fuertes, esto se puede superar por la despolimerización parcial y cambios químicos del polímero, generando derivados solubles en agua. Sus modificaciones químicas se deben a sus grupos funcionales que son amina, acetamido e hidroxilo ([Lamarque et al., 2007](#)).

Aunque las estructuras moleculares de la quitina y el quitosano parecen bastante similares, las características físicas y las reacciones químicas que experimentan suelen ser muy distintas. Ambos polímeros poseen grupos hidroxilo y amina reactivos, pero el quitosano suele ser menos cristalino que la quitina, lo que hace que el quitosano sea más accesible a los reactivos. Después del calentamiento, se descomponen antes de la fusión, por lo que estos polímeros no tienen puntos de fusión ([Kurita, 2006](#)).

Como se muestra en la Tabla 3, el quitosano es un biopolímero natural que presenta propiedades funcionales importantes.

**Tabla 3. Propiedades funcionales del quitosano. (Pino, 2015)**

Propiedades	Descripción
<b>Biológicas</b>	Biodegradable Biocompatible Polímero Natural No tóxico
<b>Químicas</b>	Poliamina lineal Grupos amino reactivos Grupos hidroxilo reactivos

Muchas de estas características van a depender del peso molecular, el cual representa una medida del tamaño de las cadenas presentes en una molécula de quitosano, y tiene efectos en su funcionalidad, por ejemplo, el descenso del peso molecular provoca la reducción de los coeficientes de hinchamiento. (Agulló et al., 2004). En función de su peso molecular, el quitosano puede utilizarse como espesante, regulador de la viscosidad o estabilizador.

El quitosano se comercializa como un compuesto de bajo, medio y alto peso molecular, con valores medios de 120, 400 y 600  $g/mol$ , respectivamente (Dutta et al., 2004).

Dentro de las aplicaciones más importantes que tiene el quitosano debido a sus propiedades físicas, químicas y biológicas son:

- **Agricultura**
  - Recubrimiento de semillas con películas de quitosano para su conservación durante el almacenamiento.
  - Sistemas liberadores de fertilizantes.
  - Agente bactericida y fungicida para la protección de plántulas (inicio de las plantaciones).
- **Tratamiento de aguas**
  - Coagulante primario para aguas residuales de alta turbidez y alcalinidad

- Floculante para la remoción de partículas coloidales sólidas y aceites de pescado.
- Captura de metales pesados y pesticidas en soluciones acuosas.

## 1.4 Impacto ambiental

La industria de crustáceos es enorme a nivel mundial, debido a su alta demanda entre la población; entre los productos más demandados se encuentra el camarón, ya que es el de menor costo. La pesca de camarón es de los sectores con gran crecimiento evaluado en 2020, donde tuvo una producción mundial de 5 millones de toneladas. Este sector industrial es de los menos eficientes, debido a que cerca del 70% del peso del camarón se convierte en residuo (Figura 8), debido a la falta de algún tratamiento se convierte en desecho que es vertido en los rellenos sanitarios, dentro de estos desechos se encuentra el exoesqueleto, la cabeza y la cola del camarón.



**Figura 8. Exoesqueletos de camarón** (Bojórquez et al., 2020)

Desafortunadamente en México los residuos de camarón son considerados basura, debido a la incorrecta disposición, siendo desechados en los rellenos sanitarios teniendo como consecuencia daños ambientales como la lixiviación, el mal olor, entre otros.

Se sabe que los residuos de camarón poseen una gran cantidad de lípidos, proteínas y quitina, que son compuestos con un gran valor industrial, por lo que es considerado una fuente de alto valor agregado que es desaprovechada.

La Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (FAO) registró en 2017 que el 9.8% de la producción de alimentos marinos son crustáceos, ocupando el primer lugar el camarón (Hamed et al., 2016).

México produjo 227 mil toneladas de camarón, estimando 100 mil toneladas de desechos, mientras que en el estado de Puebla se estiman 5 toneladas diarias de desechos, con estos datos se demuestra que se genera un impacto ambiental negativo debido al poco interés de la correcta disposición de residuos. Teniendo esto en cuenta y al intentar generar un menor impacto se han realizado estudios para poder conocer mejor cual es la composición de estos desechos, y así poder implementarlas estrategias para su mayor aprovechamiento. Aunque estos residuos son biodegradables por su naturaleza, tardan muchos años en descomponerse (FAO, 2018).

Se conoce que los residuos de camarón tienen varios compuestos, sin embargo, estos pueden variar como se muestra en Tabla 4 según la especie, procedimiento de obtención, etc.

**Tabla 4. Distribución de compuestos en los exoesqueletos de camarón.**  
(Bojórquez et al., 2020)

Compuesto	Porcentaje (%)
Proteínas	35- 50
Quitina	15- 20
Minerales	10- 15
Lípidos	2- 7
Pigmentos	1- 5

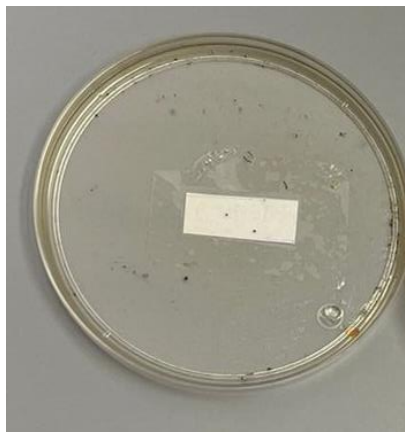
Se puede observar que entre los componentes del camarón se distingue la quitina como el segundo más concentrado, la cual es la encargada de dar rigidez a la estructura del crustáceo.

En base a lo que se ha reportado en la literatura, se sabe que el quitosano es un biopolímero utilizado en la industria como floculante, repelentes de plagas, aditivo alimentario, conservador, agente antimicrobiano y antifúngico. Este polímero es promotor de crecimiento durante el cultivo y ayuda a la estimulación de defensa contra microorganismos causantes de enfermedades en las cosechas.

Desafortunadamente México no aprovecha los desechos de camarón industrialmente, así desaprovechando una gran área de oportunidad de desarrollo económico y ambiental ([Bojórquez et al., 2020](#)).

## 1.5 Membranas

Una membrana es una estructura natural o artificial (Figura 9) elástica o no, que separa dos medios diferentes, las membranas son barreras físicas que permiten la separación de los medios, posibilitando el movimiento de diferentes componentes a través de esa barrera física mediante un método selectivo, posibilitando el paso de algunos componentes a través de ella, y restringiendo el paso de otros ([Cota et al., 2017](#)).



**Figura 9. Membrana**

Para que la separación se pueda realizar, la membrana debe ser sensible a varias propiedades moleculares o fisicoquímicas de los componentes, por lo que la membrana deberá tener ciertas propiedades químicas o de estructura (Espinosa, 2022).

La tecnología de membranas se ha desarrollado para realizar procesos de separación y concentración de mezclas líquidas o gaseosas. Sin embargo, las membranas tienen otras aplicaciones importantes como biomateriales, catalizadores, almacenamiento de energía, separación de CO<sub>2</sub>, entre otras (Garza, 2022).

El uso de membranas en la industria alimentaria, especialmente en productos altamente perecederos, se basa en ciertas características tales como costo, disponibilidad, atributos funcionales, propiedades mecánicas (tensión y flexibilidad), propiedades ópticas (brillo y opacidad) y su aceptabilidad sensorial.

En el caso del quitosano, la permeabilidad selectiva a los gases y las excelentes propiedades mecánicas hacen que sea un excelente material formador de membranas. Algunos estudios han mostrado que la concentración de quitosano es el factor que afecta de mayor manera el espesor de una membrana y la permeación. El espesor es de gran importancia para el soporte, la resistencia y la transferencia de masa. Por lo general las membranas de quitosano, son elaboradas mediante el método de evaporación de la solución (Mata et al., 2012).

Las membranas basadas en quitosano se han usado para mejorar la vida útil de los alimentos. De igual manera se ha informado que la adición de aceites a membranas y recubrimientos comestibles puede prolongar la vida de anaquel de los productos alimenticios al reducir el deterioro microbiano y preservar la calidad del producto. Por ejemplo, Cota et al. (2017) reporta membranas de quitosano adicionadas con aceite de *Melaleuca alternifolia*, *Rosmarinus officinalis* y glicerol como un compuesto bioactivo para su posible uso en la salud humana. Otros autores como Mata-López et al. (2012) utiliza membranas de quitosano, aceite de canela y glicerol para la conservación de fresas en un ambiente controlado en Sonora, México. Otros autores como Mateos et al., (2023) en la ciudad de Veracruz,

México; utiliza membranas enriquecidas con aceite esencial de cítricos para conservar papaya postcosecha, en este artículo intenta prevenir la aparición del hongo *Colletotrichum gloeosporioides*.

Los artículos mencionados, obtuvieron el quitosano a partir de la desacetilación de crustáceos, obteniendo diferentes grados de desacetilación, así como diferente peso molecular.

En la tabla 5, se recolecta la información sobre la aportación que existe de la aplicación de membranas de quitosano enriquecidas con diferentes compuestos para optimizar algunos resultados, como la firmeza, control microbiológico, entre otros aspectos fisicoquímicos.

**Tabla 5. Relación de artículos**

Fruto	Composición de la membrana	PM/GDA del quitosano	Aplicación	Observación	Referencia
Fresa	Q2% hoja de <i>Moringa oleifera</i> 1%	NI/75-78%	Recubiertas con brocha y secado con aire frío por 10 min, almacén a 4°C.	Mayor dulzura, menor acidez.	Madera et al., 2019
Pepino	Q3%, aceite de canela 0.25%	MPM/75-85%	Inmersión durante 2 min y secado en condiciones ambientales, almacén 10 °C.	Extiende vida de anaquel, estabilidad microbiológica.	Mohammadi et al., 2015
Fresa	Q2 %, proteína de quinoa a 18%, aceite de girasol a 2.9 %	NI/NI	Inmersión durante 1 min y secado en estufa con aire forzado durante toda la noche, almacén a 0 °C.	Reducción en emisión de CO <sub>2</sub> , mantenimiento de calidad sensorial.	Valenzuela et al., 2015
Arándano	Q2 %, hoja de arándano al 8%	NI/ ≥ 90 %	Inmersión durante 15 s y secado en condiciones ambientes durante 30 min, almacén a 2 °C.	Retrasa maduración y mayor capacidad antioxidante.	Yang et al., 2014

<b>Fresa</b>	Q1 %, aceite esencial de limón al 3%	APM/ 75.6%	Inmersión durante 1 min y secado en condiciones ambiente durante 1 h, almacén a 5 °C.	Preserva calidad, menor incidencia de moho gris, la presencia de AE de limón altera el aroma de la fresa.	Perdones et al., 2012
<b>Fresa</b>	Q2 %, aceite esencial de canela: 0.1 %	128 kDa /66 %	Inmersión durante 90 s y secado con aire caliente para eliminar exceso de la solución, almacén a 5 °C.	Reducción en crecimiento bacteriano, mayor vida de anaquel.	López-Mata et al., 2012
<b>Mango (cubos)</b>	Q2 %, aceite esencial de naranja y limón al 1%	NI/NI	Inmersión durante 10 min y secado en condiciones durante 1 h, almacén a 4 °C.	Reducción en la cuenta viable de coliformes, psicrófilos, mohos y levaduras.	Rico et al., 2012
<b>Fresa</b>	Q1 %, almidón de yuca: 2 %	NI/ 98 %	Inmersión durante 1 min y secado en condiciones ambiente durante 3 h, almacén a 10 °C.	Mejor apariencia.	Campos et al., 2011
<b>Pimiento morrón</b>	Q1 %, aceite esencial de canela al 0.25%	NI/ ≥ 95 %	Inmersión durante 5 min y secado con ventilador durante 50 min, almacén a 8 °C.	Mayor contenido de clorofila, mejora atributos sensoriales.	Xing et al., 2011

<b>Jujube</b>	Q1%, aceite esencial de canela al 0.75 %	NI/ ≥ 95 %	Inmersión y secado en condiciones ambiente, almacén a 4 °C.	Reduce actividad de enzima polifenol oxidasa.	Xing et al., 2011
<b>Uva</b>	Q1%, EA semilla de uva al 0.1%	NI/NI	Inmersión durante 1 min y secado en condiciones ambiente durante 1 h, almacén a 15 °C.	Mantiene calidad general, reduce incidencia de moho gris.	Xu et al., 2007

Al momento, no hay reportes de membranas quitosano/chía, por lo que su obtención representa una oportunidad de posibles aplicaciones como:

- Embalaje de alimentos: Las membranas de quitosano y aceite de chía podrían utilizarse para crear películas comestibles o recubrimientos para la preservación de alimentos, prolongando su vida útil.
- Aplicaciones médicas: Las membranas podrían usarse como materiales de curación de heridas o vendajes debido a sus propiedades antimicrobianas y su capacidad para mantener la humedad.
- Industria textil: Las nanofibras producidas a partir de esta combinación pueden tener aplicaciones en la fabricación de tejidos con propiedades funcionales, como resistencia a los microorganismos o capacidad de absorción.

Considerando las propiedades fisicoquímicas de:

- Biodegradabilidad: Tanto el aceite de chía como el quitosano son materiales biodegradables, lo que hace que las membranas resultantes sean amigables con el medio ambiente.
- Propiedades antimicrobianas: El quitosano posee propiedades antibacterianas y antifúngicas naturales, que podrían potenciarse con los antioxidantes presentes en el aceite de chía.
- Flexibilidad y resistencia: La combinación de ambos materiales puede dar lugar a membranas flexibles pero resistentes, lo que las hace adecuadas para aplicaciones en empaques y recubrimientos.
- Propiedades antioxidantes: El aceite de chía es rico en antioxidantes, lo que podría conferir a las membranas una mayor capacidad para prevenir la oxidación y el deterioro de alimentos u otros productos.

## CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Materiales, equipo y reactivos

En la Tabla 6, se presentan los materiales, equipo y reactivos utilizados para el desarrollo de la tesis.

**Tabla 6. Equipos usados para la obtención de membranas**

MATERIALES	EQUIPO	REACTIVOS
<ul style="list-style-type: none"><li>○ Vasos de precipitados</li><li>○ Agitadores magnéticos</li><li>○ Termómetro</li><li>○ Cajas petri</li><li>○ Pipetas graduadas</li><li>○ Matraz aforado</li><li>○ Frascos de vidrio con tapa</li><li>○ Guantes</li><li>○ Cubrebocas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Extractor de semillas eléctrico</li><li>○ Parrilla de calentamiento</li><li>○ Balanza analítica eléctrica</li><li>○ Espectrómetro FTIR - ATR</li><li>○ Micrómetro digital</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Semillas de chía (<i>Salvia hispánica L.</i>)</li><li>○ Quitosano</li><li>○ Ácido acético glacial</li><li>○ Glicerina grado alimenticio</li></ul>

El quitosano empleado se obtuvo en el laboratorio de biomateriales de la FIQ-BUAP, de grado desacetilación 78% y fue una donación para esta investigación (Figura 10).



**Figura 10. Quitosano obtenido en la FIQ BUAP**

## **2.2 Aceite de chía**

La chía utilizada en este proyecto de tesis se cultivó libre de pesticidas en el municipio de San Mateo Atenco en el estado de Puebla.

Una vez adquirida la chía, se limpió para eliminar impurezas, se pesó y dividió en bolsas herméticas de 200 g, se almacenó adecuadamente en un lugar seco y a temperatura ambiente para evitar cambios en la humedad y la formación de moho.

El aceite de chía se obtuvo con un extractor de aceite de semillas (Figura 11), el cual consta de un extrusor, se colocaron 200 g en el equipo. Dicho equipo tiene una producción de aceite mayor al 95% del contenido de aceite del material. El uso de un extractor de aceite de semillas es crucial para obtener un alto rendimiento de aceite, superior al 95% del contenido de aceite del material. Este proceso mecánico es eficiente y permite obtener un aceite de chía de alta calidad para su uso en diversos propósitos, incluyendo aplicaciones alimenticias, cosméticas o de investigación.

Es importante destacar que, al trabajar con aceite de chía, se deben mantener estrictas normas de higiene y control de calidad para garantizar que el producto final sea puro y seguro para su uso. Además, el almacenamiento adecuado del aceite es fundamental para preservar su frescura y propiedades beneficiosas.



**Figura 11. Extractor de semillas eléctrico**

## 2.2 Determinación de rendimiento

El rendimiento de la extracción del aceite de chía se calculó con la ecuación 1, a partir de la de determinación previa de la masa de chía y la masa del aceite obtenido posteriormente.

$$R = \frac{m_{Aceite}}{m_{Semilla}} \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$R$  = rendimiento

$m_{Aceite}$  = cantidad de aceite obtenido en gramos

$m_{Semilla}$  = cantidad de semillas alimentadas en gramos

## 2.3 Densidad del aceite de chía

La determinación del aceite de chía se realizó en un picnómetro; para lo cual se pesa en picnómetro limpio, seco y vacío; se registra el peso y se agregan 10 ml de aceite de chía al picnómetro y se anota el valor obtenido. La determinación se realiza por triplicado. A partir de estos valores se obtiene la densidad promedio del aceite por medio de la ecuación 2.

$$\rho_{aceite} = \frac{m_{aceite}}{V_{aceite}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$\rho$  = densidad

$m$  = masa del aceite

$v$  = volumen del aceite

## 2.4 Preparación de las membranas de quitosano-chía

1. Se preparó una solución de ácido acético (Ac) 0.1M.
2. Se prepara una solución al de quitosano (Qs)/Ac al 1%.
3. En un vaso de precipitado se agregan 100 ml de la solución de Qs/Ac.

4. Se mantuvo la reacción en agitación magnética a 30 °C durante 2 horas.
5. Después de la disolución completa, se agregó glicerina (Gl) y se mantuvo en agitación a 30 °C durante 2 horas.
6. Después, se dividió la solución en 4 porciones iguales en vasos de precipitado, un vaso para la membrana considerada el control y las otras 3 añadiendo aceite de chía (ACh) al 1, 3, 5 %, manteniendo en agitación a 30 °C durante 2 horas.
7. Se vertió la solución Qs/Ac/Gl/ACh en cajas petri y se mantuvo a temperatura ambiente durante 48 horas para su solidificación.

### 2.5 Espesor de las membranas

Para medir el espesor de las membranas se utilizó un micrómetro digital ejemplificado en la Figura 12, con una resolución de 0.001 mm en el rango de 0-25 mm. Se midió el grosor de cada película en 10 posiciones aleatorias para informar el grosor promedio de cada película.



**Figura 12. Micrómetro**

### 2.6 Factor de hinchamiento

Para determinar la cantidad de agua contenida en la membrana, se tomó una porción de cada una de las membranas, a continuación, se sumergieron en agua destilada durante 48 h a 37 °C, posteriormente el fragmento de la membrana se pesó retirando suavemente el exceso de agua con papel filtro, colocando en la balanza analítica varias veces hasta obtener un peso constante.

Posteriormente esta misma porción de membrana se colocó en un horno de secado a 60 °C durante 48 h, pasado este tiempo la muestra es nuevamente pesada

hasta obtener un peso constante, con estos datos se calcula el contenido de agua usando la Ecuación 3.

$$\text{Ecuación 3} \quad \%FH = \left( \frac{W_i - W_d}{W_i} \right) \times 100$$

Donde

$\%FH$  = Factor de Hinchamiento

$W_i$  = Peso húmedo

$W_d$  = Peso seco

## 2.7 Espectroscopía de FTIR

El análisis de infrarrojo se realizó en espectrofotómetro FTIR Perkin Elmer, Spectrum One (Figura 13) en el intervalo de 650 a 4000  $\text{cm}^{-1}$ , se realizaron 4 escaneos con resolución de 4  $\text{cm}^{-1}$ .



**Figura 13. Espectrofotómetro FTIR en FIQ BUAP.**

## CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Aceite de chía

En la Tabla 7 se presenta el análisis visual realizado al aceite de chía.

**Tabla 7. Análisis visual del aceite de chía**

Característica	Descripción
Olor	Sin olor perceptible o característico
Sabor	Sabor característico
Textura	Viscoso
Color	Amarillo transparente

### 3.2 Rendimiento del aceite de chía

Se obtuvo un rendimiento de 34%, en trabajos previos se encontraron valores de 32 al 39% (Xingú López, 2017) lo que indica que nuestra extracción se encuentra dentro de lo reportado previamente.

### 3.3 Densidad de aceite de chía

Se calculo la densidad del aceite de chía con la ecuación 2.

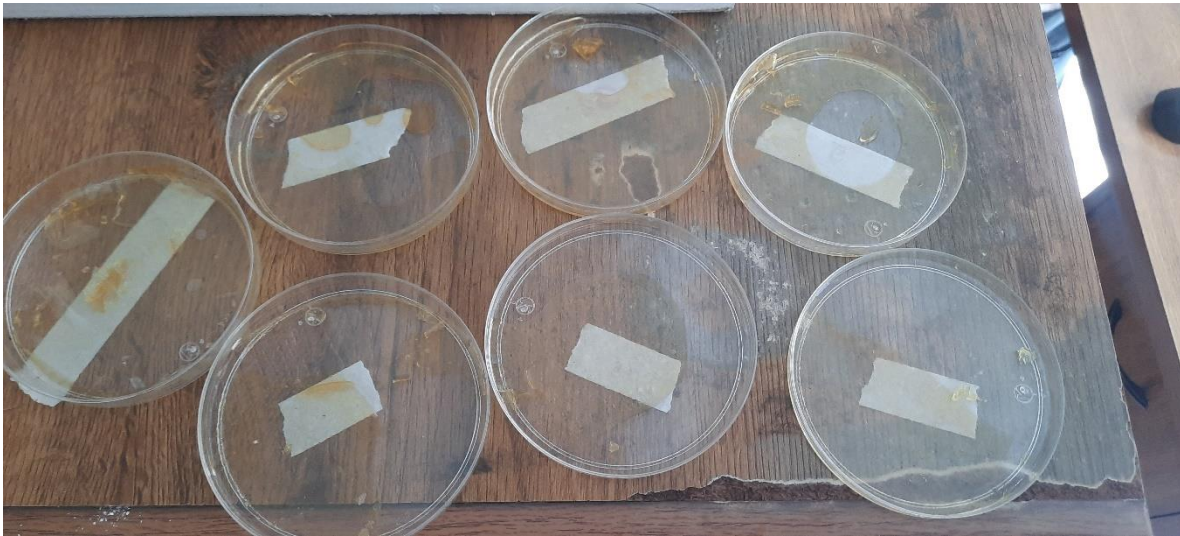
$$\rho = 0.932 \frac{g}{ml}$$

Según lo reportado por Carrillo et al. (2017), la densidad del aceite se estima dentro de 0.92 - 0.940 g/ml a una temperatura de 20 °C.

### 3.4 Membranas quitosano-chía

Una vez realizado el procedimiento explicado en la metodología para la obtención de las membranas de quitosano y aceite de chía, las membranas se despegaron de las cajas petri. Éstas tuvieron un color transparente, eran de consistencia flexible gracias a la adición de la glicerina (plastificante) ya que sin este agente plastificante las membranas serian quebradizas (Figura 14).

Posteriormente se hicieron las pruebas de espesor, factor de hinchamiento y el espectro FTIR.



**Figura 14. Membranas de quitosano y aceite de chía**

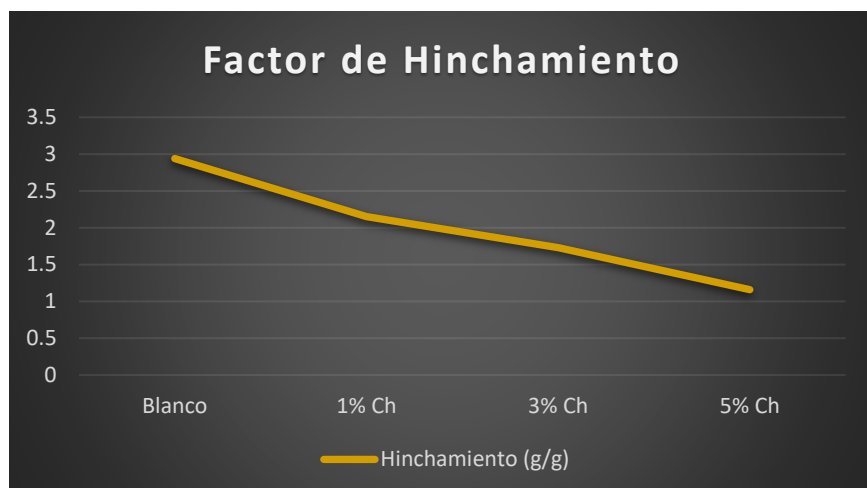
### **3.5 Espesor y factor de hinchamiento de las membranas**

Se realizaron las mediciones correspondientes, donde se considera Blanco, como la membrana de quitosano sin aceite de chía.

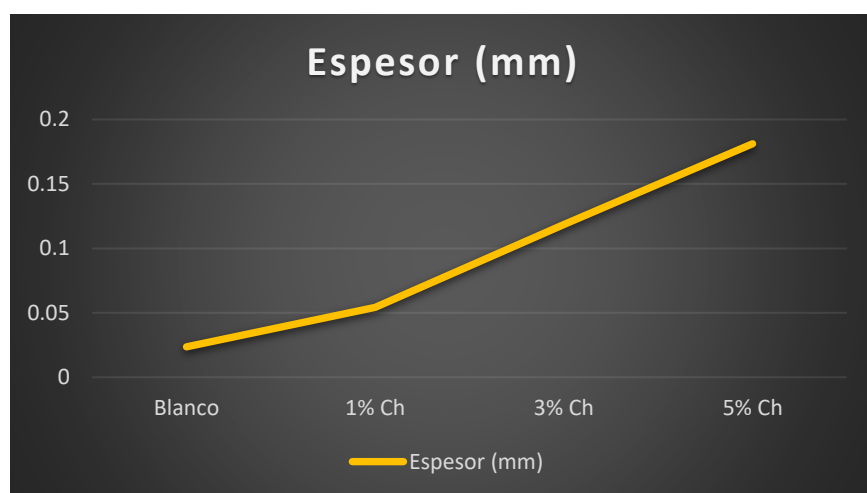
Se determinó el factor de hinchamiento en agua para todas las membranas, el cual se reporta en la Tabla 7 y las Figuras 15 y 16. El factor de hinchamiento (gramos de agua / gramo de aceite) disminuye cuando incrementa la concentración de aceite de chía en la muestra. Los valores de la Tabla 8 indican que la membrana tiene rechazo hacia el agua en su estructura. Igualmente, se debe considerar la adición de la glicerina, ya que se ha reportado que la adición de un plastificante aumenta el carácter hidrófilo de los polímeros naturales.

**Tabla 8. Resultados del factor de hinchamiento y espesor**

<b>Muestra</b>	<b>FH (g/g)</b>	<b>Espesor (mm)</b>
<b>Blanco</b>	2.94	0.0236
<b>1% Ch</b>	2.15	0.0543
<b>3% Ch</b>	1.73	0.1185
<b>5% Ch</b>	1.16	0.1812



**Figura 15. Factor de hinchamiento**

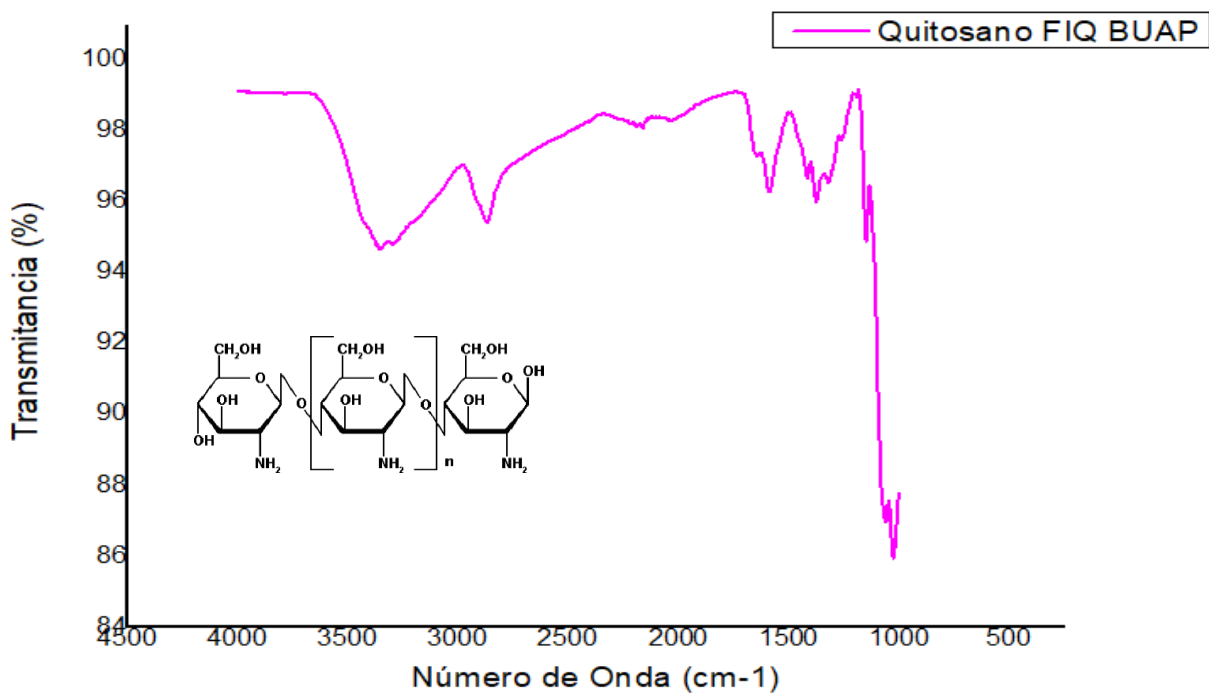


**Figura 16. Espesor de membranas de quitosano y aceite de chía**

### 3.6 Espectroscopía FTIR

Se realizaron análisis en las materias prima principales, las cuales fueron el quitosano y el aceite de chía, para poder tener su caracterización y analizar las membranas a partir de esos datos.

El primer análisis que se realizó fue del quitosano, el cual se encuentra de manera sólida, este quitosano fue obtenido en la Facultad de Ingeniería Química de la BUAP presentado en un trabajo previo. El espectro infrarrojo se muestra en la Figura 17.



**Figura 17. FTIR qitosano FIQ BUAP**

Se realizó el análisis del qitosano, mostrado en la Tabla 9, la cual presenta los grupos funcionales existentes en la molécula de qitosano presentada en la Figura 18.

**Tabla 9. Grupos funcionales y número de onda**

Grupo funcional	Frecuencia (cm <sup>-1</sup> )
OH(t)	3363
NH	3300
CH (t)	2867
C=C	1652
C-N (f)	1589
CH <sub>2</sub> (f)	1415
CH (f)	1377
C-O(t)	1318
C-C	1148
C-O-C (t)	1023

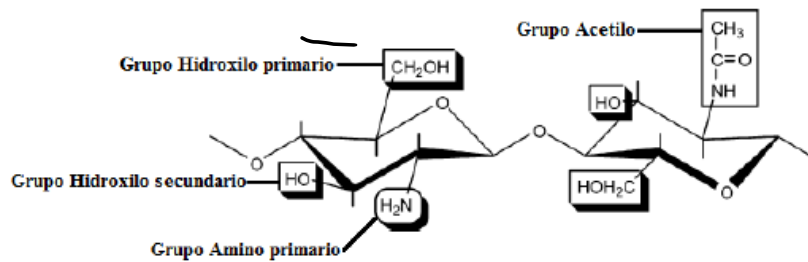


Figura 18. Estructura molecular del quitosano. (Pillai et al., 2009)

Posteriormente se hizo la espectroscopía FTIR del aceite de chía extraído en la FIQ de la BUAP, este análisis se presenta en la Figura 19 y la Tabla 10.

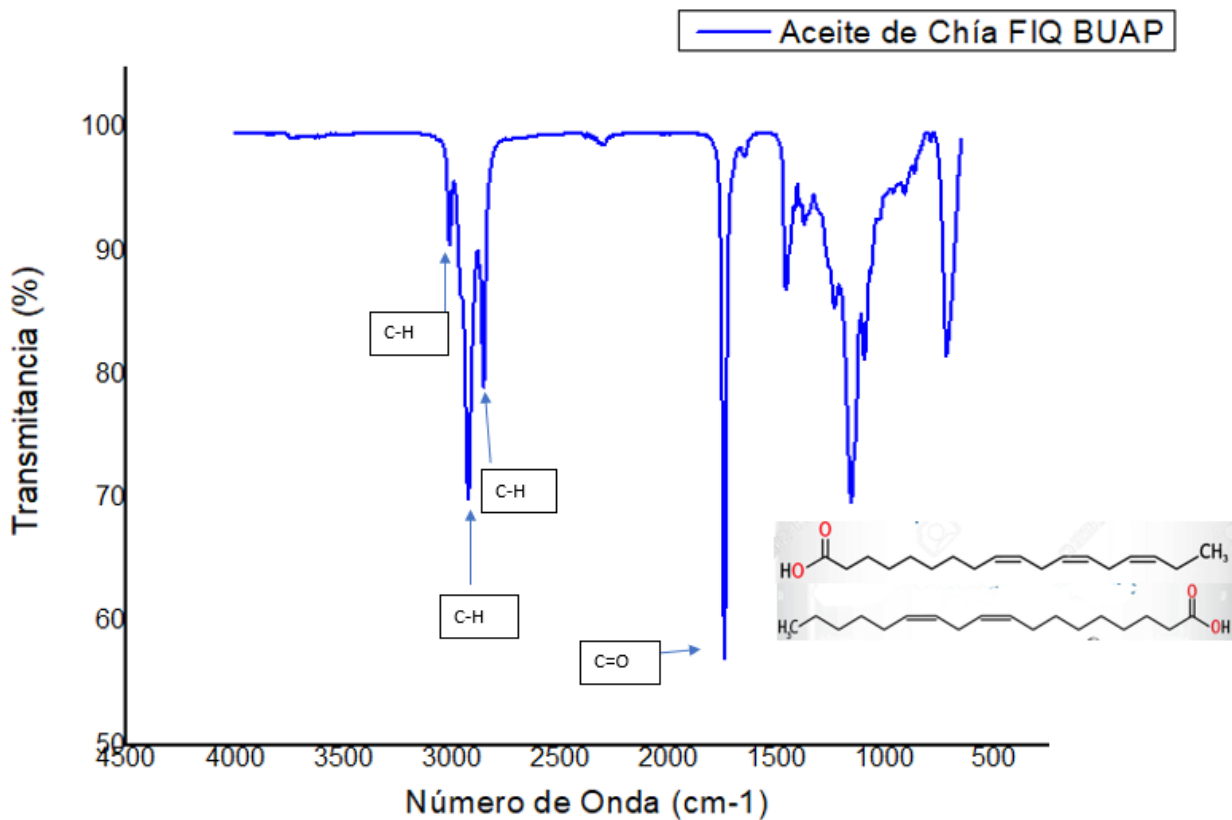


Figura 19. FTIR de aceite de chía FIQ BUAP.

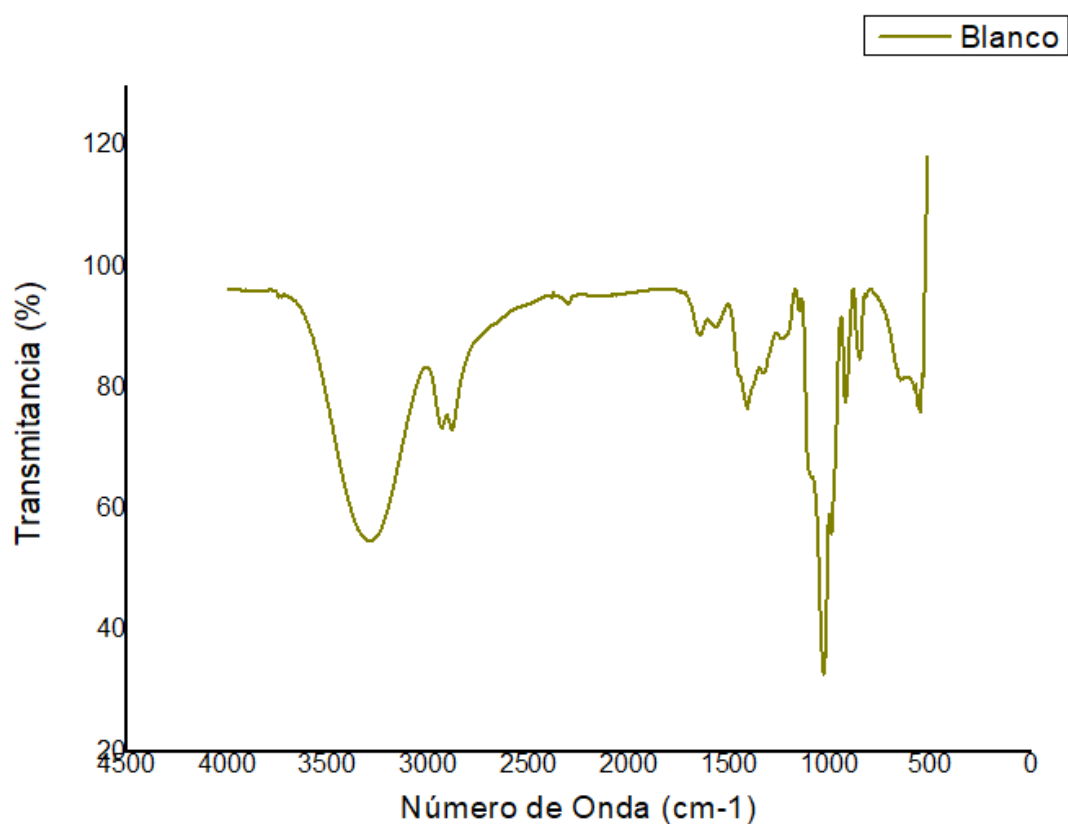
Tabla 10. Análisis del espectro FTIR de aceite de chía

Banda	Frecuencia (cm <sup>-1</sup> )
CH (sp <sup>2</sup> )	3009
CH	2992
CH <sub>2</sub> (t)	2853
C=O (t)	1730

Después del análisis del quitosano y del aceite de chía se elaboraron las membranas según lo descrito en la metodología. Una vez que las membranas se secaron a 60°C por 48 horas, se puso una muestra pulverizada en el equipo FTIR Perkin Elmer, Spectrum One para su análisis.

Las membranas se caracterizaron para identificar la presencia de los grupos funcionales e identificar cuáles son los cambios que tienen entre las membranas con respecto al porcentaje (1%, 3%, 5%) de aceite de chía agregado.

En la Figura 20 y en la Tabla 11 se analiza el control, el cual no tiene aceite de chía y se consideró como el control de las membranas.

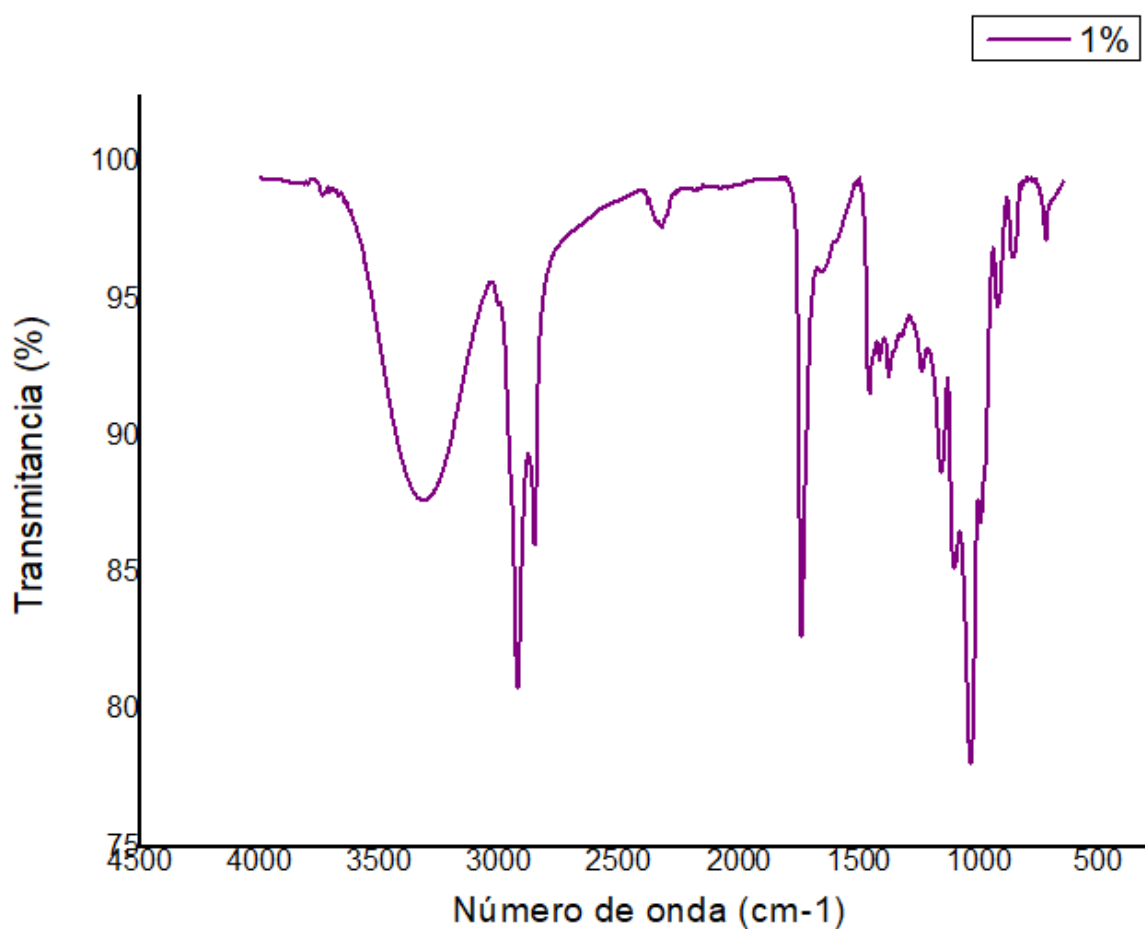


**Figura 20. Espectro FTIR del blanco**

**Tabla 11. Análisis del espectro FTIR del blanco**

Grupo funcional	Frecuencia (cm <sup>-1</sup> )
O H	3302
C-H	2993
N-H	2879
C=O	1659
N H	1556

En la Figura 21 se presenta el análisis que se realizó a la membrana con 1% de aceite de chía, y en la Tabla 12 se exponen las bandas de vibración presentes.

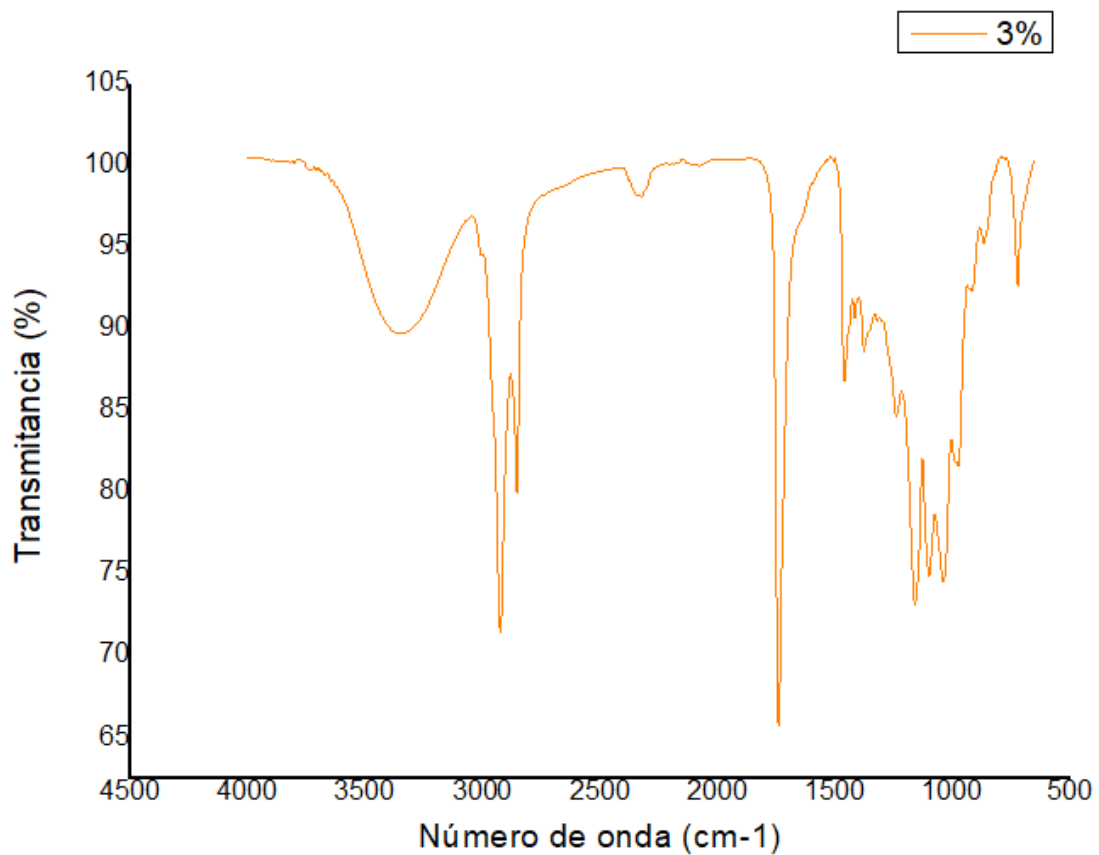


**Figura 21. Espectro FTIR de membrana al 1%**

**Tabla 12. Análisis de espectro FTIR de la membrana al 1%**

Grupo funcional	Frecuencia (cm <sup>-1</sup> )
O-H	3317
C-H (sp)	2928
C-H (sp <sup>2</sup> )	2852
N-H	1556
C=O	1743

En la Figura 22 y la Tabla 13 se analiza la membrana al 3% de aceite de chía.

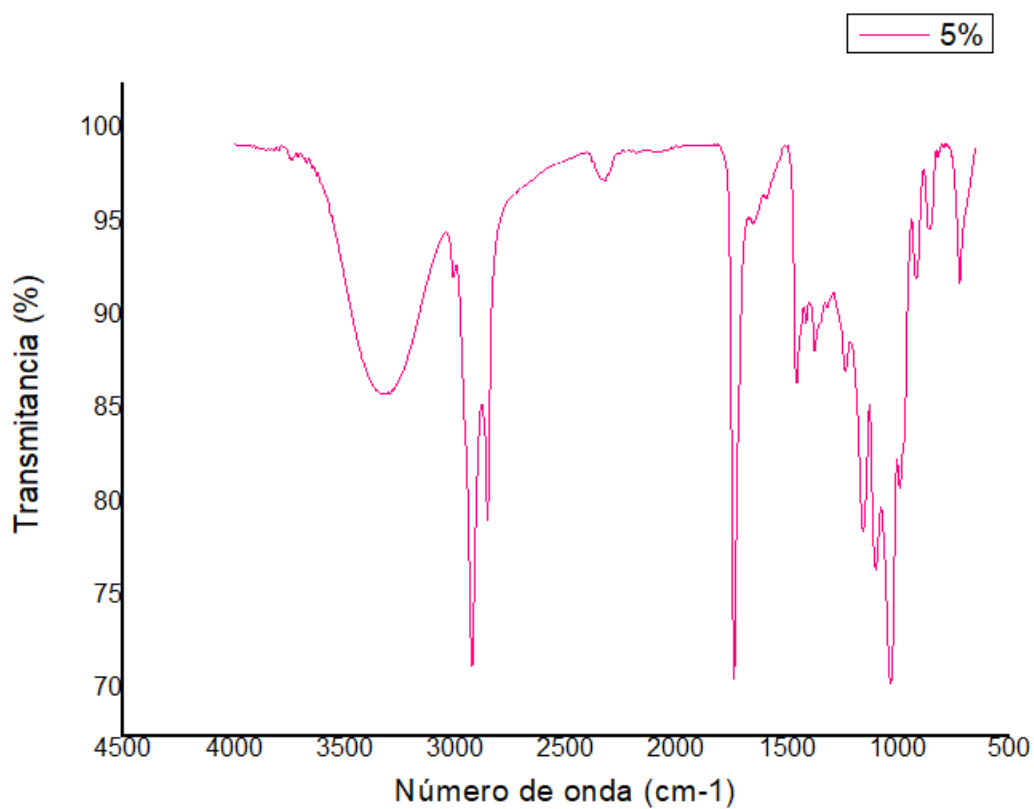


**Figura 22. Espectro FTIR de membrana al 3%**

**Tabla 13. Análisis de espectro FTIR de la membrana al 3%**

Grupo funcional	Frecuencia (cm <sup>-1</sup> )
O-H	3345
C-H (sp)	2930
C-H (sp <sup>2</sup> )	2853
C=O	1730

Como último análisis fue la membrana al 5% de aceite el cual se presenta en la Figura 23 y la Tabla 14 se analiza la membrana al 5% de aceite de chía.

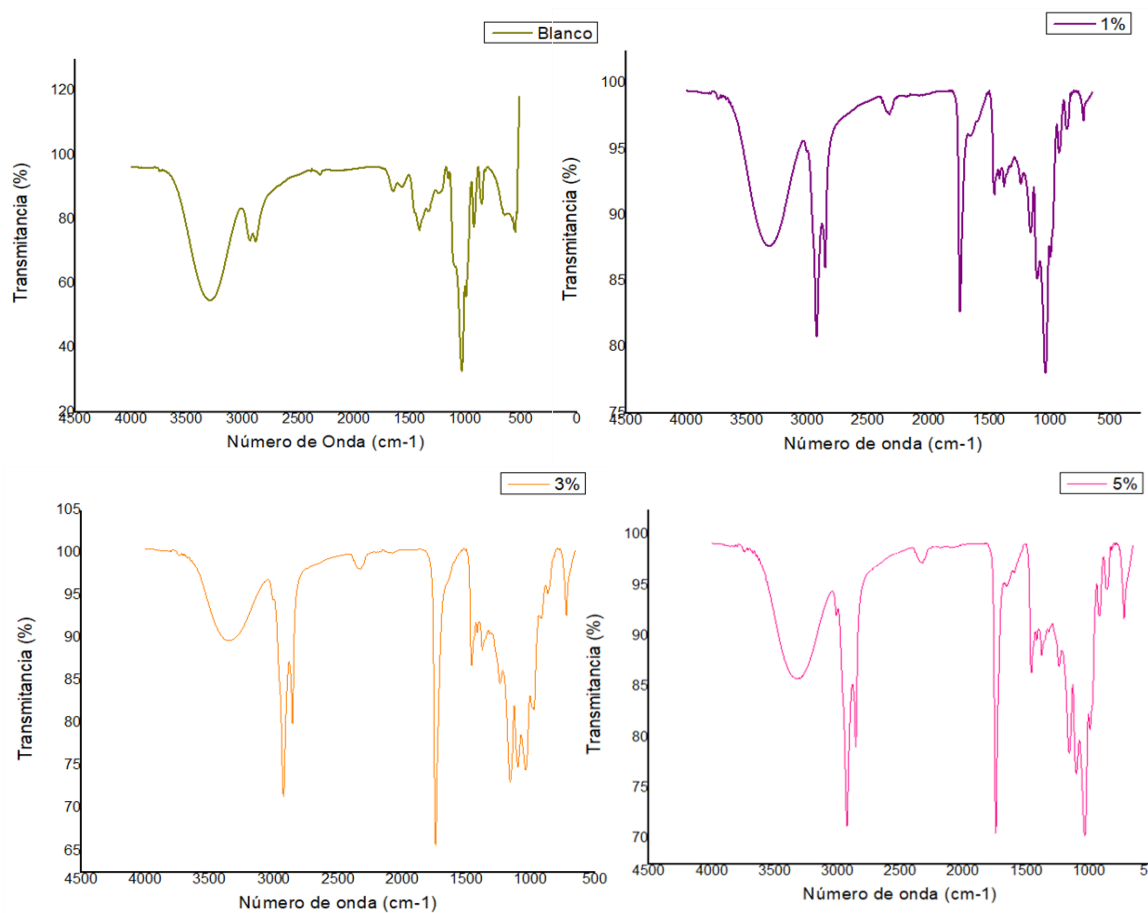


**Figura 23. Espectro FTIR de membrana al 5%**

**Tabla 14. Análisis de espectro FTIR de la membrana al 5%**

Grupo funcional	Frecuencia (cm <sup>-1</sup> )
OH	3311
CH <sub>3</sub>	3003
CH <sub>2</sub>	2923
C=O	1730
CN	1098

La comparación entre los espectros FTIR de las cuatro membranas elaboradas se puede apreciar con ayuda de la Figura 24, que las vibraciones aumentan gradualmente en los espectros de 1, 3 y 5% en los enlaces CH, C=O, y CN.



### Figura 24. Espectros FTIR de membranas Q/Ch

#### 3.7 Aplicación de las membranas y pruebas preliminares.

Las membranas de quitosano son aplicadas en varias áreas, principalmente en la industria alimenticia, por ellos una de las pruebas preliminares que se realizaron fueron en frutos rojos (zarzamoras), debido a su corta vida de anaquel y disminuir su deterioro.

Estas membranas no solo ayudan a su conservación, sino también aportan un valor nutrimental gracias a la adición del aceite de chía, como omega 3, omega 6 y algunos antioxidantes.

En la Figura 25 se explica de manera simplificada como se adhirieron las membranas en las zarzamoras.

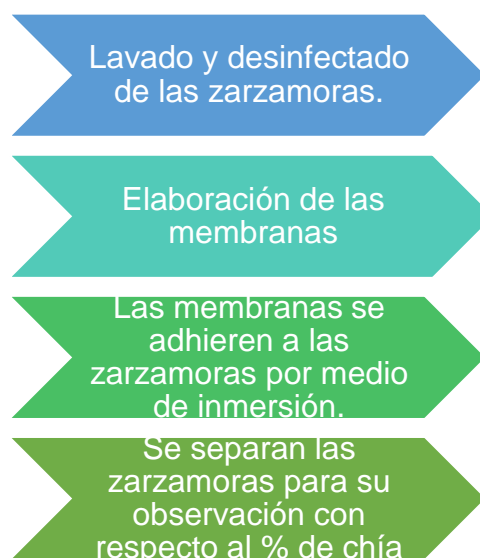


Figura 25. Diagrama de aplicación preliminar

En la Figura 26 se pueden observar las zarzamoras con membranas de quitosano y chía tras 10 días a temperatura ambiente.



**Figura 26. Frutos de zarzamora recubiertos con membranas de Q/Ch**

Se puede observar a simple vista la ausencia de hongos y/o bacteria. Se observó que entre mayor sea el porcentaje de aceite de chía menor será la oxidación de las zarzamoras debido a los antioxidantes característicos del aceite.

## CONCLUSIONES

Se obtuvo aceite de semillas de chía por el método de prensado en frío con un rendimiento superior al 30%.

Se prepararon membranas de quitosano enriquecidas con aceite de chía, con características cualitativas aceptables para su posible aplicación en la industria alimentaria.

El aceite de chía favorece la disminución de la permeabilidad del agua y contribuye a la conservación del fruto.

Para complementar el estudio de las membranas de Q/Ch se recomienda:

- Realizar análisis microbiológico del aceite para determinar su calidad.
- Analizar la textura, color y acidez, del fruto cubierto por la membrana.
- Evaluar mediante pruebas hedónicas, la aceptación del producto.
- Hacer estudios de la vida de anaquel del fruto cubierto con la membrana.

## REFERENCIAS

**Águila Almanza E. Flores Agustin O., Hernández Cocoltzi H., Ramos Cassellis E. & Viveros Nava E.L.** Obtención y caracterización de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón. Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales. - 2009. - 3: Vol. 22. - pp. 57-60.

**Agulló, P., Goycoolea, I., Higuera, F., Valenzuela F., & Nakamatsu, J.** Quitina y Quitosano: Obtención, Caracterización y Aplicaciones. Fondo Editorial 2004. - pp. 312.

**Aleem Safaa Abdel & El-Aidie Mohammad.** A Review on Chitosan: Ecofriendly Multiple Potential Applications. International Journal of Advancement in Life Sciences Research. - 2018. - 1 : Vol. 1. - pp. 1-14.

**Beil S.; Schamberger A.; Naumann W.; Machill S. & Van Pee.** Determination of the degree of N-acetylation (DA) of chitin and chitosan in the presence of water by first derivative ATR FTIR spectroscopy. Science Direct. - 2012. - Vol. 87. - pp. 117-122.

**Bojórquez Luis; Heredia Érick; Gutiérrez Grijalva & Basilio, José.** Desechos de camarón: un coctel de oportunidades para la industria. Ciencia. - 2020. - 4 : Vol. 71.

**Bueno M.; Di Sapio O.; Barolo M.; Busilacchi H.; Quiroga M. & Severin C.** Análisis de la calidad de los frutos de *Salvia hispánica L. (Lamiaceae)* comercializados en la ciudad de Rosario (Santa Fe, Argentina). Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas, 2010. - 3 : Vol. 9.

**Cahill Joseph P.** Genetic diversity among varieties of chía (*Salvia hispánica L.*) Genetic Resources and Crop Evolution . - 2004. - Vol. 51. - pp. 773-781.

**Cariño Adriana.** NAE Cosmética. - 2024. - <https://www.naecosmetica.mx/blogs/noticias/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-el-aceite-de-chia>

**Carrillo G.; Muro M.; Martínez R. & Torres, O.** La Chía Como Súper Alimento y Sus Beneficios En La Salud de La Piel. Facultad de Medicina UNAM, 2017. - Vol. 12.

**Cota L. Quihui; Figueroa G.G.; Morales Gregorio; Valbuena E.; García J. C.; Campos Beltrán; N.P. Silva & Mata M.A.** Membrane of chitosan with essential oils of Romero and Tree of Tea: Potential as biomaterial. Revista mexicana de ingeniería biomédica. - 2017. - 1 : Vol. 38. - pp. 255-264.

**Cruz R. Maricela; R. Tovar Armando; Del Prado Martha & Torres Nimbe.** Mecanismos moleculares de acción de los ácidos grasos poliinsaturados y sus beneficios en la salud. Revista de Investigación Clínica. - 2005. - 3 : Vol. 57. - pp. 457-472.

**Dutta, P. K., Dutta, J. & Tripathi, V. S.** Chitin and Chitosan: Chemistry, Properties and Applications. Journal of Scientific & Industrial Research. – 2004. – 63. – pp 20-31.

**Espinosa Daniela.** AIMPLAS. - 2023. - <https://www.aimplas.es/blog/tipos-de-membranas-que-son-y-como-se-clasifican/>.

**FAO.** The State of World Fisheries and Aquaculture. - 2018.

**Garza Laura F.** iagua. - 2023. - <https://www.iagua.es/respuestas/que-son-membranas-y-como-funciona-tratamiento-agua-membranas> .

**Guillén Gacén; Esbec Joaquín & Gacén Isabel.** Quitina y quitosano. Nuevos materiales textiles. Boletín del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial,. - 1996. - 8 : Vol. 110.

**Guiotto E. N.; Ixtaina V. Y., Tomás M. C. & Nolasco, S. M.** Moisture-dependent engineering properties of chia (*Salvia hispánica L.*) seeds. IntechOpen, 2013. - pp. 381-397.

**Hamed Imen; Regenstein Fatih & Ozogul Joe.** Industrial applications of crustacean by-products (chitin, chitosan, and chitooligosaccharides). Trends in Food Science & Technology. - 2016. - 1 : Vol. 48. - pp. 40-50.

**Hernández Curbelo Caridad, Dubois Palacio Yadira & Hernández Fanego Sandra.** Desacetilación de quitina obtenida por vía química de exoesqueletos de camarón *litopenaeus vannamei*. Revista Cultivo Azúcar. - 2021. - 3: Vol. 48. - pp. 53-61.

**Hernández J. & Miranda S.** Caracterización morfológica de chíá (*Salvia hispánica L.*). Revista Fitotecnia Mexicana. - 2008. - 2 : Vol. 31. - pp. 105-113.

**Jiménez Paula; Lilia Masson & Vilma Quitral.** Composición química de semillas de chíá, linaza y rosa mosqueta y su aporte en ácidos grasos omega-3. Rev Chil Nutr - 2013. - 2 : Vol. 40. - pp. 155-160.

**Karoui Romdhane; Blecker Gerard & Downey Christophe.** Intact Food Systems and the Exploration of Their Molecular Structure–Quality Relationships. Chemical Reviews . - 2010. - 10 : Vol. 110. – pp. 92-97.

**Kurita Keisuke.** Chitin and chitosan: functional biopolymers from marine crustaceans. Mar Biotechnol (NY). - 2006. - 3 : Vol. 8. -pp. 203-206.

**Lamarque Guillaume; Domard Géraldine & Chaussard Alain.** Thermodynamic aspects of the heterogeneous deacetylation of  $\beta$ -chitin: Reaction mechanisms. Biomacromolecules. - 2007. - 6 : Vol. 8. - pp. 1942-1950.

**Mata Marco; Cruz Saul; Preciado Clarissa; Paz José; Alvarado María; García Laura, Gassos Ortega & Joaquín Rodrigo.** Efecto de recubrimientos comestibles de quitosano en la reducción microbiana y conservación de la calidad de fresas. Biotecnia. - 2012. - 1 : vol. 14. – pp. 33-43.

**Mateos García María del Rosario, Corrales García Joel & Cornejo Vivar Teresita.** Recubrimiento biodegradable antifúngico a base de quitosano y aceite esencial. Biotecnología y ciencias agropecuarias. - 2023. - 2 : Vol. 17. - pp. 165-180.

**Mondragón Enrique; Cortéz Pedro & Arriola Guevara.** Espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR) Reflexión total atenuada (ATR): Principios y aplicaciones en la Biotecnología. - Amateditorial, 2016.

**Morún Walter Villalobos.** Eliminación de Metales Pesados de Aguas Residuales con Membranas de quitosano. Instituto Tecnológico de Costa Rica. - 2011.

**Mosquera Quelal M. & Reinoso García M.** Composición lipídica y caracterización de los ácidos grasos de la semilla de chía (*salvia hispánica L.*). Revistas de investigación UNMSM. - 2017. - pp. 15-20.

**Orozco G.; Duran N.; González D. R.; Zarazúa P.; Ramírez, G. & Mena, S.** Proyecciones de cambio climático y potencial productivo para *Salvia hispánica L.* en las zonas agrícolas de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. - 2014. - Vol. 10. - pp. 1831-1842.

**Pillai C.K.S., Paul Willi & Sharma Chandra P.** Chitin and chitosan polymers: Chemistry, solubility and fiber formation. Progress in Polymer Science. - 2009. - Vol. 34. - pp. 641–678.

**Pino Saborit Karla Zuleika.** Micropartículas porosas nanoestructuradas de quitosano acarreadoras de moléculas bioactivas. - Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., 2015. - 2024.

**Procesadora de Ingredientes S.A. DE C.V.** - 2020. - 2023. - <https://www.pisamex.com/Pisa/fichastecnicas/FichaTec-AceiteChiaOmega3.pdf>.

**Quintana M. & Valencia, J.** Caracterización del Aceite de Semilla De Chía (*Salvia Hispánica L.*), Extraído con Solvente Orgánico y Prensado en Frio. Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación. - 2015. - 2 : Vol. 1. – pp. 7-10.

**Rodríguez Álvarez M.; Alcaráz Meléndez L. & Real Cosío S. M.** Procedimientos para la extracción de aceites esenciales en plantas aromáticas. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste SC. - 2012. - Vol. 47.

**Romero Serrano A. & Pereira, J.** Estado del arte: Quitosano, un biomaterial versátil. , (2), 20. Ingeniería UC. - 2020. - 2 : Vol. 27. – pp. 118-135.

**Saona Rodriguez Luis E.** Use of FTIR for Rapid Authentication and Detection of Adulteration of Food. Annual Review of Food Science and Technology. - 2011. - 1 : Vol. 2. – pp. 467-483.

**SADR (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural).** Gobierno de México. - 2018. - 2024. - <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/de-desecho-pesquero-a-protesis-ortopedica>.

**Shankar Shiv; Diako Khodaei & Monique Lacroix.** Effect of chitosan/essential oils/silver nanoparticles composite films packaging and gamma irradiation on shelf life of strawberries. Food Hydrocolloids. - 2021. - Vol. 117. – pp. 25-47.

**Shen Yingbin; Zheng Liyou; Jin Jun; Li Xiaojing; Fu Junning; Wang Mingzhong; Song Yifu & Xun Guan.** Phytochemical and Biological Characteristics of Mexican Chia Seed Oil. Molecules. - 2018. - 12 : Vol. 23. – pp. 19-32.

**Silveira L.; Junqueira L.; Catarina I. & Vilela, J. J.** Cold Extraction Method of Chia Seed Mucilage (*Salvia Hispánica L.*): Effect on Yield and Rheological Behavior. Journal of food science and technology. - 2018. - 2 : Vol. 55. - pp. 457–466.

**Valenzuela Rodrigo & Valenzuela Julio Sanhueza.** Nuevas fuentes dietéticas de ácido alfa-linolénico: una visión crítica. Chil Nutr. - 2012. - 3 : Vol. 39. – pp. 79-87.

**Velásquez Cristóbal Lárez.** Quitina y quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro. Avances en Química. - 2006. - 2 : Vol. 1. - pp. 15-21.

**Xingú López A.** Chía (*Salvia hispánica L.*) situación actual y tendencias futuras. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. - 2017. - 7 : Vol. 8. – pp. 1619-1631.

