

IESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas

Elaboración de bioplástico a partir del quitosano obtenido del exoesqueleto del camarón para el diseño de un empaque de conserva y exportación

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Químico

Presentado por:

Belén Nathaly Baque Choez

Manuel Alejandro Celi Aguirre

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado a mis padres Felipe y Elena, especialmente a mi madre, ya que sin ella esto no habría sido posible.

A mis sobrinos Inés, Rosa y Matías, por hacer de mí una mejor persona.

Y a mi tía Josefa, porque sé que desde donde esté, estaría feliz porque llegara este momento.

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a mi familia, en especial a mis abuelitos, Lolita y Manuel, que, a pesar de ya no encontrarse con nosotros, estoy seguro de que se hubieran sentido orgullosos.

A mi mami que siempre me ha apoyado en todo lo que me he propuesto, a mi hermano por ser mi fiel compañero de vida, a mi tía Inés por ser como una segunda madre y a mis tíos Juan, Javier y Teto, los considero como unos padres y son mi ejemplo a seguir.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a Dios por permitirme culminar esta carrera.

A mis padres por su ayuda tanto moral como económica, no sé cómo recompensarles tanto.

A mis hermanos Mary y Felipe, mis cuñados Lucio y Fernanda, y mis sobrinos, gracias por todo el apoyo.

A Diego, gracias por tu amor, estoy feliz de cumplir este sueño junto a ti.

A Alejandro, mi compañero de tesis, María Belén y Denisse, por ser los mejores amigos que la carrera me pudo dar.

Al Ing. Tyrone Alcívar por brindarnos el espacio y los materiales para la realización de nuestro proyecto así mismo a Paul, gracias por ser nuestro fiel apoyo en el laboratorio y un excelente amigo.

Gracias a SOPASE S.A. por darnos la oportunidad de trabajar este proyecto junto a ellos.

Un agradecimiento especial a la Ing. Jenny Venegas, tutora de nuestra tesis, gracias por confiar en nosotros y siempre hacernos ver lo positivo de las cosas.

Y a cada una de las personas que de alguna u otra forma colaboraron en la realización de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por ser mi motor e inspiración, gracias por su amor, buenos valores y apoyo en todo momento.

A nuestra tutora Jenny Venegas, gracias por sus consejos, paciencia y guía durante el desarrollo de esta investigación.

A la Ing. Andrea, Aníbal, Alejandra y John, por toda la ayuda y motivación brindada.

A la Dra. Maribel, Ing. Joan e Ing. Reinaldo, por sabernos encaminar y compartir sus conocimientos.

A mi compañera de tesis Belén, a mis amigas, Abigail, Evelin, Denisse y María Belén, gracias por ser esas personas que uno encuentra en su camino e iluminan tu vida.

A todas las personas que aportaron para la culminación de este trabajo de titulación.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Belén Nathaly Baque Choez* y *Manuel Alejandro Celi Aguirre* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Belén Nathaly Baque
Choez



Manuel Alejandro Celi
Aguirre

EVALUADORES

Nadia Flores

PROFESOR DE LA MATERIA

Jenny Venegas

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Uno de los insumos más utilizados en las empacadoras de camarón es el plástico no degradable que sirve para el empaque y conservación del producto, los desechos de fundas plásticas que se generan por lo general no son reciclados ni reutilizados por lo que las empacadoras contribuyen de alguna u otra forma en la contaminación al medio ambiente. Por lo tanto, el presente proyecto busca sustituir el plástico no degradable por un biopolímero procedente del camarón, usado para formar películas poliméricas que puedan servir como empaque y que no perjudiquen al ambiente. El uso del quitosano como biopolímero para la obtención de una película polimérica se basó en la desproteinización, desmineralización, despigmentación y desacetilación de la cáscara de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) proveniente de una de las empacadoras del país. Se realizaron 3 métodos para la obtención de quitosano, en cada uno de estos se partió con 20g de muestra, obteniendo resultados favorables en los métodos 1 y 2, el quitosano obtenido fue caracterizado por FTIR, punto de fusión, grado de desacetilación y peso molecular. La película polimérica fue obtenida mediante una solución de quitosano y ácido acético, una vez formada se evaluaron sus propiedades como solubilidad, contenido de humedad y espesor, obteniéndose como resultados 24.85%, 15.61% y 141 μm , respectivamente. Los datos sugieren que las películas poliméricas formadas presentan propiedades dentro de lo requerido y que estas dependen en gran medida de las características del quitosano obtenido.

Palabras Clave: Quitosano, camarón, plástico, película polimérica.

ABSTRACT

*One of the most used inputs in shrimp balers is the non-degradable plastic used for the packaging and preservation of the product. Plastic sheath waste that is generated is usually not recycled or reused, so balers contribute in some way to environmental pollution. Therefore, the present project seeks to replace non-degradable plastic with a biopolymer from shrimp, used to form polymer films that can serve as packaging and that do not harm the environment. The use of chitosan as a biopolymer to obtain a polymer film was based on the deprotonisation, demineralization, depigmentation and deacetylation of the white shrimp shell (*Litopenaeus vannamei*) from one of the country's balers. Three methods were performed to obtain chitosan, in each of these was split with 20g of sample, obtaining favorable results in methods 1 and 2, chitosan obtained was characterized by FTIR, melting point, degree of deacetylation and molecular weight. The polymer film was obtained by a solution of chitosan and acetic acid, once formed its properties were evaluated as solubility, moisture content and thickness, obtaining as results 24.85%, 15.61% and 141 μm , respectively. The data suggest that the polymer films formed present properties within the requirements and that these depend largely on the characteristics of chitosan obtained.*

Keywords: *Chitosan, shrimp, plastic, polymer film*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción.	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del problema.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 Marco Teórico.....	4
1.4.1 Industria Camaronera.....	4
1.4.2 Generalidades de la Quitina.....	6
1.4.3 Quitosano.....	6
CAPÍTULO 2.....	9
2. Metodología	9
2.1 Métodos de extracción de quitina y obtención de quitosano.....	9
2.1.1 Método 1 y 2	9
2.1.2 Método 3	11
2.2 Determinación de las propiedades del quitosano	13

2.2.1	Peso molecular.....	13
2.2.2	Grado de desacetilación.....	14
2.3	Elaboración de películas poliméricas.....	14
2.3.1	Contenido de humedad.....	14
2.3.2	Solubilidad en agua.....	14
2.3.3	Espesor.....	15
CAPÍTULO 3.....		16
3.	Resultados Y ANÁLISIS.....	16
3.1	Extracción de quitina y producción de quitosano.....	16
3.1.1	Caracterización de quitina.....	18
3.2	Evaluación de propiedades del quitosano obtenido.....	19
3.2.1	Determinación del peso molecular.....	20
3.2.2	Determinación del grado de desacetilación.....	21
3.3	Evaluación de película polimérica.....	21
CAPÍTULO 4.....		24
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	24
4.1	Conclusiones.....	24
4.2	Recomendaciones.....	25
BIBLIOGRAFÍA.....		26
APÉNDICES.....		30

ABREVIATURAS

FTIR	Espectroscopía infrarroja por transformada de fourier
HOSO	Head on, shell on
HLSO	Head less, shell on
P&D	Pelado y desvenado
DA	Grado de acetilación
DD	Grado de desacetilación
PP	Película polimérica
QA	Quitina
QN	Quitosano

SIMBOLOGÍA

g	gramo
kg	kilogramo
pH	Potencial de Hidrógeno
p/v	Relación peso – volumen
v/v	Relación volumen – volumen
N	Normalidad
M	Molaridad
kDa	kilodalton
HCl	Ácido Clorhídrico
CO ₂	Dióxido de Carbono
NaOH	Hidróxido de Sodio
NaClO	Hipoclorito de Sodio

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Crecimiento de la producción de camarón en Ecuador [Banco Pichinca, 2021].....	2
Figura 1.2 Procesamiento del camarón en una empresa en Durán.....	4
Figura 2.1 Diagrama de flujo de los tres procesos de obtención de quitosano.....	9
Figura 2.2 Desmineralización con HCl 1,25N.....	10
Figura 2.3 Producto obtenido después de la desacetilación.....	11
Figura 2.4 Desmineralización con HCl 10 M a 5°C.....	12
Figura 2.5 Precipitado del biopolímero después de la neutralización.....	13
Figura 3.1 Muestra de quitosano obtenido por el método 1.....	18
Figura 3.2 Muestra de quitosano obtenido por el método 2.....	18
Figura 3.3 Muestra de quitosano obtenido por el método 3.....	18
Figura 3.4 Espectro IR de la quitina obtenida en el método 1.....	19
Figura 3.5 Espectro IR del quitosano obtenido en el método 1.....	20
Figura 3.6 Películas poliméricas sin desmoldar: a) Método 1, b) Método 2.....	22
Figura 3.7 Película polimérica obtenida.....	22

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Resultados de la primera extracción de quitina y quitosano.....	16
Tabla 3.2 Resultados de la segunda extracción de quitina y quitosano.....	16
Tabla 3.3 Asignación de las señales de las bandas relevantes de la quitina obtenida en comparación con una muestra comercial.....	19
Tabla 3.4 Asignación de las señales de las bandas relevantes del quitosano obtenido en comparación con una muestra comercial.....	20
Tabla 3.5 Peso molecular de cada método.....	21
Tabla 3.6 Grado de desacetilación de cada método.....	21
Tabla 3.7 Resumen de las características de la película polimérica obtenida.....	23

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.2 Descripción del problema

El uso de plásticos inicio hace tan solo 6 décadas y se ha incrementado exponencialmente con el paso del tiempo, llegando a tal punto de producir 8,300 millones de toneladas métricas al año, reciclando únicamente el 9.5%, esto presenta un riesgo inminente para el planeta, ya que la mayoría de los desechos termina en el océano afectando las especies que lo habitan(El Universo, 2018).

Existen reportes que muestran que los ecuatorianos arrojan alrededor de 12,739 toneladas de basura diaria, de los cuales el 11.43% corresponde al plástico, esto equivaldría a 531,461 toneladas al año, lográndose reciclar únicamente la mitad, debido a que la otra mitad corresponde al plástico de un solo uso, que generalmente son fundas o recipientes de espuma flex (Plan V, 2020).

Actualmente Ecuador es uno de los países que ha tenido un mayor crecimiento en lo que respecta a la producción de camarones, en el 2021 se llegó a una cifra de un millón de toneladas métricas y se espera que en este año esa cifra alcance los cinco millones de toneladas. Uno de los materiales más utilizados en las empacadoras de camarón es el plástico no degradable que sirve para el empaque y conservación del producto, pero debido a su naturaleza su degradación conlleva una gran cantidad de tiempo, lo cual ocasiona problemas al ambiente, causando perjuicios tanto a la vida terrestre como marina (Rodríguez Crespo, 2022).

El plástico usado por la empacadora tanto en el proceso de producción como en la exportación ayudan a mantener la inocuidad de los camarones, además deben cumplir con estándares de calidad, por este motivo existe un gasto excesivo de las fundas de plástico, ya que en caso de que la funda plástica posea algún daño se prefiere cambiarla con una nueva y por lo general estos desechos no son reciclados ni reutilizados, por lo que la empacadora contribuye significativamente al uso de plásticos no degradables, por lo tanto se busca sustituir el plástico no degradable por un biopolímero que no perjudique al ambiente (Rodríguez Crespo, 2022).

1.3 Justificación del problema

La Industria camaronera es un poderoso aliado en la economía del país, tan solo la exportación del camarón representa más del 20% de las exportaciones no petroleras y un 90% de la producción acuícola (Banco Pichincha, 2021). Ecuador es un país que posee un enorme crecimiento en la industria camaronera, su ubicación geográfica hace posible la producción de camarones durante casi todo el año, aproximadamente el 25% del camarón producido es exportado sin cáscara lo que equivale a casi 250 mil toneladas métricas al año, de las cuales se encuentran disponibles alrededor del 15% (Alvarado Durán, 2012).

Se conoce que aproximadamente entre el 40 - 50% del peso del camarón es perteneciente a la parte no comestible, la cual en su mayoría corresponde al exoesqueleto, por lo que esta fracción del camarón se la considera como desecho, pero esta posee un gran porcentaje de proteínas y lípidos que podrían ser aprovechados (Cabanilla, L, 2022). En el 2021, en el país se procesaron alrededor de 1 402,836 toneladas de camarones, de los cuales aproximadamente 58,638 toneladas, fueron residuos que correspondían a la cabeza y al carapacho del animal, cuando éste es procesado en cola o en valor agregado (Banco Pichincha, 2021).



Figura 1.1 Crecimiento de la producción de camarón en Ecuador [Banco Pichincha, 2021]

Existe un enorme potencial en las cáscaras de camarón, según reportes pueden ser utilizadas en varios campos industriales como la biomedicina, agricultura y la industria papelera, esto es posible debido a las propiedades que posee, su composición es de 40% proteínas, 30% minerales y hasta un 30% de quitina, por lo tanto, se puede aprovechar los desechos provenientes de la industria camaronera para darle solución a la problemática de la contaminación que producen las fundas de plásticos utilizadas en el proceso de empaque de los camarones (Alvarado Durán, 2012).

Uno de los componentes más importantes de la cáscara del camarón es la quitina, la cual posee una estructura muy similar a la celulosa y mediante este compuesto existe la posibilidad de obtener el quitosano que presenta propiedades favorables para la polimerización, de hecho es un biopolímero que está siendo utilizado en la industria farmacéutica gracias a sus propiedades antimicrobiales y biocompatibles, por lo que es un excelente candidato para llevar a cabo el cumplimiento de la finalidad de este estudio (Curbelo Hernández, 2021).

En base a la problemática se está buscando una forma de sustituir las bolsas de plástico por un material biodegradable que cumpla con las características requeridas en el mercado, por lo que se plantea utilizar el exoesqueleto para la obtención de Quitina y posteriormente la transformación a Quitosano y con esto obtener un bioplástico que logre reemplazar a las fundas plásticas convencionales (Rodríguez Crespo, 2022).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Elaborar películas poliméricas biodegradables a través de la obtención de quitosano a partir del exoesqueleto del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) para la determinación de su factibilidad en el empaqueo de camarón.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Sintetizar muestras de quitosano a partir del exoesqueleto del camarón para llevar a cabo los posteriores procesos de análisis del método de FTIR.
2. Obtener películas poliméricas de quitosano usando como plastificante la glicerina para su procesamiento en el empaque de camarón.

3. Evaluar propiedades mecánicas, físicas y químicas de las películas poliméricas obtenidas a través de pruebas de laboratorio que validen los resultados.

1.5 Marco Teórico

1.5.1 Industria Camaronera

1.5.1.1 Generalidades del camarón

El camarón es una especie de crustáceo que se caracteriza por tener un cuerpo largo y transparente con una marcada inclinación en el abdomen con pequeños puntos oscuros en sus segmentos, donde el segundo segmento se solapa con los adyacentes. En Ecuador se puede encontrar una gran variedad de especies tales como: *Litopenaeus vannamei* (langostino blanco), *occidentalis* (camarón blanco), *brevirostris* (camarón rojo) y *Protrachypene precipua* (camarón pomada), pero en los procesos acuícolas como el cultivo, consumo y exportación se prefiere el *Litopenaeus vannamei*. Esta especie es de tamaño mediano y nativa de la costa oriental del Océano Pacífico que se extiende desde México hasta Perú, y que en la actualidad se cultiva en las diferentes granjas camaroneras que existen en el país (Zambrisa S.A., s.f.).

Las zonas de mayores cultivos se ubican en las provincias del Guayas, El Oro, Manabí y Esmeraldas, ya que son idóneas porque permiten abastecerse directamente de agua del mar. El camarón ecuatoriano está presente en la mesa de consumidores de más de 50 países, posicionándose entre los más importantes productores y exportadores de camarón del mundo (Navarro & Mejía, 2016). De hecho, la producción nacional de camarón en el año 2021 alcanzó las 841,702 toneladas aproximadamente, con un 24% más que en 2020, es así que el país se convirtió en el mayor productor de camarón en el anterior año, por encima de países como Rusia, Canadá y Estados Unidos (Cámara Nacional de Acuicultura, 2022).

1.5.1.2 Descripción del proceso productivo

La materia prima que se recibe puede ser procesado de acuerdo con las diferentes líneas de producción que tenga la empresa. Una de las empacadoras de camarón ubicada en Durán, presenta el producto terminado de diferentes formas:

- Camarón entero (HOSO / Head on, Shell on)
- Camarón con cola (HLSO / Head less, Shell on)

- Camarón pelado, desvenado sin cola – crudo (P&D Tail Off / P&D Tail On)

La figura 1.2 muestra el proceso generalizado para el procesamiento del camarón en la empresa:

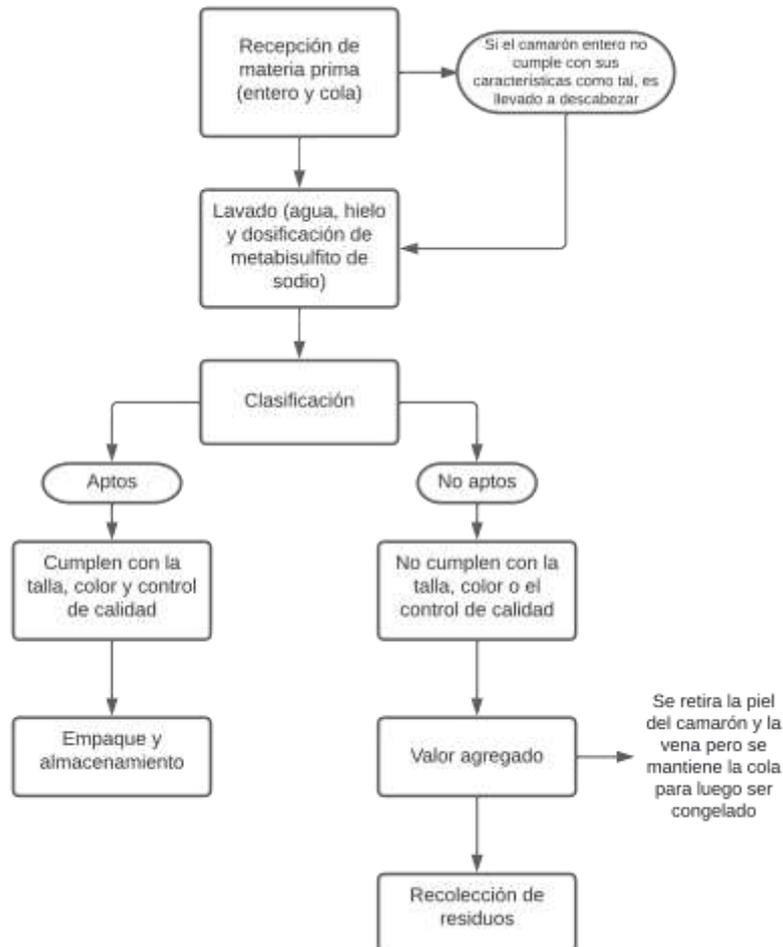


Figura 1.2 Procesamiento del camarón en una empresa de Durán

Los desperdicios generados en las empacadoras de camarón se producen en gran volumen, ya que representa entre el 48 - 60 % del cuerpo del animal, causando problemas a corto y largo plazo como malos olores o la contaminación de ríos si estos residuos no son procesados o eliminados como debería de hacerse. Se sabe que estos residuos contienen materiales, proteínas y quitina (de la cual se obtiene el quitosano), que podrían ser reutilizados para la obtención de productos de gran valor comercial con múltiples aplicaciones en la industria (Curbelo et al., 2018).

Existen empresas que venden este desperdicio, como el caso de la empacadora en Durán, a empresas que lo utilizan para la elaboración de harinas como ingrediente de

balanceados para consumo animal. En el 2021, en Ecuador se procesó alrededor de 1402,836 toneladas de camarón de los cuáles, aproximadamente 58,638 toneladas fueron residuos que correspondían a la cabeza y al carapacho del animal cuando éste es procesado en cola o en valor agregado.

1.5.2 Generalidades de la Quitina

La quitina es el principal componente estructural del exoesqueleto de los invertebrados, como los crustáceos, los insectos y los arácnidos. La quitina es un homopolisacárido formado por unidades repetidas de N-acetil-D-glucosamina, que es el segundo polisacárido natural más abundante del planeta después de la celulosa. Se caracteriza por ser blanco, duro e inelástico y que además presenta baja solubilidad y reactividad química.

Hoy en día, es utilizado por su biodegradabilidad, capacidad absorbente, entre otras, en una gran cantidad de campos como biomedicina o farmacéutica. Una de sus aplicaciones también se basa en la obtención de un compuesto nuevo, la quitina es sometida a un proceso de desacetilación que nos dará como resultado el quitosano tras eliminar gran parte de sus grupos acetilos (Younes & Rinaudo, 2015).

1.5.3 Quitosano

1.5.3.1 Propiedades químicas del quitosano

Es un polímero catiónico, es decir, que puede interactuar con mucha facilidad con sustancias cargadas negativamente como proteínas o ácidos grasos, debido al gran número de grupos aminos libres presentes en su estructura. Conocido como la forma N-desacetilada de la quitina, que posee mejores propiedades de reactividad y solubilidad, llegando a un grado de desacetilación que varía entre 60% y 90% con pesos moleculares de 50 hasta 2000 kDa. El tener un peso molecular superior al millón de Da lo convierte en un biomaterial con innumerables aplicaciones y amigable con el medio ambiente (Ramirez et al, 2002).

Cabe recalcar que el peso molecular y el grado de desacetilación son importantes para determinar las propiedades del compuesto, ya que si tiene grados de desacetilación elevados significa que el producto puede disolverse fácilmente en soluciones de ácidos

orgánicos como el ácido fórmico, acético y también en ácidos minerales a excepción del ácido sulfúrico (Moreno et al, 2016).

1.5.3.2 Aplicaciones del quitosano

Dada sus propiedades, numerosas industrias han tenido un gran interés en el compuesto. A continuación, se menciona de manera general algunas de sus aplicaciones en diferentes campos:

- Muchos estudios han demostrado que el quitosano tiene una actividad microbiana alta, como ejemplo de bacterias sobre las que se destaca la actividad antimicrobiana del compuesto, se tiene a las causantes de problemas de seguridad alimentaria como la *Listeria monocytogenes*, que es uno de los patógenos causante de las infecciones alimentarias más fuertes (Younes & Rinaudo, 2015).
- Por otro lado, puede utilizarse para fabricar recubrimientos comestibles para los alimentos, con la finalidad de aumentar su calidad de vida útil, no solo por su actividad antimicrobiana sino porque es un compuesto resistente y flexible, permitiendo el paso de oxígeno (Vargas et al, 2010). También resalta en la fabricación de medicamentos de vía oral, ya que prolonga su período de liberación en el intestino.
- Como tiene una alta capacidad coagulante, es capaz de usarse en el tratamiento de aguas para la recuperación de residuos sólidos en suspensión. Aquí también destaca su alta capacidad antimicrobiana para la eliminación de microorganismos perjudiciales, por lo que está siendo tomado en cuenta para la fabricación de filtros de agua (Cooper et al, 2013).

1.5.3.3 Películas de quitosano

Las películas formadas a partir de quitosano para la preservación de alimentos han mostrado ser prometedoras por su carácter filmogénico. Estas películas son transparentes, flexibles, durables y sobre todo antimicrobianas; aunque sus propiedades dependen del tipo de material utilizado las condiciones de formación del film, tipo de plastificante usado, naturaleza del disolvente, entre otras (Guerrón, 2016).

La técnica para la producción y elaboración de películas obtenidas a base de quitosano es el método de evaporación de solvente que tiene tres etapas principales:

- 1)** Solubilizar el polímero con un solvente adecuado, en este caso, el ácido acético es la mejor opción para el quitosano.
- 2)** Adicionar un plastificante que puede ser alcohol polivinílico, aunque en ocasiones se usa la glicerina, ya que es un producto natural con excelentes propiedades como plastificante además de que es de fácil acceso y económico. Después de esto, la solución formada se vierte en una placa o recipiente.
- 3)** Por último, se da la evaporación del solvente, en ocasiones se usa el secador a una temperatura en específico o es secado a temperatura ambiente, sin embargo, la velocidad de secado y la temperatura son condiciones importantes para la calidad de la película (Dangaran et al, 2009)

CAPÍTULO 2

3. METODOLOGÍA

3.2 Métodos de extracción de quitina y obtención de quitosano

3.2.1 Método 1 y 2

La obtención de quitosano se basa en los diferentes métodos de extracción de quitina de los exoesqueletos de camarón; la diferencia de los métodos se basa en la concentración de los reactivos y del orden de las etapas. En la figura 2.1 se resumió el proceso a seguir en cada uno de los métodos que se establecieron.

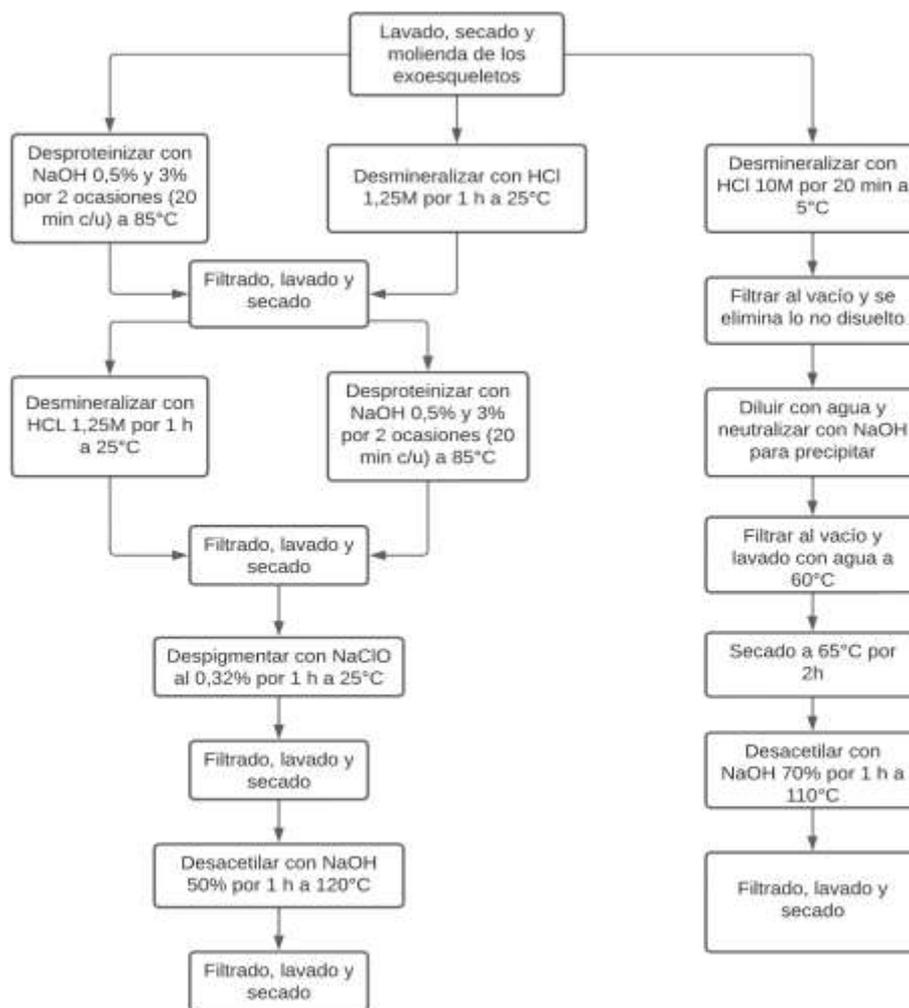


Figura 2.1 Diagrama de flujo de los tres procesos de obtención de quitosano

Para los primeros dos métodos de obtención de quitina, se necesitó lavar los caparazones de camarón para eliminar impurezas, se dejó secar y se molió. Finalmente, se pesó la cantidad obtenida.

La primera parte correspondió a la desmineralización del exoesqueleto en medio ácido, que consistió en la adición de HCl 1,25N en relación de 1:5 p/v a temperatura ambiente por 60 minutos, generando desprendimiento de CO₂. Luego del tiempo establecido, se procedió a filtrar y lavar el sólido con abundante agua hasta llegar a pH neutro. La muestra se secó a temperatura ambiente antes del siguiente paso.



Figura 2.2 Desmineralización con HCl al 1,25N

La segunda parte consistió en la desproteinización, donde se usó NaOH al 0,5% en relación de 1:5 p/v a una temperatura de 80°C por 30 minutos. Después se realizó la extracción múltiple en 2 ocasiones usando NaOH al 3% en relación de 1:5 p/v a una temperatura de 85°C por 20 minutos cada una. Luego, se filtró y se lavó hasta la neutralización con agua destilada. Hasta este punto se pudo obtener quitina la cual fue secada en estufa a 110°C por 2 horas.

Una vez realizado los dos primeros pasos, se realizó la despigmentación. En este caso la muestra se remojó con NaClO al 0,32% por 60 minutos a temperatura ambiente, luego se lavó para obtener nuevamente un pH neutro y la muestra de quitina se secó en la estufa a 70°C durante 6 horas. La obtención del quitosano se da en un tercer y último

paso llamado desacetilación que consistió en la inmersión de la quitina obtenida en una solución de NaOH al 50% en relación de 1:15 p/v a 120 °C por 60 minutos.



Figura 2.3 Producto obtenido después de la desacetilación

La diferencia entre los dos primeros métodos es el orden con el que se llevaron a cabo los pasos de desmineralización y desproteínización. En el método 1, la desproteínización fue el primer paso mientras que en el método 2, fue la desmineralización. Ambos coinciden en el mismo orden para la despigmentación y la desacetilación.

3.2.2 Método 3

También se realizó un tercer método que se destaca por la extracción de quitina en frío requiriendo una menor cantidad de energía y materiales. La materia prima para este método es preparada de la misma manera que las anteriores.

Se eliminó las impurezas que quedaron adheridas a los caparazones de camarón, se lavó y se secó para luego reducirlo a diferentes tamaños de partículas. En este caso se tomó una muestra de 20 g de material seco la cual se disolvió en 150 ml de HCl a 10M a una temperatura de 5°C durante 20 minutos.



Figura 2.4 Desmineralización con HCl 10M a 5°C

Transcurrido este tiempo, se filtró al vacío donde se eliminó el material no disuelto. Se midió el volumen del líquido filtrado para poder agregar tres veces este volumen en agua, luego se neutralizó con una solución NaOH al 70%, la total precipitación del biopolímero se obtuvo después de 60 minutos de reposo. La mezcla se separó por filtración al vacío, donde el precipitado fue lavado hasta neutralización con agua a 60°C para eliminar proteínas que puedan contaminar el producto. Hasta este paso se obtuvo quitina la cual fue secada a 65°C durante 2 horas y que luego fue triturada para darle una apariencia de polvo fino.



Figura 2.5 Precipitado del biopolímero después de la neutralización

Para la desacetilación de la quitina, se usó NaOH al 70% en relación 1:15 p/v a 110°C por 60 minutos. Luego se filtró y se lavó con agua a 70°C hasta la neutralización, el producto final fue secado en la estufa a 50°C durante 3 horas.

3.3 Determinación de las propiedades del quitosano

3.3.1 Peso molecular

Se realizó la determinación del peso molecular promedio mediante la viscosidad, se puede expresar el peso molecular relacionándolo directamente con la viscosidad en solución del polímero (Hernández & Aguirre, 2005). El quitosano se disolvió en una solución de ácido acético al 5% a distintas concentraciones del polímero, se usó un viscosímetro capilar Cannon – Fenske y se midió los distintos tiempos de caída entre los dos puntos del viscosímetro con diferentes concentraciones. El peso molecular se obtuvo a través de la ecuación de Mark – Houwink:

$$[\eta] = k * M^a = \lim_{c \rightarrow 0} [\eta]_{reducida} \quad (2.1)$$

$$[\eta]_{reducida} = \frac{[\eta]_{especifica}}{c} \quad (2.2)$$

$$[\eta]_{especifica} = [\eta]_{relativa} - 1 \quad (2.3)$$

$$[\eta]_{relativa} = \frac{\eta}{\eta_o} = \frac{t}{t_o} \quad (2.4)$$

$[\eta]$ es la viscosidad intrínseca mientras que k y a son constantes que se obtienen de la relación polímero – solvente, mientras que M es el valor del peso molecular medio y η_o es la viscosidad del solvente puro. Para el sistema de quitosano – ácido acético, los valores de las constantes son $k = 0,069$ y $a = 0,77$ (López et al., 2010).

3.3.2 Grado de desacetilación

Se determinó el grado de acetilación (DA) por espectroscopía infrarroja a través de la caracterización de la composición del quitosano, donde lo que se obtiene es restado al 100% para calcular el grado de desacetilación (Brugnerotto et al, 2001). Según el informe, se hizo la elección de líneas base y bandas características, donde después de varios ensayos se escogieron las bandas de 1650 y 1320 cm^{-1} para medir el DA, y como referencia interna a las bandas de 3450 y 1420 cm^{-1} , pero las de 3450 cm^{-1} tenían peor ajuste por lo que la relación de 1320/1420, dio una mayor concordancia para obtener mejores valores de DA. La curva de calibración está expresada por la siguiente ecuación:

$$\frac{A_{1320}}{A_{1420}} = 0,3822 + 0,03133 * DA \quad (2.5)$$

Donde A_{1320} y A_{1420} son las alturas de absorbancia a esas longitudes de onda (1320 y 1420 cm^{-1}), y DA representa el grado de acetilación.

3.4 Elaboración de películas poliméricas

Para la formación de las películas se usó el método de evaporación lenta de solvente, que es una de las metodologías más comunes para la cristalización. Se preparó soluciones de quitosano al 2% p/v en una solución al 5% v/v de ácido acético con una concentración de glicerina al 0.2% y se agitó durante 30 minutos. Antes de agregar la solución, se dejó preparando diferentes cajas Petri de vidrio de 10 cm de diámetro donde se formó la película, la cual es desengrasada con acetona, una vez agregado se introdujo en la estufa a una temperatura de 150°C durante 30 minutos, observando que el solvente se evaporó en totalidad.

3.4.1 Contenido de humedad

Con ayuda de un analizador de humedad modelo Hal. Moisture Analyzer HE73 (115V) marca Mettler Toledo se determinó el porcentaje de humedad contenido en la muestra. La muestra se calentó a 150°C con el fin de evaporar el agua y cuando el proceso terminó, el resultado se mostró como porcentaje (%) en la pantalla del equipo.

3.4.2 Solubilidad en agua

La PP es recortada en pequeñas piezas previamente pesadas las cuales se sumergieron en un vaso de precipitación con 50 ml de agua destilada con agitación constante durante

1 hora a temperatura ambiente. Después del tiempo establecido, las piezas son secadas a temperatura ambiente sobre un papel filtro por 24 horas, haciendo uso de la ecuación 2.6, se determinó su solubilidad.

$$\text{Solubilidad } [\%] = \left(\frac{\text{Peso}_{o,seco} - \text{Peso}_{f,seco}}{\text{Peso}_{o,seco}} \right) \times 100 \quad (2.6)$$

3.4.3 Espesor

El espesor de la PP se determinó con ayuda de un calibrador manual marca Stanley, se tomaron 8 mediciones en varios puntos de la película para posteriormente calcular el promedio del espesor de la muestra.

CAPÍTULO 3

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.2 Extracción de quitina y producción de quitosano

Aplicando la metodología detallada en el capítulo 2, a partir de una cantidad inicial de exoesqueleto de camarón, ácido clorhídrico y de hidróxido de sodio, se obtuvo diferentes cantidades de quitina y posteriormente quitosano, para cada uno de los métodos. La tabla 3.1 detalla lo obtenido a continuación:

Tabla 3.1 Resultados de la primera extracción de quitina y quitosano

	Método 1	Método 2	Método 3
Masa de exoesqueleto [g]	40.01	40.00	30.02
Masa de quitina [g]	2.91	3.76	1.40
Rendimiento extracción QA	7.27%	9.40%	4.66%
Masa de quitosano [g]	1.55	1.90	0.40
Rendimiento extracción QN	53.26%	50.53%	28.57%
Color de muestra	Blanco	Blanco	Gris claro

Debido a que el contenido teórico de quitina en el exoesqueleto de camarón varía entre un 14% y 30% (Márquez et al., 2006) y los resultados obtenidos en una primera experimentación no fueron los esperados, se realizó una nueva experimentación con una nueva cantidad inicial de exoesqueletos y omitiendo el método 3 ya que este presentó un color diferente y un muy bajo rendimiento para ambas extracciones. Los nuevos resultados obtenidos se presentan en la tabla 3.2:

Tabla 3.2 Resultados de la segunda extracción de quitina y quitosano

	Método 1	Método 2
Masa de exoesqueleto [g]	20.00	20.01
Masa de quitina [g]	4.65	5.12

Rendimiento extracción QA	23.25%	25.59%
Masa de quitosano [g]	3.35	3.82
Rendimiento extracción QN	72.04%	74.60%
Color de muestra	Blanco	Blanco

El porcentaje de rendimiento de la extracción de quitosano (QN) se calculó con respecto a la quitina obtenida en cada método, dando como resultado rendimientos que se encuentran entre 72.04% y 74.60%. Los porcentajes de extracción de quitina (QA) también se encuentran dentro de los parámetros mencionados anteriormente (14% – 30%).

El método 2 tuvo un mejor rendimiento, esto debido a que la desmineralización se realizó como primer paso y se presentó una liberación de gases debido a la reacción del ácido con los minerales presentes. El proceso de desproteización dificultó la filtración por la alteración en la apariencia de la muestra, por lo que una parte del producto se perdió en ambos métodos, pero más en el método 1 debido a que este proceso se llevó a cabo primero.

Se puede apreciar que el rendimiento obtenido en el método 3 es el más bajo de todos, esto se debe a que la muestra fue sometida a procesos de desproteización y desmineralización más severos con reactivos a mayor concentración y a una baja temperatura. También se observa en la figura 3.3 que la muestra es de color gris, debido a que no se le realizó despigmentación, sin embargo, la muestra tuvo que haberse mantenido en un color blanco hueso, pero sufrió cambios en su color durante el secado en la estufa, a diferencia de las otras muestras (Figura 3.1 y 3.2) que fueron blanqueadas con una solución de hipoclorito de sodio - agua y que mantuvieron su color hasta después del secado.



Figura 3.1 Muestra de quitosano obtenido por el método 1



Figura 3.2 Muestra de quitosano obtenido por el método 2



Figura 3.3 Muestra de quitosano obtenido por el método 3

4.2.1 Caracterización de quitina

Antes de la obtención de quitosano, se caracterizó la quitina después de su despigmentación mediante FTIR. La figura 3.4 muestra el espectro IR de la quitina del método 1, las bandas presentes entre 3500 y 2800 cm^{-1} en el espectro son cercanos a los resultados reportados por Monter et al. (2016), quienes muestran la comparación de espectros IR entre la quitina obtenida por ellos y la quitina comercial. La banda que se observa aproximadamente en 3390 cm^{-1} corresponde al estiramiento de los grupos OH- y que se extiende hasta los 3260 cm^{-1} correspondiente al estiramiento asimétrico N-H

característico del grupo amida presente en el polisacárido. Así mismo, la banda localizada a 2961 cm^{-1} se le puede atribuir a la presencia de grupos COCH_3 mientras que la ubicada en 2930 cm^{-1} es de los enlaces C-H.

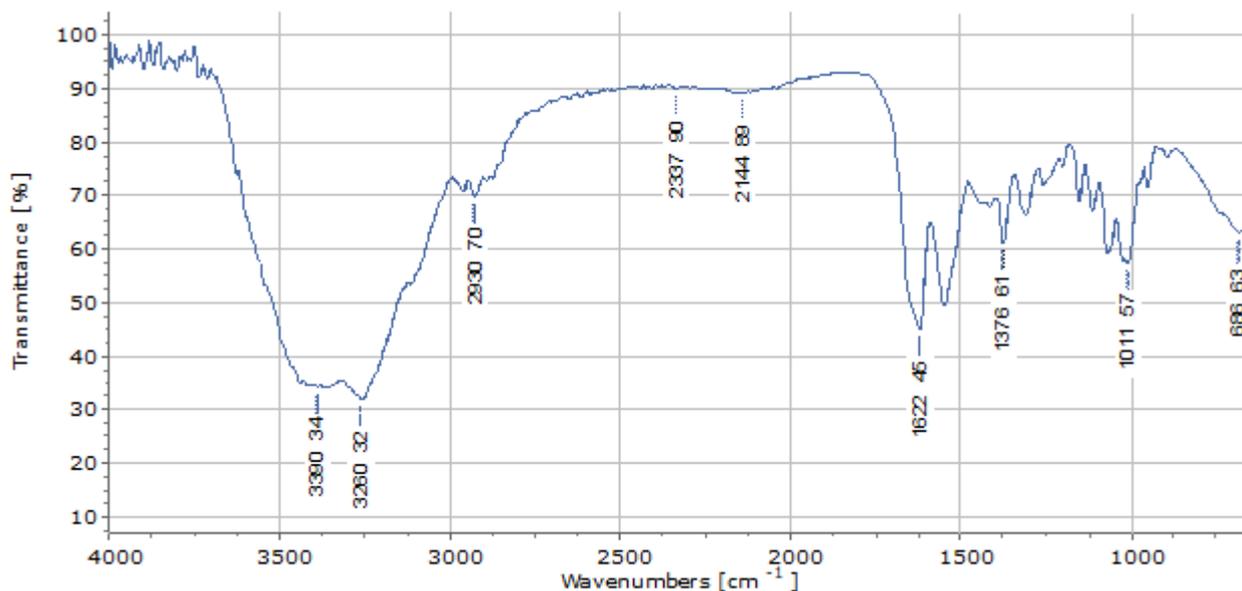


Figura 3.4 Espectro IR de la quitina obtenida en el método 1

Tabla 3.3 Asignación de las señales de las bandas relevantes de la quitina obtenida en comparación con una muestra comercial

Longitud de onda (cm^{-1})		
Asignación	Quitina comercial	Quitina obtenida
O – H	3440	3390
COCH_3	2979	2961
C – H	2921	2930
C = O del grupo <i>N</i> -acetil	1619	1622
N – H del grupo <i>N</i> -acetil	1554	1549

4.3 Evaluación de propiedades del quitosano obtenido

Mediante los espectros IR obtenidos, se lograron ver las bandas características de los grupos funcionales del quitosano. En la figura 3.5 se presenta el espectro IR de la muestra del método 1.

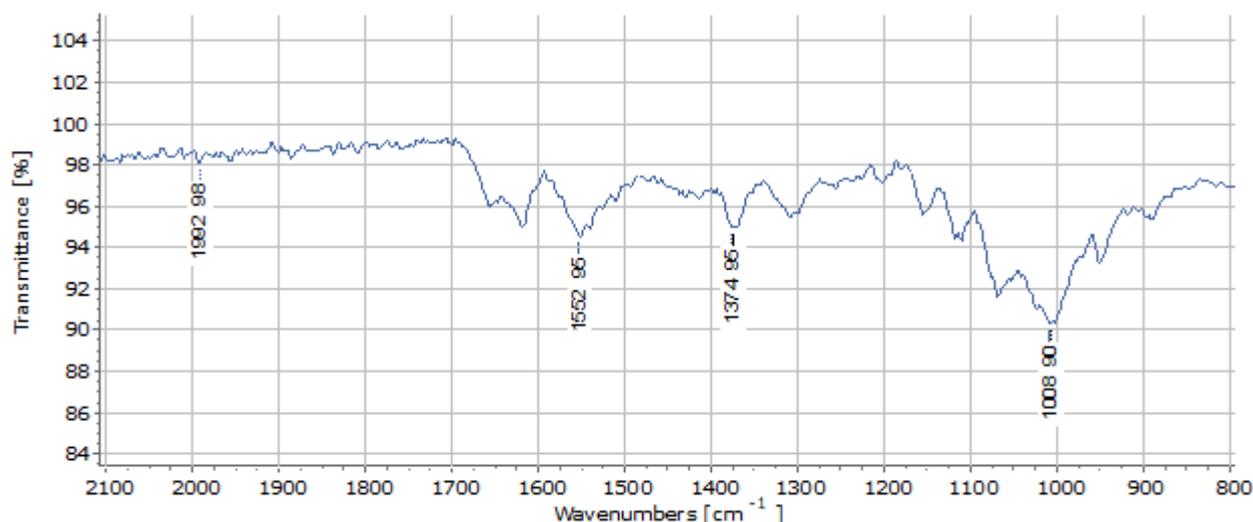


Figura 2.5 Espectro IR del quitosano obtenido en el método 1

En comparación con el espectro de la quitina (Figura 3.4) el espectro de quitosano presentó una señal más intensa en aproximadamente 1554 cm^{-1} , lo cual indicó la desacetilación de la quitina para convertirse en quitosano. La desacetilación también es confirmada por la disminución en la intensidad en la banda cercana a 1626 cm^{-1} , indicativo de la eliminación de los grupos COCH_3 en el polímero, dejando más grupos NH_2 expuestos.

Tabla 3.4 Asignación de las señales de las bandas relevantes del quitosano obtenido en comparación con una muestra comercial

Longitud de onda (cm^{-1})		
Asignación	Quitosano comercial	Quitosano obtenido
C – O	1626	1620
C = O del grupo N-acetil	1655	1657
N – H del grupo N-acetil	1554	1553

4.3.1 Determinación del peso molecular

En la tabla 3.5 se presentan los resultados obtenidos del peso molecular viscosimétrico de los quitosanos, una vez aplicado la ecuación de Mark – Houwink para su cálculo (Apéndice C).

Tabla 3.5 Peso molecular de cada método

Muestra de quitosano	η_{int} [g/ml]	Mv [g/mol]
Método 1	1441.8	4.07×10^5
Método 2	1254.6	3.40×10^5

Estos valores están en el rango de peso molecular teórico del quitosano, anteriormente se reportó que su peso puede variar entre 5×10^4 y 2×10^6 g/mol. Según los datos de López et al. (2010) el quitosano comercial presenta un alto peso molecular que es aproximadamente 7.43×10^5 g/mol, por lo que comparando ambos pesos obtenidos se puede considerar a la muestra del método 1 como un peso molecular medio mientras que el del método 2 como un peso molecular bajo.

4.3.2 Determinación del grado de desacetilación

El grado de desacetilación de los quitosanos sintetizados se calculó usando los espectros IR de cada método lo cuales están anexados en el apéndice B y la curva de calibración detallada en la metodología. Los valores obtenidos se muestran en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Grado de desacetilación (DD) de cada método

Muestra de quitosano	A_{1320}/A_{1420}	DD [%]
Método 1	1.13	76.03
Método 2	1.92	50.92

Se observa que los porcentajes alcanzados para el grado de desacetilación están por encima de la media, sin embargo, el método 2 apenas superó el 50% por lo que este resultado puede deberse a la única etapa de desacetilación a la que fue sometida la quitina por lo que se asume que, si el proceso se lleva a cabo en dos o más etapas, el DD puede aumentar.

4.4 Evaluación de película polimérica

En la figura 3.6 se observa el resultado de las películas poliméricas obtenidas para cada uno de los métodos. Las películas para el método 1 y 2 después de desmoldarlo de la caja Petri, no mantuvieron su forma circular y se fragmentaron en varias partes, esto puede deberse a que no se usó la glicerina como plastificante ya que no se mezclaba

por completo en la solución y después de la evaporación del solvente este aún no formaba parte de la película por lo que se decidió dejar de lado el plastificante para solo obtener películas poliméricas frágiles y pocos flexibles.

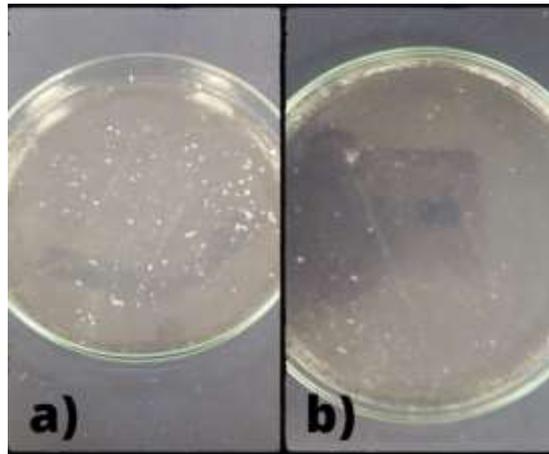


Figura 3.6 Películas poliméricas sin desmoldar: a) Método 1, b) Método 2

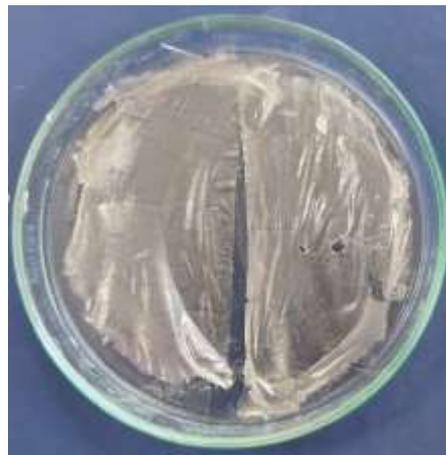


Figura 3.7 Película polimérica obtenida

Con respecto a su color, en la figura 3.7 la película obtenida tiene una leve coloración oscura, esto puede deberse a la presencia de pequeños fragmentos de quitosano que no fueron despigmentados antes de la desacetilación de la quitina y que generan esta apariencia en el producto final aunque según Huaracha (2016) en su estudio sobre películas modificadas de quitosano, la mayoría de películas obtenidas a partir de quitosano muestran siempre una apariencia ligeramente amarilla y que se oscurece a medida que el espesor aumenta.

Tabla 3.7 Resumen de las características de la película polimérica obtenida

Contenido de humedad	24.85 %
Solubilidad en agua	15.61 %
Espesor	141 μm

La caracterización de la película (Tabla 3.7) se realizó conforme a lo explicado anteriormente en la metodología. El contenido de humedad de la película fue tomado en dos ocasiones (24.76 y 24.95%), la humedad de una película de quitosano oscila entre 19 y 25% debido a la hidrofobicidad de los grupos acetilo en la molécula de quitosano (García et al., 2015) por lo que lo obtenido es semejante a lo reportado anteriormente. La solubilidad en agua se realizó obteniendo un solo resultado, se puede decir que la naturaleza hidrofóbica del quitosano produce un efecto negativo con respecto a la solubilidad por ende afectando a la degradabilidad de la película.

También se obtuvo el espesor de la película, calculando un promedio, el cual se esperaba que fuera 70 μm , pero resultó ser de mayor proporción. El espesor de las películas influye en sus propiedades como recubrimiento sobre todo en la permeabilidad al oxígeno (Plascencia et al., 2010) ya que esta propiedad disminuye al aumentar el grosor de la película, así como la influencia de este en el color de la misma.

CAPÍTULO 4

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

En el presente trabajo se analizó la factibilidad para la elaboración de películas poliméricas biodegradables a través de la obtención de quitosano a partir del exoesqueleto del camarón blanco. Se realizaron 3 métodos de obtención de quitosano, de los cuales 2 fueron efectivos para la elaboración de películas poliméricas. Luego de la obtención de las películas poliméricas y el análisis de sus propiedades se determinó que el primer método presentó los mejores resultados.

Para la síntesis de las películas poliméricas no fue factible el uso del plastificante, debido a que no se mezclaba homogéneamente con la solución de quitosano; sin embargo, fue posible la obtención de la película polimérica sin el uso de la glicerina. Parámetros como flexibilidad de la película polimérica se vio afectado debido a la ausencia del plastificante, motivo por el cual las PP se volvieron frágiles al contacto.

La caracterización del quitosano fue realizada mediante la prueba de FTIR, teniendo gran similitud con las encontradas en la literatura. Se logró identificar la banda cercana a 1621 cm^{-1} , lo cual indica que la muestra presentaba un mayor grado de desacetilación. Se obtuvo el peso molecular de la metodología 1 y 2, cuyos valores fueron $4.07 \times 10^5\text{ g/mol}$ y $3.40 \times 10^5\text{ g/mol}$, respectivamente. El peso molecular se relaciona con la resistencia que van a soportar las PP, por lo que se prefiere el peso molecular más elevado, mientras que el grado de desacetilación del quitosano para ambos métodos es de 76.03% y 50.92%, respectivamente, por lo que se prefiere el método 1.

Se evaluaron las propiedades de las PP, su coloración resultó ligeramente opaca, debido a que una mínima cantidad de quitosano no completó el proceso de despigmentación. Por otro lado, la solubilidad de la PP resultó ser 15.61%, inferior a la literatura, esto afecta principalmente a su degradabilidad, haciendo que este proceso sea ligeramente mayor; mientras que el espesor obtenido fue de $141\ \mu\text{m}$. El espesor se relaciona con la permeabilidad de oxígeno que posee la PP, el espesor obtenido fue superior al esperado,

dando como resultado una menor permeabilidad de oxígeno, dicho resultado muestra la viabilidad de su uso como un empaque.

4.2 Recomendaciones

Se recomienda estudiar con mayor profundidad las condiciones de las variables de reacción, específicamente orientadas a la obtención de quitosano de peso molecular y grado de desacetilación medio. En base a los resultados se podrían evaluar más a detalle las propiedades del quitosano, para su posible aplicación en diferentes áreas, por ejemplo, la elaboración de cápsulas en la industria farmacéutica.

Una alternativa para complementar la caracterización por el método FTIR para futuras investigaciones, se recomienda caracterizar la muestra de quitosano por el método de DSC, con la finalidad de tener una mayor certeza del tipo de muestra que se obtuvo luego de la síntesis.

Para mejorar la solubilización del quitosano en el ácido acético se recomienda moler la muestra lo más fina posible, con la finalidad de facilitar el proceso de homogenización de la solución.

Se sugiere realizar investigaciones usando diferentes tipos de camarones, tanto de acuicultura y mar, para comparar las características del quitosano obtenido y la evaluación de sus propiedades, orientado a la realización de biopelículas poliméricas.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Alvarado Durán, F. J. (2012, January 1). Análisis de factibilidad de la exportación de cáscaras de camarón como materia prima para la Industria Farmacéutica china: Investigación de Mercado. Repositorio Digital Universidad Casa Grande. Retrieved May 18, 2022, from <http://dspace.casagrande.edu.ec:8080/handle/ucasagrande/395>
- 2) Balart, R. A. [Universitat Politècnica de València - UPV]. (2011, 21 septiembre). *Cálculo del Peso Molecular en Solución Viscosa* [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=XXLabWAv_gg
- 3) Banco Pichincha. (2021, July 16). Ecuador marca el camino en la industria camaronera mundial. Banco Pichincha Ecuador. Retrieved May 18, 2022, from <https://www.pichincha.com/portal/blog/post/banco-pichincha-apoya-industria-camaronera-ecuatoriana>
- 4) Brugnerotto, J., Lizardi, J., Goycoolea, F., Arguelles-Monal, W., Desbrieres, J., & Rinaudo, M. (2001). An infrared investigation in relation with chitin and chitosan characterization. *Polymer*, 42, 3569–3580. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(00\)00713-8](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(00)00713-8)
- 5) Cabanilla, L. (n.d.). Desechos de camarón: UN Coctel de Oportunidades. Retrieved May 18, 2022, from https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/online/X1_71_4_1274_DesechosCamaron.pdf
- 6) Cámara Nacional de Acuicultura (2022). Reporte de Exportaciones Ecuatorianas anual 2021. Recuperado el 4 de mayo de 2022 de la base de datos Cámara Nacional de Acuicultura.
- 7) Chen, Y., Valle, D. M. A., Valdebenito, N., & Zacconi, F. (2020). *Mediciones y métodos de uso común en el laboratorio de Química*. Ediciones UC. <https://books.google.com.ec/books?id=9-1TDwAAQBAJ&lpg=PA114&dq=sistema%20de%20reflujo%20laboratorio&pg=PA114#v=onepage&q=sistema%20de%20reflujo%20laboratorio&f=false>
- 8) Cooper, R. Oldinski, H. Ma, J.D. Bryers, M. Zhang (2013). Chitosan-based nanofibrous membranes for antibacterial filter applications. *Carbohydrate polymers*, 92, 254-259.
- 9) Curbelo, C., Núñez, A., Véliz, E., & Fanego, S. (2018). Despigmentación de residuos de camarón con ozono. *Centro Azúcar*, 45, 51–63. http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar
- 10) Curbelo Hernández, C., & Palacio Dubois, Y. (n.d.). Tratamiento Químico de residuos de Camarón para la obtención de Quitina. Centro Azúcar. Retrieved May 18, 2022, from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612021000200103

- 11) Danganan, K.; Tomasula, P., Qi, P. 2009. Structure and Function of Protein Based Edible Films and Coatings. *Edible Films and Coatings for Food Applications*. pp. 25-56. DOI 10.1007/978-0-387-92824-1_2. Springer Science + Business Media
- 12) ECUADOR CHEQUEA. (2022, 16 febrero). *Ecuador es el primer productor de camarón a escala mundial*. Ecuador Verifica. <https://ecuadorverifica.org/2022/02/16>
- 13) El Universo. (2018, December 18). 90% del Plástico Producido por todo el mundo no se recicla. *Ecología | La Revista*. Retrieved September 4, 2022, from <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/12/18/nota/7104282/90-plastico-producido-todo-mundo-no-se-recicla/>
- 14) García, O., Pinzón, M., & Lucas, J. (2015). Propiedades físicas y ópticas de películas a base de almidón de plátano guayabo (*Musa Paradisiaca* L.). *Revista Alimentos Hoy*, 23(36), 127–132. <https://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/350>
- 15) Guerrón, M. (2016). *Evaluación del procedimiento de obtención de un biopolímero a partir del hongo Ganoderma australe*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6860/1/T-UCE-0017-0017-2016.pdf>
- 16) Hernández, H., & Aguirre, J. (2005). Estimación de calidad en polímeros empleando sensores virtuales. *DYNA*, 72. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_serial&pid=0012-7353&lng=en&nrm=iso
- 17) Huaracha, M. (2016). *Estudio de la permeabilidad al vapor de agua en películas modificadas de quitosano*. <https://1library.co/document/yj78pjky-estudio-permeabilidad-vapor-agua-peliculas-modificadas-quitosano.html>
- 18) López, A., Rivas, J., Loaiza, M., & Sabino, M. (2010). Degradación de películas plastificadas de quitosano obtenidas a partir de conchas de camarón (*L.vannamei*). *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 25. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652010000200014
- 19) Mármol, Z., Páez, G., Rincón, M., Araujo, K., Aiello, C., Chandler, C., & Gutiérrez, E. (2011). Quitina y Quitosano polímeros amigables. Una revisión de sus aplicaciones. *Revista Tecnocientífica URU*. <http://www.revencyt.ula.ve/storage/repo/ArchivoDocumento/rtcuru/n1/art06.pdf>
- 20) Márquez, M., Martínez, G., Santoni, N., Matos, M., Arnal, M., Muller, A. J., Rosales, C., Sabino, M., & Ajami-Henríquez, D. (2006). Potencial uso de quitina y quitosano en materiales compuestos y nanocompuestos para aplicaciones biomédicas. *Biomateriales, polímeros petroquímicos y sus mezclas: Características y Nuevos Hallazgos*, 227–263.
- 21) Mata, M., Guerrero, C., Rojas, M., Delgado, R., González, C., Sánchez, V., Pérez, D., & Vázquez, G. (2017). Componentes Principales mediante Espectroscopia FTIR como Técnica de Caracterización Innovadora durante la Diferenciación de Células

Madre Pluripotentes a Células Pancreáticas (N.o 1).
<https://doi.org/10.17488/rmib.38.1.17>

- 22)** Monter, J., Tirado, J., Zamudio, P., Ríos, C., Ornelas, J., Salgado, R., Espinosa, V., & Hernández, F. (2016). Extracción y caracterización de propiedades fisicoquímicas, morfológicas y estructurales de quitina y quitosano de *Brachystola magna* (Girard). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 15(3), 749–761. <https://www.redalyc.org/pdf/620/62048168007.pdf>
- 23)** Moreno, E., Alfaro, R., Guzmán, V., Rimaycuna, J., & Cruz, G. (2016). Effect of the reduction in the chitosan molecular weight produced from giant squid (*Dosidicus gigas*) pen using two methods of depolymerization on their antimicrobial capacity. *Manglar*, 13(1), 25–33. <https://doi.org/10.17268/manglar.2016.004>
- 24)** Parada, L., Crespín, G., Miranda, R., & Katime, I. (2004). Caracterización de quitosano por viscosimetría capilar y valoración potenciométrica. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 5. <https://reviberpol.files.wordpress.com/2019/08/2004-parada.pdf>
- 25)** Plan V. (2020) *Los desechos Plásticos Aún Ingresan al Ecuador sin control*. (2022, March 31). Retrieved September 4, 2022, from <https://www.planv.com.ec/historias/plan-verde/desechos-plasticos-aun-ingresan-al-ecuador-sin-control>
- 26)** Plascencia, M., Hernández, A., Olayo, R., Viniegra, G., Castillo, M., & Shirai, K. (2010). *Elaboración y caracterización de películas de quitosano: Evaluación del efecto antimicrobiano sobre el crecimiento de Aspergillus niger*. https://smbb.mx/congresos%20smbb/puertovallarta03/TRABAJOS/AREA_VI/ORAL/OVI-10.pdf
- 27)** Ramirez, L., Plascencia, M., Huerta, S., Vázquez, H., Shirai, K. (2002). Obtención y caracterización de quitinas parcialmente desacetiladas mediante tratamiento biológico-químico. *VIII Simposio Latinoamericano de polímeros, II Simposio Iberoamericano de Quitina*. México. Libro de resúmenes.
- 28)** Rodríguez Crespo, G. de la C., Chiriboga Calderón, F. G., & Lojan Feijoo, A. C. (n.d.). Las camaronas ECUATORIANAS: Una Polémica medioambiental. *Revista Universidad y Sociedad*. Retrieved May 18, 2022, from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202016000300020
- 29)** Trujillo, A., Vega, P., & Barajas, L. (2014). *Potenciometría: Usos y Aplicaciones*. CienciAcierta. <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2014/06/05/potenciometria-usos-y-aplicaciones/>
- 30)** Vargas, M., González, C., Chiralt, A., & Cháfer, M. (2010). *Quitosano: Una alternativa natural y sostenible para la conservación de frutas y hortalizas*.

https://www.agroecologia.net/recursos/publicaciones/publicaciones-online/2010/ix-congreso/cd-actas/p1-calidad-agroalimentaria_PDF/1-7-quitosano-vargas.pdf

- 31)**Younes, I., Rinaudo, M. (2015). Chitin and chitosan preparation from marine sources. Structure, properties and applications. *Marine drugs*, 13(3), 1133–1174. <https://doi.org/10.3390/md13031133>
- 32)**Zambritisa S.A. (s. f.). *Preguntas acerca del Camarón*. Zambritisa. Recuperado 2 de mayo de 2022, de <http://www.zambritisa.com/preguntas.html>

APÉNDICES

APÉNDICE A

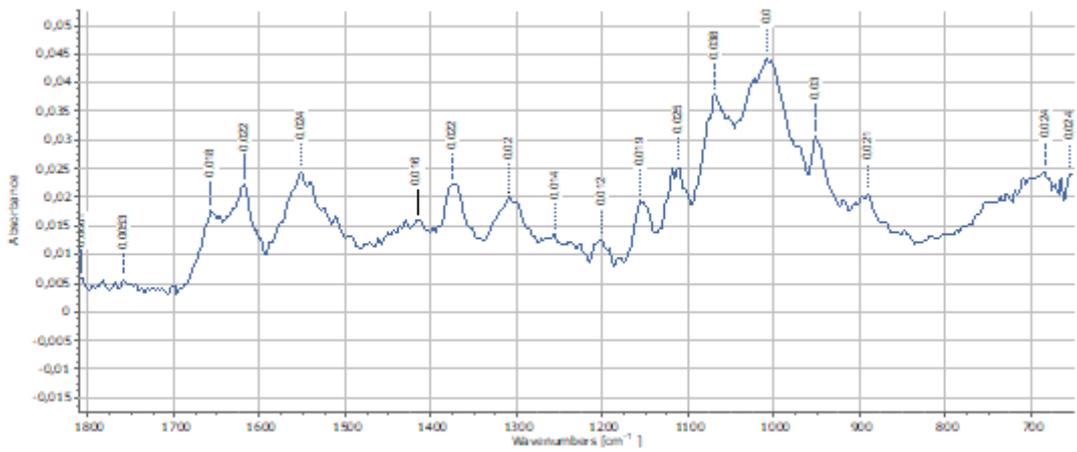
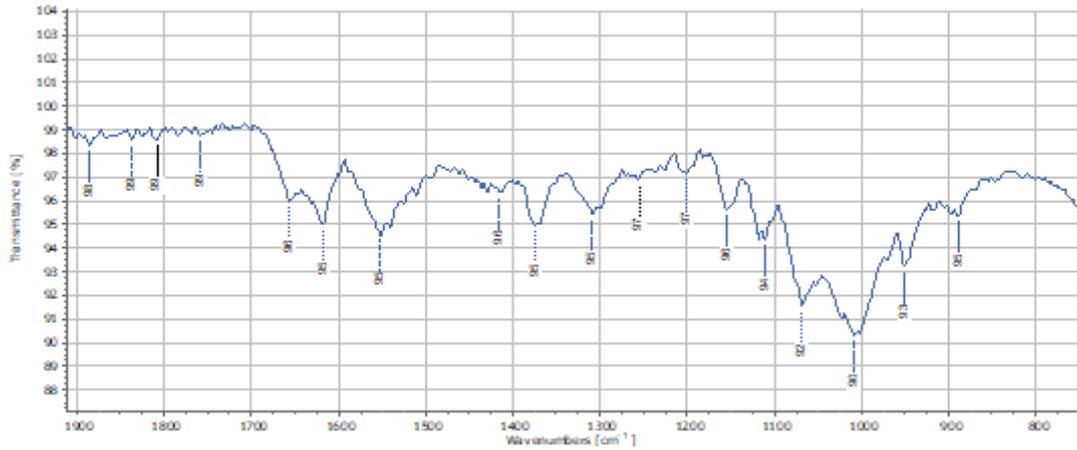
Resultados de las entrevistas

Describe el proceso de producción de la empresa	
Ing. Benavides	Ing. Chocho
La materia llega y es evaluada, después de eso pasa a planta donde es procesada.	La materia prima es evaluada, se clasifica para ser procesada directamente o tiene que ser descabezada antes.
¿Qué especie se comercializa más?	
Ing. Benavides	Ing. Chocho
En la planta de Durán, camarón langostino mientras que la planta de Guayaquil es camarón pomada.	Camarón langostino (<i>Litopenaeus vannamei</i>)
¿Cuáles son los recursos que son más utilizados dentro del proceso?	
Ing. Benavides	Ing. Chocho
Sobre todo agua, energía eléctrica, cartón y fundas plásticas.	Agua y energía eléctrica, la electricidad es lo que más consume la planta en cuestión de recurso.
Observación de problemas ambientales en la empresa	
Ing. Benavides	Ing. Chocho
Toda contaminación ambiental es tratada de ser controlada, puede haber contaminación del suelo o exceso de consumo de recursos.	Uso excesivo de agua y de residuos
¿Qué actividades realiza para disminuir la contaminación ambiental que produce la empresa?	
Ing. Benavides	Ing. Chocho
Existe la planta de tratamiento de agua y la recolección constante de los residuos.	La planta de tratamiento de agua está en constante funcionamiento, la limpieza de

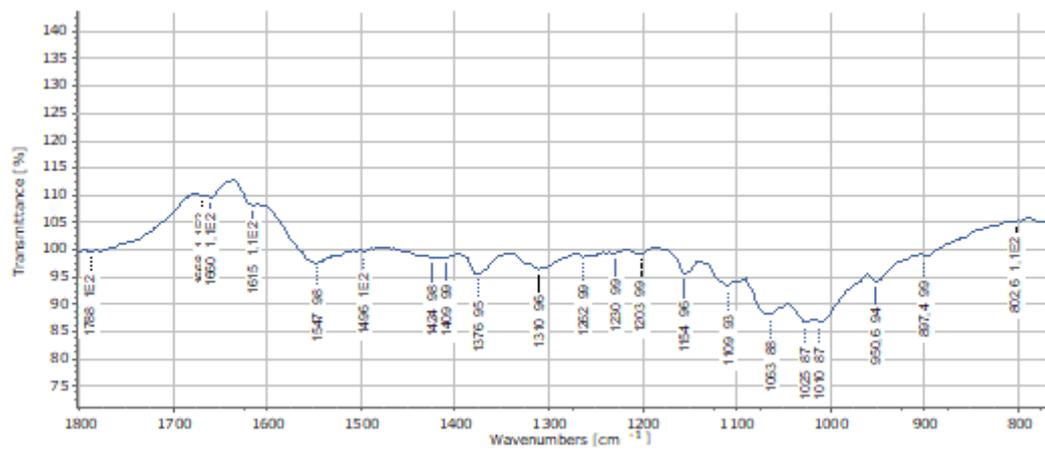
	la planta también es algo esencial para evitar malos olores.
¿Lleva algún control de la cantidad de empaque plásticos que se utilizan en la empresa?	
Ing. Benavides	Ing. Chocho
No, pero se puede saber cuánto se compra.	No, de todas formas, lo que es cartón y fundas para empackado llevan un registro de compras.
¿Ha realizado charlas de concientización sobre el uso de plásticos en el proceso?	
Ing. Benavides	Ing. Chocho
No, pero podría considerarse hacerlo en un futuro.	No, entre las charlas de capacitación no suele mencionarse problemas ambientales.

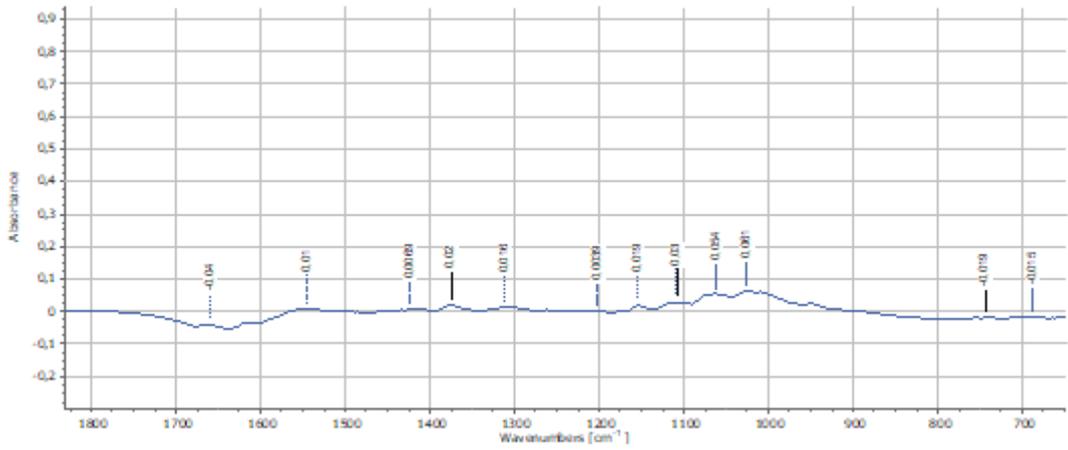
APÉNDICE B

Método 1 – Quitosano

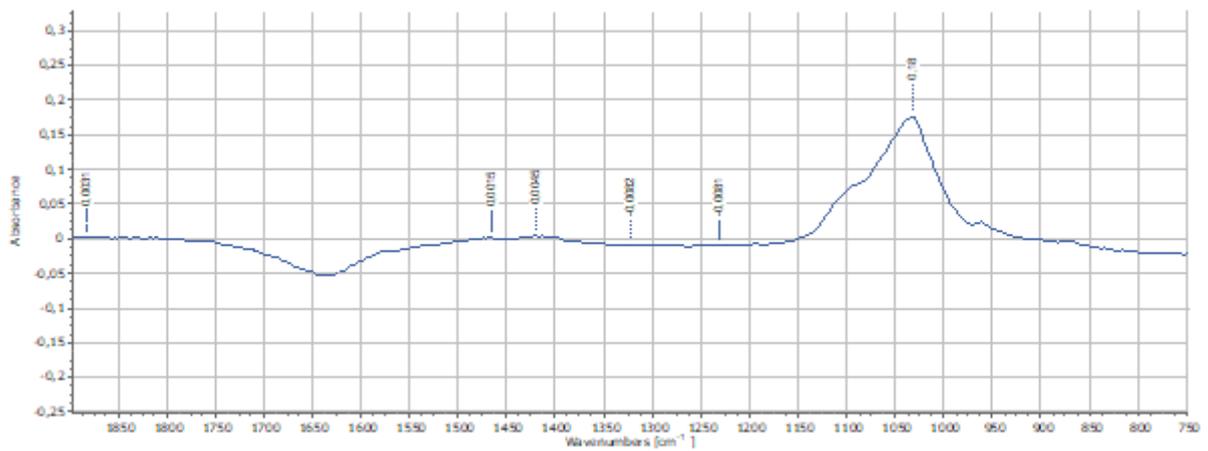
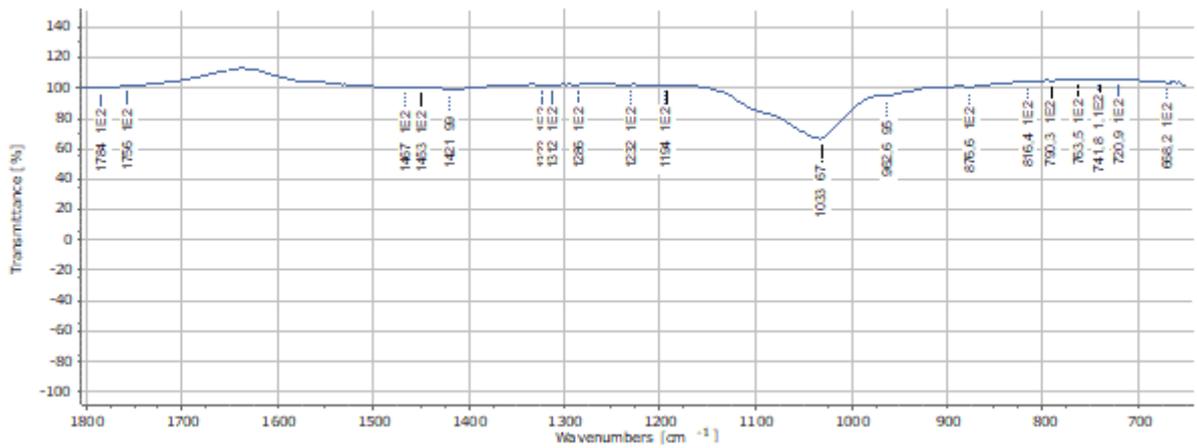


Método 2 -Qitosano





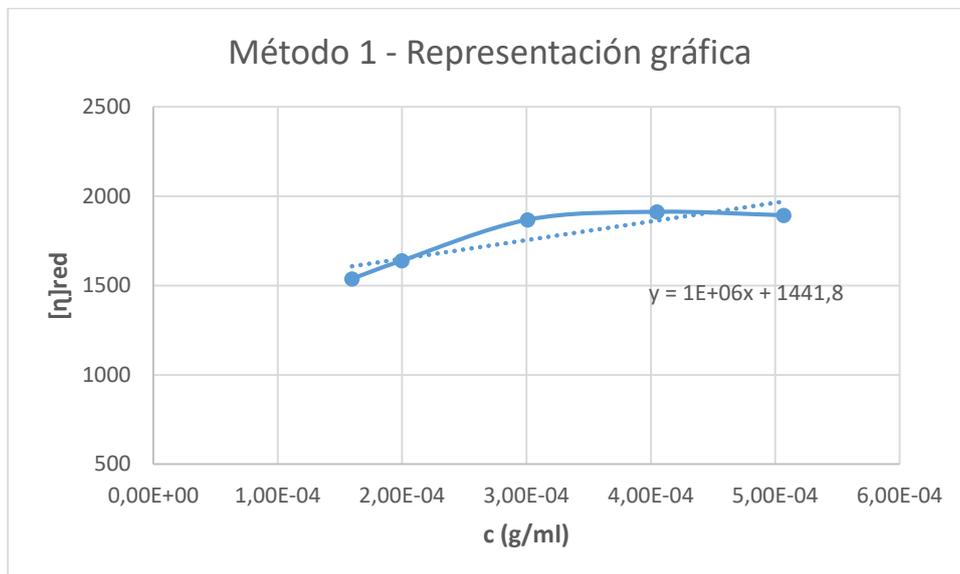
Método 3 - Quitosano



APÉNDICE C

- Ec. De Mark – Houwink para el método 1

c (g/ml)	t (s)	[η]rel	[η]sp	[η]red
0	26,01	-	-	-
1,60E-04	32,4	1,24567474	0,24567474	1537,87005
2,00E-04	34,54	1,32795079	0,32795079	1639,75394
3,01E-04	40,64	1,56247597	0,56247597	1868,69093
4,05E-04	46,16	1,77470204	0,77470204	1912,84454
5,07E-04	50,98	1,96001538	0,96001538	1893,52146



$$k = 0,069 \text{ y } \alpha = 0,77$$

$$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} [\eta]_{red}$$

$$[\eta]_{red} = 1E + 06 \cdot c + 1441,8$$

$$[\eta] = 1441,8$$

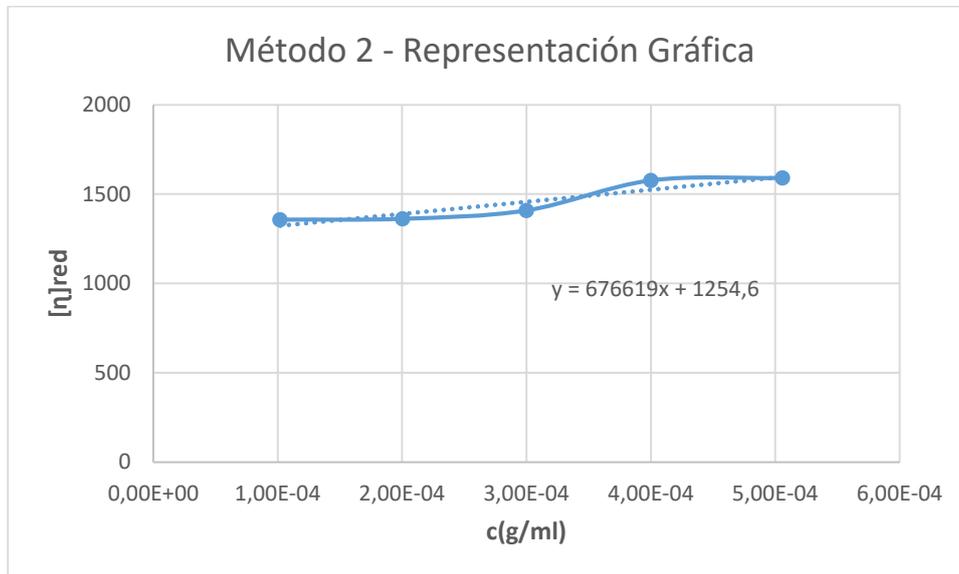
$$[\eta] = k \cdot M^\alpha$$

$$M = 407\,814 \text{ g/mol}$$

- Ec. De Mark – Houwink para el método 2

c (g/ml)	t (s)	[η]rel	[η]sp	[η]red
0	26,01	-	-	-
1,02E-04	29,61	1,1384083	0,1384083	1356,94416
2,01E-04	33,11	1,27297193	0,27297193	1361,45603
3,00E-04	37	1,4225298	0,4225298	1408,43265

4,00E-04	42,41	1,63052672	0,63052672	1576,3168
5,06E-04	46,94	1,8046905	0,8046905	1590,29744



$$[\eta]_{red} = 6,76E + 05 \cdot c + 1254,6$$

$$[\eta] = 1254,6$$

$$M = 340\,424 \text{ g/mol}$$

APÉNDICE D

Costos

Considerando las cantidades y el costo local de los reactivos, se calculó el costo total de las materias primas para producir 1 kg de quitosano a partir de los exoesqueletos de camarón.

Tabla 3.8 Valor en \$ de cada materia prima

Material	Valor unitario
Exoesqueletos de camarón	\$2.65/kg
Ácido Clorhídrico al 37%	\$15.34/kg
Ácido acético glacial	\$25.17/kg
Hidróxido de Sodio al 98%	\$28.65/kg
Agua destilada	\$1.10/kg

Tabla 3.9 Cantidad en kg requerida de cada materia prima para la producción de 1kg de quitosano según el método

	Método 1	Método 2	Método 3
	Cantidad [kg]	Cantidad [kg]	Cantidad [kg]
Exoesqueletos de camarón	4.30	3.90	75.00
Ácido clorhídrico al 37%	0.76	0.95	119.60
Hidróxido de Sodio al 98%	5.94	5.16	87.88
Agua destilada	38.70	35.60	31.20

Tabla 3.10 Valor total en \$ de cada materia prima para la producción de 1 kg de quitosano según cada método

	Método 1	Método 2	Método 3
	Valor total [\$]	Valor total [\$]	Valor total [\$]

Exoesqueletos de camarón	11.40	10.34	198.75
Ácido clorhídrico al 37%	11.65	14.57	1834.66
Hidróxido de Sodio al 98%	170.18	147.83	2517.76
Agua destilada	42.57	39.16	34.32
Total	235.80	211.90	4585.49

Según Dupont (2014) el precio de quitosano oscila entre los \$152 y \$1139 por kg, dependiendo del grado de pureza del producto y de las necesidades del mercado. El costo mínimo actual de quitosano comercial con características muy similares a las obtenidas en este trabajo es de \$282.46 (Carrilo et al, 2016).