

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FQF**  
Facultad de  
Química y Farmacia

Departamento de Ingeniería Química

## **TRABAJO DE DIPLOMA**

**Propuesta tecnológica para producir quitina y quitosano a partir  
de exoesqueletos de crustáceos**

**AUTOR:** Lianet Concepción Barreras

**TUTORES:** Dr. C. Néstor Ley Chong

Ing. Ernesto Miguel Arce Guevara

Santa Clara, Junio, 2019  
Copyright©UCLV

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FQF**  
Facultad de  
Química y Farmacia

Academic Department of Chemical Engineering

## **DIPLOMA THESIS**

**Technological proposal to produce chitin and chitosan from  
crustacean exoskeletons**

**AUTHOR:** Lianet Concepción Barreras

**THESIS DIRECTOR:** Dr. C. Néstor Ley Chong

Ing. Ernesto Miguel Arce Guevara

Santa Clara, June, 2019  
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

**Atribución- No Comercial- Compartir Igual**



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419.

## *Pensamiento*

*"Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado, un esfuerzo total es una victoria completa"*

*Mahatma Gandhi*

## *Dedicatoria*

### **A mis padres Eidania y Leonel...**

Por estar a mi lado en todo momento, por creer y confiar en mí, por motivarme y hacerme sentir siempre que puedo con todo... Gracias por su amor y sacrificio incondicional, gracias a ustedes me he convertido en la persona que soy... Los amo...

### **A mis abuelos Xiomara y Eusebio...**

Por ser tan incondicionales en todos los sentidos... Por su cariño, su desvelo, su entrega, porque más que abuelos son mis padres también y esto también se los debo a ustedes...

### **A mi hermana Liannet...**

Por ser una de las cosas más importantes y lindas en mi vida, por su admiración y confianza hacia mí, porque por ti también quiero ser una mejor persona... Estoy muy orgullosa de tenerte a mi lado y de la persona que eres...

## *Agradecimientos*

A toda mi familia por apoyarme, cuidar cada paso que doy, cada sueño y darme fuerzas para llegar a la meta propuesta, porque lo que soy hoy se resume en cada uno de ellos. Gracias por hacerme tan feliz, porque sin ustedes no hubiera podido lograrlo. Los amo.

A mi pareja, por brindarme seguridad, fuerza, apoyo y aliento en mis momentos de mayor flaqueza.

A mi tutor Néstor Ley Chong, por los conocimientos que me ha brindado y por dedicarme gran parte de su tiempo...Gracias por todo

A mis compañeros de aula, por la oportunidad de conocerlos y de compartir junto a ellos.

A mis amigas de siempre Aliani Araujo, Alejandra, Jessica, Liseth, Leidy Laura, Claudia y Andrea, a todas y a cada una quiero agradecerles por ser parte de mi vida, por los momentos compartidos...que son inigualables...Las voy a extrañar...

## Resumen

La industria procesadora de mariscos constituye una fuente significativa de desechos sólidos que poseen una gran variedad de sustancias de alto valor agregado, entre ellas, la quitina y el quitosano, ambos, biopolímeros con múltiples aplicaciones en la medicina, la industria farmacéutica, la agricultura, entre otras. Los métodos biológico y químico, son empleados como alternativas para la obtención de estas sustancias, con características y procedimientos distintos, pero con resultados y rendimientos satisfactorios en los dos casos.

El objetivo de este trabajo es proponer una tecnología económicamente factible para la obtención de quitina y quitosano por método químico, a partir de exoesqueletos de crustáceos como materia prima fundamental empleando ácido fosfórico como alternativa menos dañina y más económica en la etapa de desmineralización. Para ello se estudiaron diferentes tecnologías de producción estableciendo las principales etapas del proceso según los requerimientos necesarios de materiales y suministros, quedando definidas como etapas fundamentales, la trituración, desproteínización, desmineralización, desacetilación y el secado.

Además, se realizaron los balances de materiales y energía necesarios y dimensionamiento de los equipos fundamentales del proceso propuesto. Se realizó una evaluación técnica y económica dando como resultado que el proceso es económicamente factible con un VAN de \$ 539 358,96; una TIR de 66 % y un PRD de 1,8 años. Finalmente se analizó la sensibilidad del proceso, teniendo un efecto negativo sobre la factibilidad del mismo, la disminución del precio del quitosano en más de un 10%.

Palabras claves: quitina, quitosano, tecnología, equipos, factibilidad económica

## **Abstract**

Seafood processing industry is a significant source of solid waste that possess a wide variety of substances of high added value, including chitin and chitosan, both biopolymers with multiple applications in medicine, the pharmaceutical industry, agriculture, among other. The biological and chemical methods are used as alternatives to obtain these substances, with different characteristics and procedures, but with satisfactory results and performances in both cases.

The objective of this work is to propose an economically feasible technology for obtaining chitin and chitosan by chemical method, from exoskeletons of crustaceans as a fundamental raw material using phosphoric acid as a less harmful and more economical alternative in the demineralization stage. For this, different production technologies were studied, establishing the main stages of the process according to the necessary requirements of materials and supplies, being defined as fundamental stages the crushing, deproteinization, demineralization, deacetylation and drying.

In addition, the necessary material and energy balances and the dimensioning of the fundamental equipment of the proposed process were carried out. A technical and economic evaluation was carried out, showing that the process is economically feasible with a NPV of \$ 539 358,96; a IRR of 66 % and a PBP of 1,8 years. Finally, the sensitivity of the process was analyzed, having a negative effect on the feasibility of the same, the decrease in the price of chitosan by more than 10%.

Key words: chitin, chitosan, technology, equipment, economic feasibility

## Índice

<b>Introducción</b> .....	1
<b>Capítulo 1: Revisión bibliográfica</b> .....	4
<b>1.1 Generalidades de la quitina y el quitosano</b> .....	4
<b>1.2 Fuentes de quitina y quitosano</b> .....	6
<b>1.3 Características de la materia prima(Salas, 2011)</b> .....	7
<b>1.3.1 Langostas y Langostinos</b> .....	7
<b>1.3.2 Camarones</b> .....	7
<b>1.3.3 Cangrejos</b> .....	8
<b>1.4 Metodología empleada para la obtención de quitina y quitosano</b> .....	8
<b>1.4.1 Método biológico para la obtención de quitina</b> .....	8
<b>1.4.2 Método Químico para la obtención de quitina</b> .....	11
<b>1.4.3 Método enzimático para la obtención de quitosano</b> .....	11
<b>1.4.4 Método químico para la obtención de quitosano</b> .....	12
<b>1.5 Métodos de caracterización físico-química de la quitina y el quitosano</b> .....	12
<b>1.5.1 Determinación del porcentaje de quitina obtenida</b> .....	12
<b>1.5.2 Grado de desacetilación del quitosano</b> .....	13
<b>1.5.3 Determinación del porcentaje de cenizas</b> .....	15
<b>1.5.4 Determinación del porcentaje de humedad</b> .....	15
<b>1.5.5 Determinación del porcentaje de materia insoluble</b> .....	16
<b>1.6 Aplicaciones de la quitina y el quitosano</b> .....	16
<b>1.7 Caracterización del mercado mundial de quitina y quitosano</b> .....	18
<b>1.7.1 Producción en Estados Unidos</b> .....	18

1.7.2 Producción en Europa.....	19
1.7.3 Producción en Asia .....	19
1.7.4 Producción en Latinoamérica .....	20
1.8 Estudio de Patentes .....	21
1.8.1 Patentes americanas.....	21
1.8.2 Patentes europeas.....	22
Capítulo 2: Propuesta del proceso tecnológico .....	26
2.1 Etapas del proceso de obtención de quitina y quitosano .....	26
2.2 Balances de materiales y energía.....	32
2.2.1 Balance de materiales .....	32
2.2.2 Balance de energía .....	34
2.3 Selección y dimensionamiento de los equipos .....	37
2.3.1 Selección del molino.....	38
2.3.2 Selección del tipo de reactor .....	40
2.3.3 Selección del tipo de secador .....	43
Capítulo 3: Análisis económico .....	45
3.1 Costo total de inversión .....	45
3.2 Costo total de producción .....	47
3.3 Análisis de sensibilidad .....	51
Conclusiones.....	56
Recomendaciones.....	57
Bibliografía .....	58
Anexos.....	61

## **Introducción**

Uno de los grandes problemas que enfrenta y debe afrontar el mundo actual, es el destino final y tratamiento de los desperdicios generados, ya sean por la actividad cotidiana del hombre o por las actividades industriales.

La industria procesadora de mariscos constituye una fuente significativa de contaminación al medio ambiente, altamente generadora de desechos sólidos, que representan a nivel nacional y mundial, no solo un grave problema medioambiental, sino una fuerte carga económica.

Por tales motivos, países de todo el mundo han desarrollado y puesto en práctica desde décadas pasadas, numerosos estudios sobre los biopolímeros quitina y quitosano, sus diferentes métodos de obtención, propiedades y aplicaciones, al ser estos, sustancias de alto valor agregado presentes en los exoesqueletos de crustáceos como la langosta, el cangrejo y la jaiba.

La quitina es un polisacárido presente ampliamente en la naturaleza, es el segundo biopolímero más abundante después de la celulosa y se considera uno de los biopolímeros llamados a remplazar a los materiales plásticos usados por excelencia. Por su parte, el quitosano es el derivado más importante de la quitina a nivel industrial, se puede obtener mediante un proceso químico sencillo de desacetilación, esta característica y las múltiples aplicaciones del mismo han permitido que su producción se presente a gran escala y en un crecimiento constante.

Ambos polímeros, la quitina y el quitosano, son recursos renovables y tienen la ventaja de no ser agentes contaminantes ni para el organismo que los utiliza, ni para el medio ambiente que los recibe.

El mercado de la quitina y el quitosano ha venido evolucionando aceleradamente. En 1990, la producción mundial anual estimada era de unas 10 mil toneladas, mientras que, en la actualidad, la cifra se aproxima a las 30 mil toneladas y la tendencia es hacia una franca expansión a medida que se conocen más

aplicaciones de ambos polímeros y las regulaciones para su uso se extienden a diversos campos.

Las cifras disponibles indican que una porción elevada del mercado continúa dominada por el uso del quitosano como suplemento alimenticio y como agente floculante. Sin embargo, la mayor parte de las empresas que se han venido estableciendo en los últimos años está más orientada hacia aplicaciones de alto valor agregado en la agricultura, la biomedicina y el cuidado de la salud, aunque muchas todavía se mantienen como proveedoras de materia prima básica.

Cuba, a pesar de ser reconocida por la Sociedad Iberoamericana de Quitina como pionero en el estudio de estos valiosos polisacáridos, no cuenta con una planta de obtención de estos biopolímeros, solo con estudios, experimentos aislados y trabajos de laboratorios para la obtención de quitina y quitosano a partir de la langosta común. Desde finales de la década de los años 90 del pasado siglo y hasta el 2003 un laboratorio farmacéutico cubano llamado Mario Muñoz procesó residuos de langosta para la obtención de quitina con un rendimiento de 16%, pero desde esa fecha no existen en el país evidencias de producción de quitina.

Estados Unidos y Japón han sido los principales productores a lo largo de los años y en menor escala le han seguido India, Italia y Polonia y se estima que el liderazgo en ventas en el ámbito mundial ha estado encabezado por la Empresa Europea Primex, con el 15% del mercado.

Sin embargo, el panorama mundial se ha visto modificado y la producción y el consumo se han descentralizado con respecto a la situación mencionada, en dónde no solo ha aumentado el volumen de producción con la participación de nuevos actores globales, sino también los nuevos campos de aplicación han encontrado nuevos mercados que poseen un potencial de desarrollo futuro muy promisorio.

Según ha ido expandiéndose el campo de producción de estos biopolímeros, también ha ocurrido igual con los métodos empleados para la producción de los mismos, entre ellos los métodos biológicos y químico, ambos reportando buenos

resultados, pero este último representa un mayor grado de contaminación ambiental por el empleo de grandes cantidades de sustancias químicas, entre ellas, el ácido clorhídrico en su etapa de desmineralización.

### **Problema científico**

El método químico de obtención de quitina y quitosano empleando ácido clorhídrico, constituye un aspecto a destacar desde el punto de vista del impacto ambiental con respecto a otros métodos que pueden ser utilizados.

### **Hipótesis**

Si se propone una tecnología para la obtención de quitina y quitosano por método químico empleando ácido fosfórico, existe la posibilidad de minimizar los daños ocasionados al medio y los costos del proceso, al ser este ácido menos dañino y más económico.

### **Objetivo general**

Proponer una tecnología de producción más limpia, factible y viable para la obtención de quitina y quitosano por método químico

### **Objetivos específicos**

- 1- Estudiar las alternativas para la obtención de quitina y quitosano a nivel industrial
- 2- Formular el esquema tecnológico del proceso
- 3- Dimensionar el equipamiento necesario para llevar a cabo el proceso de obtención de quitina y quitosano
- 4- Realizar un estudio de prefactibilidad técnico-económico

## Capítulo 1: Revisión bibliográfica

### 1.1 Generalidades de la quitina y el quitosano

La quitina es el segundo polisacárido, después de la celulosa, de mayor abundancia en la naturaleza, presente en las paredes celulares de los hongos y los exoesqueletos de los artrópodos como crustáceos, insectos, y arácnidos. Presenta una tasa de reposición tan alta en la biosfera que en comparación con la celulosa, se duplica (Marcillo and Vélez, 2011).

La quitina es un compuesto de cadena larga integrado por moléculas idénticas de azúcares simples, es un polisacárido nitrogenado biodegradable, de alta masa molecular, compuesto por enlaces  $\beta$  (1-4) 2-acetoamida-2-desoxi- $\alpha$ -D-glucosa, o bien por unidades de N-acetil glucosamina, como se muestra en la Figura 1.1. Posee una consistencia dura e inflexible de tonalidad blanca y su producción industrial se basa en el tratamiento del desecho de las plantas procesadora de crustáceos como camarones, langostas y cangrejos. Es una sustancia no tóxica y biodegradable, de alto peso molecular. Su estructura es fibrosa y presenta características químicas y biológicas que le permiten una gran variedad de usos, que van desde la industria agrícola hasta la de los cosméticos (Salas, 2011).

La quitina posee excelentes propiedades mecánicas que permiten la formación de fibras y películas biodegradables. Entre sus derivados se encuentra el quitosano, la astaxantina, las proteínas, los pigmentos y el calcio. El primero de ellos, es el principal y se obtiene a través de la desacetilación (García and Ordóñez, 2011).

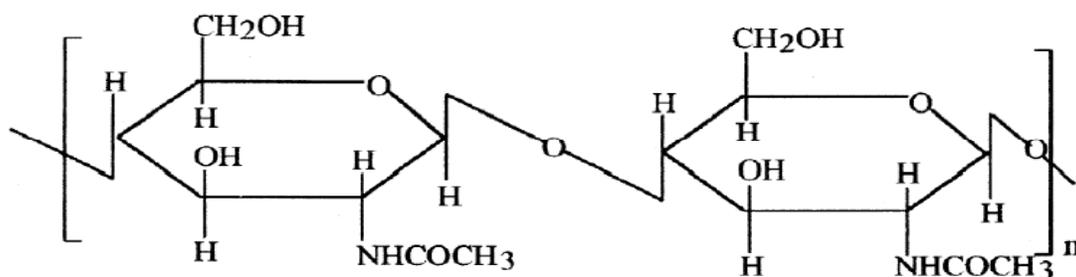


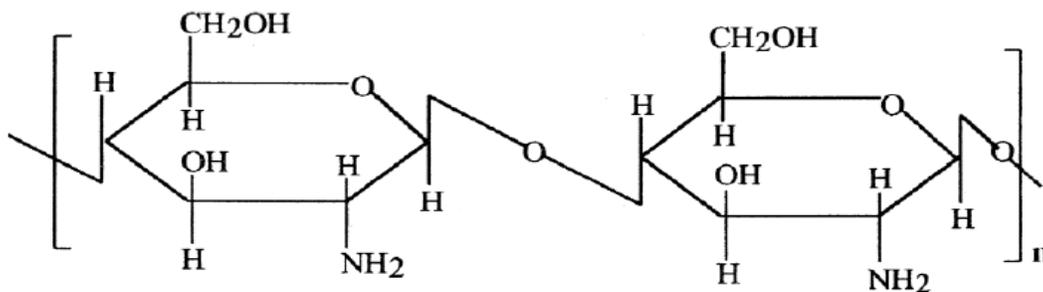
Figura 1.1 Estructura de la quitina

El quitosano es un polisacárido que está presente de manera natural en las paredes celulares de algunos hongos en pequeñas concentraciones. Su principal forma de obtención es a partir de la quitina, constituyendo el derivado más importante de ella. Esto tiene lugar mediante un proceso de hidrólisis en medio alcalino muy concentrado, usualmente hidróxido de sodio o de potasio, a altas temperaturas, ocurriendo la desacetilación(Caro, 2011).

Al igual que la quitina, el quitosano no se presenta como una molécula única, sus moléculas pueden variar en los valores de masa molecular y grado de desacetilación (GD) promedio o grupos aminos libres, lo cual determina la calidad de estos polímeros, influyendo no solo sobre el resto de sus propiedades físico-químicas, sino también en su biodegradabilidad, hinchamiento en agua, actividad inmunológica, bioactividad y biocompatibilidad(Peniche et al., 1996).

Es biocompatible, permitiendo sustituir o regenerar los tejidos vivos y tiene funciones de acelerador de la formación de osteoblastos responsables de la formación ósea; hemostático, fungistático, espermatocida y anticolesterémico y depresor del sistema nervioso central, entre otras. Es soluble en ácidos clorhídrico, bromhídrico, yodhídrico, nítrico, perclórico, acético, glutámico y láctico(Cabarcas et al., 2011).

Para determinar su grado de desacetilación, la potenciometría constituye uno de los métodos más simples, rápidos y de bajo costo, requiriendo equipamiento y reactivos fácilmente disponibles en cualquier laboratorio. A continuación se representa la estructura del quitosano en la Figura 1.2.



**Figura 1.2** Estructura del quitosano

Las propiedades de la quitina y el quitosano, como el peso molecular y el grado de desacetilación, dependen principalmente de la fuente de obtención y de su método de producción. Asimismo, su contenido de humedad y de nitrógeno permitirá establecer sus grados de calidad(Salas, 2011).

## **1.2 Fuentes de quitina y quitosano**

Se estima que, actualmente, la industria de la captura, la acuicultura y procesado de crustáceos y moluscos (langostinos, camarones, cangrejos, centollas, langostas y calamares) genera anualmente 170 mil toneladas de desechos quitinosos sólidos, la mayor parte de la producción de estas especies se comercializa en los mercados internacionales con algún tipo de proceso, por ejemplo, descabezado o pelado(Valenzuela, 2006).

En el ámbito mundial se ha estimado una producción global de desechos quitinosos de 1'440.000 toneladas/año; lo cual implica que Iberoamérica contribuye aproximadamente con el 12% de esta cifra.

La fuente industrial principal de quitina actualmente es el exoesqueleto (caparazón) de muchos crustáceos (cangrejos, langostas, camarones y langostinos) debido a la facilidad de encontrar estos materiales como desecho de las plantas procesadoras de estas especies.

En el caso del camarón y el cangrejo, la quitina representa el 14-27% y 13-15%, respectivamente. En cutículas de crustáceos, la quitina está íntimamente asociada con las proteínas, sales inorgánicas tales como el carbonato de calcio y lípidos incluyendo los pigmentos, así el aislamiento abarca varias etapas de purificación(Pastor, 2004).

La pluma del calamar es en hecho la única fuente importante de p-quitina polimorfa, puesto que los crustáceos contienen exclusivamente  $\alpha$ -quitina.

Por su parte, el quitosano se puede encontrar en forma natural en las paredes celulares de algunas plantas y hongos, por ejemplo, en el *Mucorrouxiy*

Choanephoracucurbitarum con se encuentra entre un 28% y 30% de quitosano, respectivamente (Flores, 2011).

### **1.3 Características de la materia prima (Salas, 2011)**

#### **1.3.1 Langostas y Langostinos**

- *Panulirus argus* (langosta): se encuentra en el Atlántico Centro y Sur Occidental desde el Golfo de México hasta Río de Janeiro, incluido el Mar Caribe, en Cuba, México, Honduras, Nicaragua y Brasil (Ríos et al., 2013).
- *Panulirus gracilis* (langosta verde): se encuentra en el Pacífico Centro Oriental desde Baja California y México hasta Panamá
- *Pleuroncodes monodon* (langostino colorado): se encuentra en Chile
- *Cervimunida johni* (langostino amarillo): se distribuye en el Pacífico Sur Oriental, en Chile
- *Nephrops norvegicus* (cigala, langostino): se encuentra en el Atlántico Nororiental desde Noruega hasta Marruecos y en el Mar Mediterráneo, en España y Portugal (García, 1980).

#### **1.3.2 Camarones**

- *Litopenaeus vannamei*, (camarón blanco del pacífico, camarón patiblanco, langostino rojo): se distribuye en el Pacífico Centro Oriental desde México hasta el norte del Perú.
- *Xiphopenaeus reedi* (titi): se encuentra en el Pacífico Centro Oriental en Panamá
- *Xiphopenaeus kroyeri* (camarón siete barbas): se encuentra en el Atlántico Sur y Centro Occidental, en Brasil, Venezuela, Colombia, Honduras y en el Golfo de México
- *Pleoticus muelleri* (camarón pelágico): se encuentra en el Atlántico Sur Occidental, desde Río de Janeiro hasta Santa Cruz en Argentina
- *Heterocarpus reedi* (camarón nailon): se encuentra en el Pacífico Sur, en Chile

- *Parapenaeus longirostris* (gamba): se encuentra en el Mar Mediterráneo, en España
- *Litopenaeus stylirostris*, (camarón azul, langostino blanco): desde el Pacífico Centro Oriental, México hasta Perú.

### **1.3.3 Cangrejos**

- *Callinectes sapidus* (jaiba azul del Atlántico): se encuentra en el Atlántico Centro Occidental desde el Golfo de México hasta el norte de Argentina.
- *Callinectes arcuatus* (jaiba azul del Pacífico, cangrejo): se distribuye en el Pacífico Centro y Sur Oriental desde Baja California hasta Perú. Llega a encontrarse en Chile durante el fenómeno de El Niño.
- *Callinectes danae* (jaiba dana): se encuentra en el Atlántico Centro Occidental desde el Golfo de México hasta el sur de Brasil.
- *Geryon quinquedens*: se encuentra en el Atlántico Sur Occidental.
- *Lithodes antarctica* (centolla): se encuentra en el Pacífico Sur Oriental y en el Atlántico Sur Occidental, en Chile y Argentina.
- *Paralomis granulosa* (centollón): se encuentra en Chile y Argentina.

## **1.4 Metodología empleada para la obtención de quitina y quitosano**

Existen varios métodos para la obtención de quitina y quitosano a partir de los exoesqueletos de los crustáceos, cada uno con características diferentes (Caprile, 2012)

### **1.4.1 Método biológico para la obtención de quitina**

Los métodos biológicos para la obtención de quitina son una alternativa a los métodos químicos, ya que estos emplean químicos corrosivos en alta cantidad y temperatura, así como alto gasto de agua y energía, generando considerables volúmenes de agua alcalina con alta demanda de oxígeno biológico (Pacheco, 2010).

Por su parte, la obtención de quitina por método biológico, no requiere grandes cantidades de sustancias químicas corrosivas a altas temperaturas, emplea pequeñas proporciones de agua y energía contribuyendo positivamente con los costos de producción, no proporciona residuos significativos, no produce desechos tóxicos, permite la obtención de proteínas y pigmentos con un alto valor comercial y nutricional, pueden usarse para la alimentación animal, pero tiene como desventaja el alto costo de las enzimas(Esmeralda, 2015).

El método biológico incluye el método microbiológico por fermentación láctica y el método enzimático, de los cuales se hablarán a continuación.

#### **a) Método Microbiológico por fermentación Láctica**

La fermentación de desechos de crustáceos usando bacterias productoras de ácido láctico, produce una fracción sólida que contiene la quitina cruda y una fracción líquida rica en proteínas, minerales y pigmentos.

El proceso a nivel de laboratorio involucra etapas de lavado, triturado y pesado del material, fermentación ácido láctica, procesamiento químico con NaOH al 5 % y NaClO al 0,38 % y secado del producto a una temperatura entre 45°C y 50°C.

La trituración se realiza para disminuir el tamaño del material con el propósito de promover la interacción entre las bacterias y el caparazón. De esta manera, se debilita la estructura del caparazón y se facilita la separación de la quitina, proteínas y calcio. El proceso de fermentación se lleva a cabo en un reactor vertical de vidrio provisto de una canastilla cilíndrica de acero inoxidable concéntrico, donde se deposita el material, y de un agitador vertical con hélice. Los desechos triturados se depositan en la canastilla y el suero lácteo se vierte en el reactor. La fermentación por lote se realiza por un período de 2 y 3 semanas a la temperatura ambiente. Cada 24 horas la mezcla se agita por lapsos entre 10 y 30 minutos. La agitación es particularmente importante durante las primeras etapas de la fermentación ya que permite un buen contacto sólido-líquido, lo cual es esencial para la promoción de la disolución de calcio y la consecuente

evolución de CO<sub>2</sub> que genera una atmósfera ideal que favorece a las bacterias del ácido láctico e inhibe a los organismos responsables de la putrefacción.

A las muestras que se extraen del proceso se les realiza un análisis químico que permite la evaluación de la remoción de proteínas y minerales provenientes del caparazón de crustáceos y la valoración del comportamiento de las bacterias durante la fermentación láctica. Se realizan análisis de pH, % de recuperación, determinación del porcentaje de acidez total (% ATT), determinación de calcio y espectro IR, entre otras pruebas.

### **b) Método Enzimático**

Otro de los métodos para la obtención de quitina a partir de desechos de crustáceos, es mediante el uso de proteasas, que se presenta como una alternativa al método descrito anteriormente. Entre las proteasas comerciales que se pueden utilizar para la extracción de quitina destacan la papaína, la tripsina, la pepsina y la alcalasa.

Esta técnica no consigue una desmineralización de la muestra, por lo que al final del proceso, se necesita realizar un tratamiento con un ácido fuerte para poder eliminar los minerales de ella. Utilizando este método, la proteína es recuperada en forma de hidrolizados, que pueden ser útiles en numerosas aplicaciones, como saborizante de alimentos procesados y también puede ser añadido a las bases de alimentos que se utilizan en la acuicultura. Además, también pueden ser fuente de péptidos biológicos activos con potenciales aplicaciones farmacéuticas, así como estimulantes de crecimiento de animales (Cisneros et al., 2018).

Aunque este método no es capaz de eliminar el 100% de proteínas, el contenido residual que pueda quedar, es eliminado fácilmente en la fase de desacetilación de la quitina para obtener el quitosano. Hay que tener en cuenta que este proceso es muy sensible a las condiciones de temperatura y pH, por lo que es imprescindible que estas condiciones se ajusten a cada tipo de enzima para lograr el mayor rendimiento posible, y siempre hay que mantener la agitación durante todo el proceso, para lograr una desproteínización homogénea.

#### **1.4.2 Método Químico para la obtención de quitina**

Este método es llamado también Método Tradicional, ya que ha sido el método más utilizado para la extracción de quitina, además de que fue el primero que se utilizó. Consiste en tratar el material de partida (desechos de los crustáceos) con diferentes reactivos químicos, con bases y ácidos fuertes, de forma sucesiva, para finalmente obtener la quitina, es un proceso químico de hidrólisis de la proteína y remoción del material inorgánico.

Este procedimiento involucra la desproteínización del material con hidróxido de sodio o de potasio para extraer las proteínas, la desmineralización o eliminación de las sales minerales como carbonato de calcio y carbonato de fosfato en menor cantidad, empleando ácidos fuertes como el ácido clorhídrico y el ácido sulfúrico o ácidos débiles como el ácido fosfórico. En algunos casos se realiza la despigmentación o blanqueo por medio de agentes oxidantes tales como el permanganato de potasio o hipoclorito de sodio y de solventes como etanol, éter, acetona y cloroformo. A través de este proceso, los productos resultantes presentan diferentes pesos moleculares y grados de desacetilación que dependerán de las condiciones de reacción.

Generalmente los métodos químicos emplean grandes cantidades de agua y energía y generan desechos corrosivos, además dificultan la recuperación de otros productos de alto valor comercial como proteínas y pigmentos.

#### **1.4.3 Método enzimático para la obtención de quitosano**

Para la obtención de quitosano se usa la quitina desacetilasa que es la enzima que cataliza la conversión de quitina a quitosano mediante la desacetilación de los residuos de N-acetilglucosamina. Esta enzima es una glicoproteína que se secreta tanto en la región periplasmática como el medio de cultivo de ciertos hongos. Además, exhibe una notable estabilidad térmica siendo su temperatura óptima de 50°C. Tiene la ventaja de producir quitosano con mayor uniformidad en cuanto a su grado de desacetilación y polimerización, a diferencia del proceso químico, en donde estos fenómenos ocurren al azar. Este hecho es muy apreciado para

aplicaciones biomédicas. Pero presenta baja efectividad de la enzima en la desacetilación de quitina insoluble, que hace necesario un pretratamiento

#### **1.4.4 Método químico para la obtención de quitosano**

El proceso químico de desacetilación para obtener quitosano puede realizarse de dos formas, homogénea o heterogénea. La primera consiste en suspender la quitina en el álcali y refrigerar la suspensión con hielo para disolver la quitina en la solución. Luego se somete a desacetilación a temperaturas cercanas a la del ambiente durante períodos largos de tiempo, lo que permite que la reacción no se localice en determinados lugares de la cadena y que el ataque a los grupos amidas sea más uniforme. La segunda forma consiste en dispersar las moléculas de quitina en una solución alcalina caliente, generalmente de hidróxido de sodio. Es conveniente repetir varias veces el tratamiento alcalino por cortos periodos de tiempo y aislando el producto en cada etapa. Para disminuir la pérdida de peso molecular del polímero es ventajoso la ausencia de oxígeno o la presencia de un antioxidante para evitar su despolimerización(Escorcía et al., 2009).

En la actualidad se exploran otros métodos más novedosos para desacetilar la quitina, entre estos, están el uso de la radiación con microondas y los tratamientos termo-mecánicos.

#### **1.5 Métodos de caracterización físico-química de la quitina y el quitosano**

##### **1.5.1 Determinación del porcentaje de quitina obtenida**

El grado de pureza de la quitina obtenida se puede determinar siguiendo el método de Black y Schwartz (1950) que consiste en colocar 5 g de muestra de quitina en un matraz balón, agregar 100 mL de HCl al 3 %, poner a reflujo por 60 minutos y lavar hasta alcanzar pH 7. Después de esto la muestra se vuelve a colocar en el matraz y se agregan 100 mL de NaOH al 5 % y se refluja por 60 minutos más, posteriormente se lava hasta eliminar el NaOH. La muestra es pesada y secada a 110°C por 15 minutos y se vuelve a pesar. Por último, se incinera a 700°C por 30 minutos y se pesa. El porcentaje de quitina en la muestra se calcula mediante la siguiente ecuación(De la Paz et al., 2012):

$$\% \text{Quitina} = \left( \frac{w_{ms} - w_{mi}}{w_m} \right) * 100$$

Donde:

$w_{ms}$ : Masa de la muestra seca (g)

$w_{mi}$ : Masa de la muestra incinerada (g)

$w_m$ : Masa de la muestra inicial (g)

### **1.5.2 Grado de desacetilación del quitosano**

El grado de desacetilación del quitosano puede determinarse a través de los métodos potenciométrico, Espectroscopía IR, Espectroscopía RMN y Espectroscopía UV, de los cuales se hablará a continuación.

#### **a) Método potenciométrico**

El grado de desacetilación de las variantes de quitosano obtenidas a escala de banco, piloto e industrial, puede ser obtenido empleando un método potenciométrico y las mediciones se realizan con un valorador. El procedimiento básicamente consiste en disolver el quitosano con un exceso de HCl 0,3 mol/L. La solución de quitosano se valora con una solución de NaOH 0,3 mol/L, valorada previamente con biftalato de potasio como patrón primario (Mármol, 2011).

La valoración se lleva a cabo midiendo el cambio de pH cada 2 mL de base añadida. La adición se realiza de forma lenta y con agitación continua para homogeneizar la solución y evitar errores debidos a la posible precipitación del biopolímero. De esta manera, se obtiene una curva de pH en función del volumen de NaOH añadido, la cual presenta dos puntos de inflexión; la diferencia entre ellos se corresponde con la cantidad de ácido requerido para protonar los grupos amino libres del quitosano (Cisneros et al., 2018).

$$\% \text{DD} = \frac{16,1(V_1 - V_2)f}{w}$$

Donde:

%DD: Grado de desacetilación

V1 y V2: volúmenes de NaOH 0,1 M correspondientes a los puntos de inflexión (ml)

w: Masa de la muestra (g)

f : Molaridad de la solución de NaOH (0,1 M)

16,1 es un valor relacionado con el peso equivalente del quitosano.

### **b) Espectroscopía IR**

Debido a su simplicidad es uno de los métodos más empleados, se aplica especialmente cuando se tiene muestras que no se pueden preparar soluciones acuosas ácidas, como es el caso de las quitinas, para ello se preparara una solución sólido al 2%, 100 mg con KBr. Este método consiste en correlacionar la relación de absorbencias entre dos bandas de absorción determinadas, con el % de acetilación de la quitina o quitosano. La selección de las bandas de absorción involucra una señal que depende del grado de N-acetilación (normalmente, una de las bandas amida) y otra que sirve de referencia interna para corregir las diferencias de grosor de las películas o de concentración en las pastillas de KBr(Escobar et al., 2013).

En todas las determinaciones por IR, es muy importante la selección adecuada de las líneas base en el cálculo de la absorbencia para alcanzar buenos resultados.

### **c) Espectroscopía RMN**

Es un método de alta resolución, no invasivo, muy útil para el estudio de las estructuras químicas y esféricas de los polisacáridos. La caracterización por RMN es simple y rápida para análisis de rutina en el laboratorio. En la parte experimental se pesa 2 mg de muestra y se disuelve en una solución ácida (HCl en D<sub>2</sub>O), luego se pasa por el equipo a 70°C(Castro and Vidal, 2015). Para el cálculo se usa la siguiente fórmula

$$\%GD = 100 \left( \frac{H-CH_3/3}{H-1+H-1} \right) * 100$$

Donde:

H – CH<sub>3</sub>: Valor del área bajo la curva de la señal del protón metálico

H – 1: Valor del área bajo la curva del protón con desplazamiento alrededor de 5,2ppm

#### **d) Espectroscopía UV**

Este método fue propuesto en 1985 por Muzzarelli y Rochetti y hace uso de la primera derivada de los espectros UV de la N-acetil-D-glucosamina (NAG), del quitosano y de disoluciones de ácido acético. El grado de acetilación se calcula haciendo uso de la ecuación siguiente, que relaciona la concentración de NAG determinada por medio de la curva patrón y la concentración de quitosano empleada en el ensayo.

$$\%GA = \left( \frac{NAG}{Quitosano} \right) * 100$$

#### **1.5.3 Determinación del porcentaje de cenizas**

Se incineran 2 g de muestra a la llama hasta total carbonización y desaparición de humos blancos. Seguidamente se incinera en mufla a 750–800°C durante 6 horas. El proceso final de enfriamiento se realiza en un desecador y se pesa el crisol, repitiéndose sucesivamente esta operación hasta peso constante. El criterio de aceptación es de 1,0%(Hernández et al., 2009).

Esta determinación permite conocer el contenido de materiales inorgánicos presentes en la muestra, es un parámetro muy importante al momento de evaluar las aplicaciones de un determinado quitosano o quitina(Concepción, 1999).

#### **1.5.4 Determinación del porcentaje de humedad**

Se pesan 2 g de muestra en una balanza analítica, colocándolos en una estufa a 105°C por 4 horas hasta peso constante. El criterio de aceptación es de 10%.

$$\%Humedad = \frac{P_{mh} - P_{ms}}{P_{mh}} * 100$$

Donde:

% humedad: Humedad

$P_{mh}$ : Peso de la muestra húmeda

$P_{ms}$ : Peso muestra seca

### **1.5.5 Determinación del porcentaje de materia insoluble**

Se determina disolviendo el quitosano 1,0% (p/v) en una solución de ácido acético al 1%, filtrándola con papel de filtro grado 610. El papel con el residuo se seca a 105°C, hasta peso constante. El criterio de aceptación es de 0,5%(Juárez, 2012).

### **1.6 Aplicaciones de la quitina y el quitosano**

Las aplicaciones de la quitina y el quitosano son muy amplias, existiendo sectores en los que su utilización es habitual y conocida, como se evidencia en los Anexos 1 y 2. Su aplicación está limitada principalmente debido a la variación en su composición química, grado de desacetilación, tamaño de la cadena polimérica y purificación. A continuación, se ejemplifican algunas de las aplicaciones de estos biopolímeros en algunos de los sectores más importantes y conocidos(Lárez, 2006).

#### **Agricultura**

Se utiliza en recubrimiento de semillas y frutos para alargar su tiempo de almacenamiento y de viabilidad, como fertilizantes, para la nutrición de los suelos, en la estimulación del crecimiento de los cultivos y de microorganismos benéficos y como agente bactericida(Lemus, 2007).

#### **Industria Cosmética y Farmacéutica**

Se utiliza en la elaboración de cosméticos dérmicos, capilares y pastas dentales. El quitosano despolimerizado se utiliza como ingredientes en champú, enjuagues y tónicos capilares. Debido que su solución acuosa es viscosa, forma películas, retiene la humedad y da suavidad al cabello. También se utiliza en cápsulas para

adelgazar, ya que atrapan la grasa, es empleado como agente hidratante y bactericida para jabones y cremas.

### **Tratamiento de aguas residuales**

Se utilizan como floculante para la remoción de partículas coloidales sólidas y aceites, como coagulante primario en aguas residuales de alta turbidez y alcalinidad, como precipitante de partículas coloidales sólidas, removedor de metales, surfactantes y aceite de pescado. También se ha demostrado su efectividad coagulante en aguas residuales industriales como las avícolas, lácteas, industrias de alimento y cárnicas(Lárez, 2003).

### **Medicina**

La quitina y el quitosano han sido usados desde la antigüedad para acelerar el saneamiento de heridas. Propiedades importantes del quitosano, como su biocompatibilidad, ausencia de toxicidad, capacidad para absorber líquidos, formación de películas y unión selectiva a ciertos lípidos como el colesterol, le han permitido tener grandes aplicaciones en el área de la medicina(Hernández, 2004).

También se ha utilizado en la elaboración de hilos de sutura, fabricación de lentes de contacto, producción de gasas y vendajes biodegradables, matrices para dosificación de fármacos, en ortopedia, estomatología y cremas bactericidas para el tratamiento de quemaduras. En Japón, se ha probado con éxito la implantación de piel artificial hecha a partir de quitosano y colágeno. Se puede usar para producir imitaciones del plasma sanguíneo evitando problemas de transmisión de enfermedades como el sida y hepatitis B(Morey and Quinde, 2012).

En relación a sus efectos sobre el colesterol, se ha demostrado que produce reducciones mayores que otras fibras, de hasta un 66% más que la celulosa, verificándose reducción del LDL-colesterol plasmático (colesterol malo) y aumento del HDL-colesterol (colesterol bueno).

Otros efectos beneficiosos para la salud que los fabricantes atribuyen al consumo de quitosano son la disminución de la presión en pacientes hipertensos; el

incremento en la biodisponibilidad de calcio, mejorando su absorción; menor incidencia de algunas enfermedades crónicas como cáncer de colon o enfermedades cardiovasculares y mejora el tránsito intestinal, efectos ligados en general, a toda dieta rica en fibras y baja en calorías(Cira, 2000).

### **Industria alimenticia**

Se utilizan para la conservación de alimentos, en los suplementos alimenticios, en la clarificación y purificación de bebidas, fibras dietéticas, agentes emulsificantes, estabilizantes, espesantes y gelificantes; mejorador de textura, retrasador del envejecimiento y la oxidación; como agente fungicida, estabilizador de color y controlador de la viscosidad. Como reductor de sólidos totales y recuperador de proteínas.

Dado que la quitina y quitosano no se absorben, han sido empleados como transportadores de enzimas, células, pigmentos, sabores y nutrimentos, también como medios de encapsulamiento que permiten la liberación controlada de ingredientes concentrados.

La actividad anti-colesterolémica detectada en el quitosano, ha permitido su incorporación como ingrediente en algunos alimentos como galletas y pastas dietéticas.

## **1.7 Caracterización del mercado mundial de quitina y quitosano.**

### **1.7.1 Producción en Estados Unidos**

La tendencia en el mercado norteamericano es hacia el establecimiento de empresas que comercialicen productos de alto valor agregado con aplicaciones en campos emergentes como la medicina genómica o la biomedicina.

Existen numerosas empresas norteamericanas productoras y comercializadoras de quitina y quitosano, tal como se evidencia en el Anexo 3, con muy diversas aplicaciones en los campos de la salud (matrices de soporte biocompatibles, coadyuvantes para la separación de proteínas, liberación controlada de fármacos), en la industria alimentaria (como conservador, estabilizante de color, portador de

pigmentos.), en la protección del ambiente (remoción de metales pesados, agentes coagulantes de proteínas), en ingrediente para cosméticos, en la agricultura (como recubrimiento de semillas, protección contra nemátodos) y como proveedores para la investigación científica(Pastor, 2004).

Por otra parte, el mercado de los suplementos alimenticios sigue creciendo y, a medida que el consumidor vaya exigiendo productos de mayor grado de pureza y bioactividad, la producción irá trasladándose hacia este tipo de iniciativas

### **1.7.2 Producción en Europa**

En el mercado europeo, los biopolímeros se expandieron de 300 mil a 500 mil toneladas en el año 2005. La demanda de quitina y quitosano en Europa no es tan grande como la de Japón; sin embargo, cada vez hay más empresas involucradas en la producción y aplicaciones de estos productos, sobre todo en el campo de la industria biofarmacéutica. La mayoría de estas compañías operan en Islandia, Alemania, España, Países Bajos y Noruega. La industria de tratamiento de aguas residuales consumió unas 2184 toneladas de quitosano en 1997 y el crecimiento del mercado se ha estimado en 6% por año(Pastor, 2004).

Al igual que en el caso de Norteamérica, los países europeos han desplegado una intensa actividad de investigación básica sobre la quitina y el quitosano que ha sentado las bases para el establecimiento de empresas basadas en el conocimiento, como se muestra en el Anexo 4. Algunos de los grupos más destacados se encuentran en Italia, Francia, Alemania, Noruega, España, Polonia e Inglaterra, que han promovido el establecimiento de empresas innovadoras en el campo de los biopolímeros(Caprile, 2012).

### **1.7.3 Producción en Asia**

En Asia, destaca la participación de Japón como productor y comercializador de productos de quitina y quitosano. Las empresas más destacadas son Katakura, Chlkkann y Kyowa Technos. La producción asiática total es de doce mil toneladas (70% proviene de Japón). También la India cuenta con un número considerable de fábricas de quitina y quitosano que trabajan a partir de desperdicios de

camarón(Salas, 2011). En el Anexo 5 se presentan algunas de las empresas asiáticas de mayor importancia.

#### **1.7.4 Producción en Latinoamérica**

Latinoamérica tendría la capacidad de generar hasta un 12% del material quitinoso que se produce a nivel mundial, produciendo 170.000 toneladas/año y generando 25.000 toneladas/año de quitina (2,5 veces la demanda actual de quitosano). Varios países de la región poseen empresas productoras de quitina y quitosano, así como también, producen y comercializan derivados de estos, muchos de los cuales están dirigidos al sector agrícola, lo cual se evidencia en Anexo 6.

En Colombia destacan dos empresas proveedoras de quitina, Inali, ubicada en Bogotá y Mantenitec, ubicada en Cali, sin embargo se desconoce el tipo y calidad del producto así como los volúmenes de producción. Otros países han comenzado a realizar estudios con la finalidad de construir plantas procesadoras de estos biopolímeros(Lárez, 2006).

Un punto importante sobre las tendencias de producción y aplicación de quitosano en Latinoamérica, es el desaliento que puede surgir para la creación de empresas productoras y distribuidoras de estos biomateriales debido a la lentitud de los trámites burocráticos que son necesarios para la obtención de los reconocimientos gubernamentales. Algunas de las empresas productoras han encontrado este tipo de dificultades en la comercialización de productos con mayor valor agregado (generalmente productos dietéticos) basados en quitosano, e incluso, han debido exportar hacia otro país la materia prima base para luego importar y distribuir el producto final, el cual si tiene el reconocimiento oficial.

Otro aspecto a ser considerado en este sentido es el efecto que sobre los precios mundiales de quitina y quitosano pueden imponer productores con ventajas competitivas, especialmente algunos países asiáticos, los cuales han inundado el mercado mundial en los últimos años con precios difíciles de igualar. Sin embargo, a pesar de que éstos hechos pudieran ser perjudiciales para la producción local de

quitina y quitosano, sin lugar a dudas ampliarían el espectro de usos de estos biomateriales también en nuestra región.

## **1.8 Estudio de Patentes**

El interés comercial de los productos derivados de la quitina se refleja en el creciente número y complejidad de las patentes otorgadas.

Tan solo en Estados Unidos, en el período entre 1976 a 1999, se registraron 2064 patentes relacionadas con el quitosano, mientras que de 1999 al 2004, se tienen otras 2939 patentes registradas en la Oficina de Patentes de Estados Unidos (Salas, 2011).

### **1.8.1 Patentes americanas**

(Park, 1993) prepara quitosano por inoculación a un hongo filamentoso el cual pertenece a la familia Mucoraceae. Para la pre-cultivación se emplea extracto de malta, peptona, glucosa y sulfato de magnesio

Patentes americanas ambientalistas como (Wooten, 2003), emplean la disminución de tamaño de partícula hasta partículas uniformes para minimizar el uso de agentes químicos fuertes y los subsecuentes residuos, mientras que, (Mukherjee, 2001) mejora la eficiencia del proceso manteniendo altas temperaturas por tiempos establecidos, a expensas de la posibilidad de que luego del calentamiento, el material sea más sensible al ataque de álcalis o ácido; la metodología produce quitina y quitosano de alta pureza a bajo costo en comparación con los métodos convencionales. Durante el proceso se usa menos cantidades de HCl y NaOH, esto hace que el proceso entero sea más económico y menos contaminante.

Otros autores como (Peniston, 1980) obtienen quitosano a partir de quitina aumentando el rendimiento de quitosano mediante la reducción de la temperatura de desacetilación (40 a 80°C), el incremento de las proporciones de concentraciones de álcali (35 a 50%) y usando aire estático en el proceso final de desacetilación. La reacción de desacetilación es fuertemente dependiente de la

concentración de álcali; así mismo el tiempo requerido para la desacetilación de quitina empleando 50% en peso de hidróxido de sodio a 120°C es cerca de 4 horas, mientras que empleando 40% de hidróxido de sodio se requieren cerca de 8 horas.

(Krepets, 1991) realiza varios procesos en el cual se usa corriente eléctrica a través de la solución de NaOH conteniendo una igual distribución de partículas de quitina que contienen materiales que causan un rompimiento de los enlaces químicos entre quitina y proteínas, carotenoides, lípidos y sustancias minerales.

### **1.8.2 Patentes europeas**

Las patentes otorgadas en el continente europeo difieren un poco de las patentes mencionadas con anterioridad en cuanto a las materias primas empleadas para la obtención de quitosano.

(Weiyu, 2003) obtiene el producto, con alto grado de desacetilación, de una biomasa microbiana; este método incluye el desarrollo de quitina contenido en la biomasa, reaccionando esta quitina con solución cáustica de más de 25% de álcali a temperatura mayor de 95° por un periodo de 10 horas para convertir la biomasa de quitina en quitosano.

(Serhii, 2003 (b)) incluye el uso de insectos como escarabajos y cucarachas en todas formas de sus periodos de desarrollo para obtener quitina cruda. El tratamiento empieza con una solución de un ácido inorgánico fuerte por algunas horas mientras se va mezclando a temperaturas de 18-30°C y una relación de fase sólida y líquida de 1:(3-4) en peso, luego se lava la fase sólida, tratándola después con 2-5% de solución alcalina por 1,5 a 3 horas en una relación de fase sólida y líquida de 1:(3-5) en peso mientras se va mezclando a una temperatura de 90-100°C sin presencia de aire, lavando separadamente el sedimento con solventes hidrofílicos e hidrofóbicos, secando y separando el sedimento (quitina). Posteriormente se realiza un doble tratamiento a la quitina obtenida con 45-50% de solución acuosa-alcohólica mientras se mezcla a una temperatura de 100-110°C bajo la acción de ultrasonido con frecuencia de 20-30 kHz por 1,5 a 2,5

horas, sin presencia de aire y la proporción de fase sólida y líquida es de 1:(3-5) en peso.

(Trinkle, 2003) desarrolla un método para producir quitosanos funguicidas a partir de materiales que contengan quitina usando presiones mayores de 0 PSIG. Esta invención lleva a cabo la producción de quitosano con el incremento de los niveles de desacetilación, comparado con un proceso similar que no usa el incremento de presión.

(Serhii, 2003 (a)) emplea un doble tratamiento después de moler el caparazón de los crustáceos, los cuales son tratados con ácido sulfúrico al 4%, posteriormente con solución de soda cáustica al 4%. Seguidamente el producto es lavado y secado. El quitosano es obtenido con 50% de soda cáustica a 100° por 30 minutos.

Otros métodos como (Chen, 2003) incluye un quitosano soluble en agua, así como otro soluble en ácidos; ambos quitosanos tienen una estructura amorfa. La estructura amorfa del quitosano soluble en ácidos permite una solubilidad en el rango de pH de hasta 6,5. La estructura amorfa del quitosano soluble en agua de la presente invención permite la solubilidad de este quitosano en rangos de pH ácidos, neutros y básicos.

(Caiqin, 2004) ofrece un método para la obtención de quitosano soluble en agua, tratándose quitosano en una concentración de 2-8% en peso con una solución de ácido acético 2-10%, posteriormente se añade una enzima o un oxidante para degradar al quitosano en su grado de polimerización debajo de 1000.

Por otro lado, (Meihui, 2004) y (Qingyuan, 2004) emplean hongos taiwaneses de la especie *rhizopus azygosporus* o *actinumucor* para obtener quitosano con alto grado de desacetilación (85-95%) y peso molecular de 5000-140000 g/mol

También existen variaciones dentro de los propios métodos químicos tradicionales, siendo el caso de (Wu, 2004), el cual emplea un microondas para el calentamiento a 110-160°C por 0,5 a 1,5 horas luego de la cocción con NaOH, lo

lava hasta la neutralidad con NaOH al 40-55% y lo calienta en el microondas nuevamente.

(Ishikawa, 2005) desarrolla un método simple y no muy costoso empleando una sal de ácido cítrico en solución acuosa, la cual precipita al quitosano, que tiene propiedades de formar películas, así como propiedades de cubrir la superficie de un sólido.

(Hideo, 2005) desarrolla un método industrial no costoso para producir quitosano vegetal de alto rendimiento, el cual consiste en obtener quitosano vegetal empleando solución de álcali concentrado sobre basidiomicetos secos, los cuales, siguiendo un calentamiento, son convertidos en acetyl glucosaminas de una quitina vegetal a partir de basidiomicetos. Estas glucosaminas son obtenidas a través de la desacetilación, el álcali concentrado es neutralizado con un ácido orgánico o un ácido débil, de tal modo que se obtiene el quitosano vegetal por filtración y el proceso de tratamiento de lavado con agua.

Otras metodologías bastante diferentes que se presentan en las patentes europeas incluyen la utilización de irradiación. (Xiabin, 2005), usa una fuente de  $^{60}\text{Co}$  de rayos gamma y degradado el producto es sometido a tratamientos de disolución y decoloración, para obtener quitosano de bajo peso molecular o soluble en agua.

(Lamarque, 2005) relata un método para una menor desacetilación parcial de la quitina, hirviéndola con NaOH en un reactor a una presión reducida en ausencia de oxígeno. Así mismo debe desarrollarse una serie de 6 reducidos ciclos de congelamiento/derretimiento.

## **Conclusiones parciales**

- La quitina y el quitosano son biopolímeros de alto valor agregado, presentes en los exoesqueletos de los crustáceos como cangrejo, camarón y langosta.
- La caracterización del quitosano puede hacerse a través del grado de desacetilación del quitosano, la determinación del porcentaje de cenizas, de humedad y de materia insoluble.
- La quitina y el quitosano son sustancias de múltiples aplicaciones en la agricultura, la industria cosmética y farmacéutica, en el tratamiento de aguas, la medicina y la industria alimenticia.
- El mercado mundial de quitina y quitosano ha ido variando a lo largo de los años, destacándose como principales productores Estados Unidos y Japón en menor escala le han seguido India, Italia y Polonia y se estima que el liderazgo en ventas en el ámbito mundial ha estado encabezado por la Empresa Europea Primex, con el 15% del mercado.
- A partir de las patentes existentes se puede obtener información sobre el proceso de obtención de quitina y quitosano, las materias primas y procedimientos empleados, contribuyendo a futuros estudios.

## **Capítulo 2: Propuesta del proceso tecnológico**

### **2.1 Etapas del proceso de obtención de quitina y quitosano**

Para llevar a cabo el proceso de obtención de quitina y quitosano es necesario tener en cuenta las siguientes etapas(Hernández and Escorcia, 2009):

#### **Recepción de la materia prima**

La revisión debe ser efectuada por personal debidamente capacitado. La materia prima debe ser analizada desde que está en el medio de transporte, observando las condiciones de traslado, temperatura, distancia y tiempo de recorrido para verificar su buen estado, libre de descomposición y olor a contaminantes como combustibles u otros. Una vez pasado el examen visual, se procede a descargar el producto, se pesa y coloca la materia prima en la tolva de recepción, en donde se someterá a un detallado control para extraer todo tipo de material extraño, tales como palos, pescaditos, basura y guantes. La materia prima viaja mediante la banda transportadora hacia una tolva para ir luego al molino.

#### **Trituración**

Las cáscaras y cabezas revisadas deben ser reducidas de tamaño para retirar los restos de grasa, proteínas y heces. El tamaño de las partículas no debe exceder los 0,5 cm con el objetivo de propiciar una mejor superficie de contacto entre el material y los productos químicos en las etapas posteriores. El empleo de cefalotórax precocinado facilita la trituración. Previo a este paso puede recuperarse las vísceras y el resto de tejido muscular adherido sin que esto afecte al procedimiento ni los rendimientos finales.

#### **Lavado**

Una vez molidas, las cáscaras deben ser sometidas a un lavado profundo con agua a temperatura ambiente y con un sistema de agitación que le permita remover toda la materia orgánica adherida a las paredes de las cáscaras, para lo cual se debe usar paletas mecánicas y manuales, hasta lograr que las cáscaras queden completamente limpias. El tanque de lavado debe contar con un sistema

de drenaje que le permita desalojar el agua con la materia extraña, luego las cáscaras lavadas se van recogiendo con accesorios especiales, en este proceso la materia prima pierde un 20% del peso inicial. Una vez lavado, el producto debe ser bien escurrido, para eliminar el exceso de agua y poder ser almacenado en la cámara frigorífica para procesos posteriores o llevados directamente al reactor.

### **Prensado**

Las cáscaras bien lavadas y escurridas se someten a un proceso de prensado para desalojar la mayor cantidad de agua posible. Se realiza en una prensa hidráulica y de manera manual con el fin de que en cada proceso las cáscaras no contengan, en lo posible, líquido adherido a sus paredes. Este proceso se repite en varias ocasiones.

### **Desproteínización**

Una vez las cáscaras se encuentren en el reactor, se añade NaOH al 5% en relación sólido-líquido 1:3; 0,5M y se agita durante 0,5 hora a 80 °C. En este proceso se separa el sólido del sobrenadante y se repite el proceso con el sólido remanente. Los dos sobrenadantes se unen y se neutralizan con HCl. El rendimiento de extracción medio es un 2% de proteína bruta en solución, lo que equivale a un 10-12% de proteína removida, es decir, el 75-85% del total proteico existente en el material original. El producto obtenido puede presentar una tonalidad rosada, debido a la presencia de astaxantinas, esto no debe ser motivo de preocupación, ya que esta tonalidad rosa desaparece con el proceso de secado.

Durante este proceso de desnaturalización se produce una gran cantidad de espuma debido a la desnaturalización de la proteína presente en el material. Por esta razón es aconsejable dejar espacio suficiente en el reactor, por lo menos 1/4 del volumen del reactor, para que la espuma no se desborde. Esta formación de espuma es muy agresiva y debe controlarse mecánica o químicamente con antiespumante grado alimenticio y termoestable, principalmente con polidimetilsiloxano, un producto de amplio campo de acción.

## **Lavado**

Al producto obtenido se le somete a un proceso de lavado, lo cual lleva tiempo y ocupa mucha agua, se monitorea hasta que este químicamente neutro (pH 7). Después del enjuague, se prensa nuevamente para quitar el exceso de agua y preparar las cáscaras para la desmineralización.

## **Prensado**

Las cáscaras desproteinizadas y escurridas se someten a un proceso de prensado para desalojar la mayor cantidad de agua con NaOH posible. El fin de este prensado es que las cáscaras no contengan, en lo posible, líquido adherido a sus paredes y no afecte los siguientes procesos.

## **Desmineralización**

El sólido resultante de la extracción se somete a la descarbonatación con ácido fosfórico 3M, relación sólido-líquido 1:3, durante 1 a 2 horas a temperatura ambiente y con agitación ocasional (Zambrano and Alcívar, 2010-2011). Teniendo en cuenta la alta proporción de carbonatos del material original (28% base seca) se obtiene en este proceso una buena cantidad de CQ prácticamente puro, recuperable mediante las tecnologías habituales y aprovechables. La solución ácida remanente contiene como promedio un 5% de CaCl impuro, con buenas propiedades deshidratantes. El tiempo y la concentración de ácido deben ajustarse no sólo en base al contenido de cenizas sino además al peso molecular final deseable en el polímero.

## **Lavado**

Las cáscaras prensadas se neutralizan con agua a temperatura ambiente hasta que el indicador de pH señale que el producto está químicamente neutro.

## **Prensado**

Las cáscaras cocinadas, neutralizadas y escurridas se someten a un proceso de prensado para desalojar la mayor cantidad de agua posible con ácido posible.

Esto se realiza con el fin de que las cáscaras no contengan, en lo posible, líquido adherido a sus paredes y no afecte los siguientes procesos.

### **Secado**

Las cáscaras bien escurridas y prensadas se someten al proceso de deshidratación en el secador, a una temperatura no mayor a 85°C durante 8 horas hasta obtener un producto con una humedad inferior al 10%. El proceso de secado debe garantizar la obtención de un producto homogéneo, de color blanco aperlado brillante, la temperatura de 85°C evita que pueda haber riesgos de quemadura o resequedad en el mismo. El producto obtenido es quitina que presenta una coloración blanca aperlada y brillante.

### **Desacetilación**

Al sólido resultante del paso anterior se le adiciona NaOH 50% en relación sólido - líquido 1:8 y se agita de 30 minutos a 1 hora a 100° C en atmósfera de aire con el fin de hidrolizar los grupos acetomida de la quitina hasta grupos amino. El rendimiento de quitosano es de un 5% después de seco y molido respecto al material húmedo inicial.

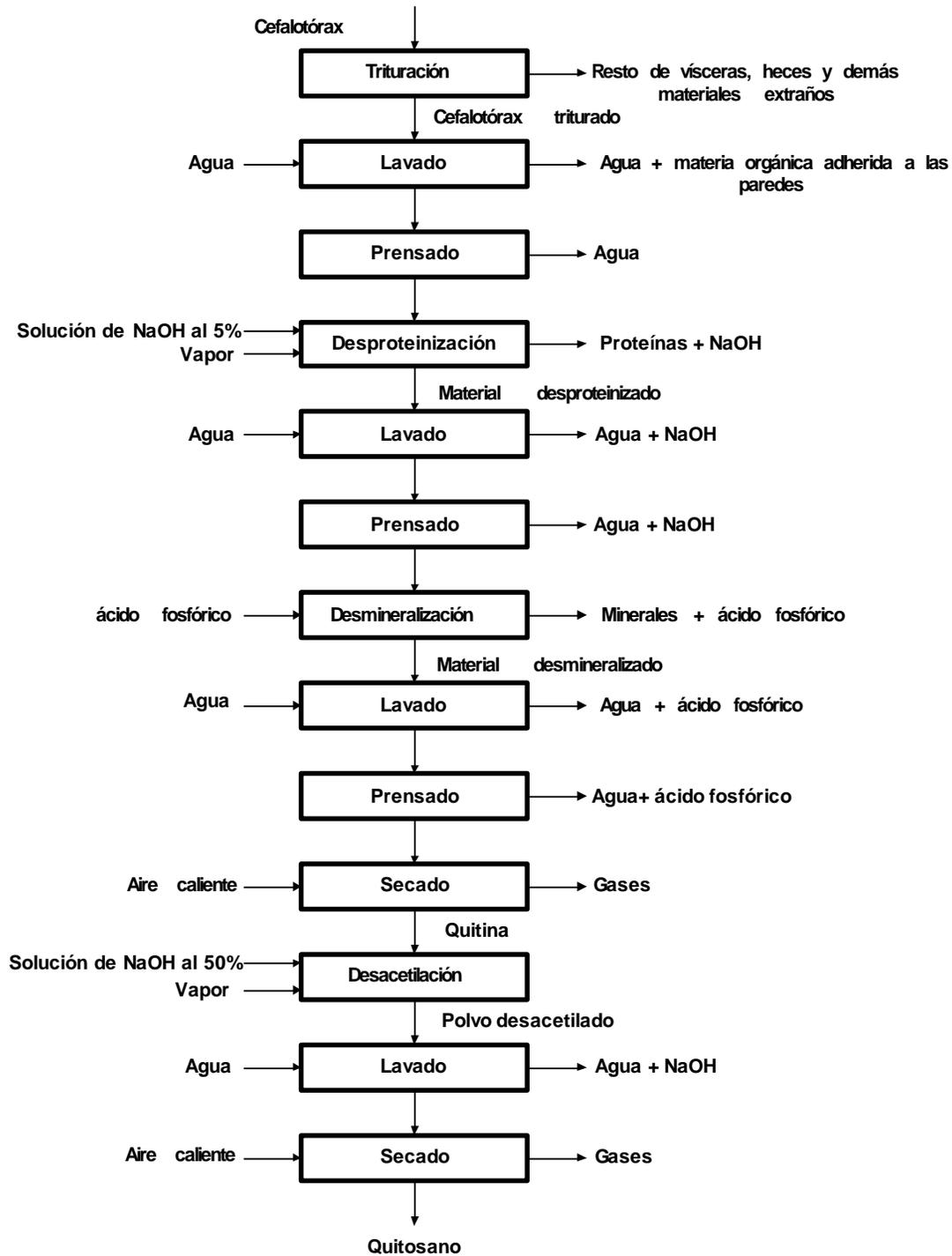
### **Lavado**

El polvo desacetinado previamente prensado se lava con agua realizando varias repeticiones.

### **Secado**

Finalmente se seca el quitosano obtenido a una temperatura de 85 °C aproximadamente durante 8 horas en el secador

En la Figura 2.1 se muestra el diagrama de bloque que representa las etapas del proceso de obtención de quitina y quitosano con sus entradas, salidas y los requerimientos indispensables de cada una de ellas.



**Figura 2.1** Diagrama de bloques del proceso de obtención de quitina y quitosano

En la Figura 2.2 se representa el diagrama de flujo del proceso, con sus principales equipos y corrientes del proceso.

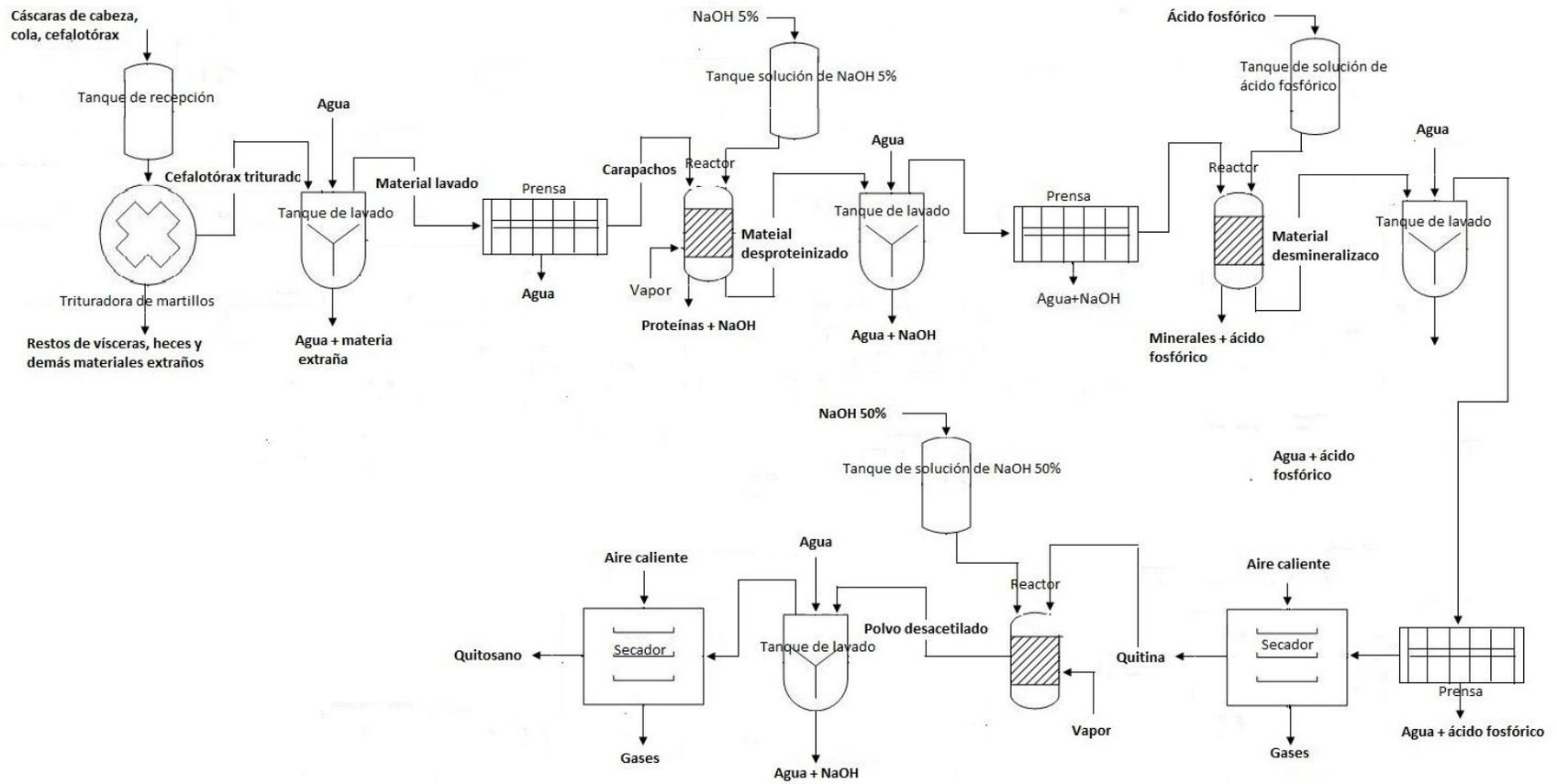


Figura 2.2 Diagrama de flujo del proceso de obtención de quitina y quitosano

## 2.2 Balances de materiales y energía

### 2.2.1 Balance de materiales

Para realizar el balance de materiales, al no contar con suficiente información, se propusieron algunos rendimientos basados en estudios realizados anteriormente, con el fin de que el proceso sea económicamente factible. Las etapas que fueron estudiadas con profundidad fueron las etapas de desproteización, desmineralización y desacetilación, para las cuales se estimaron pérdidas del 5% de la materia prima sólida inicial y 20% de pérdidas en el primer lavado del proceso.

Para realizar los balances de materiales se hizo uso de las siguientes ecuaciones para todas las etapas:

-Para calcular el volumen de disolución de NaOH y  $H_3PO_4$  respectivamente:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$V = \frac{m}{\rho}$$

Donde:

m: Masa de disolución de NaOH y  $H_3PO_4$  respectivamente (kg)

$\rho$ : Densidad del NaOH y  $H_3PO_4$  respectivamente (kg/l)

V: Volumen de disolución de NaOH y  $H_3PO_4$  respectivamente (l)

-Para calcular la masa de NaOH y  $H_3PO_4$  respectivamente:

$$M = \frac{m(x)}{M(x) * V_{dis}}$$

$$m = M * M(x) * V_{dis}$$

Donde:

M: Molaridad

M(x): Masa molar de NaOH y  $H_3PO_4$  respectivamente (g/mol)

$V_{dis}$  : Volumen de disolución de NaOH y  $H_3PO_4$  respectivamente (l)

$m$  (NaOH): Masa de NaOH y  $H_3PO_4$  respectivamente (kg)

-Para calcular la masa del disolvente:

$$m_D = m_s + m_d$$

$$m_d = m_D - m_s$$

Donde:

$m_D$  : Masa de disolución de NaOH y  $H_3PO_4$  respectivamente (kg)

$m_d$  : Masa de disolvente (kg)

$m_s$  : Masa del soluto (kg)

Para el caso de la etapa de desacetilación, al no contar con la molaridad que se pone de manifiesto, se empleó otro procedimiento para obtener la masa de NaOH y la masa del disolvente. En este caso, para calcular la masa de NaOH se empleó la siguiente ecuación:

$$50\% = \frac{m(\text{NaOH})}{m(\text{dis})}$$

$$m(\text{NaOH}) = 0,50 * m(\text{dis})$$

En la Tabla 2.1 se muestran los resultados obtenidos de los balances de materiales realizados en las etapas de desproteínización, desmineralización y desacetilación.

**Tabla 2.1** Resultados del balance de masa

<b>Desproteínización (NaOH al 5%)</b>			
<b>Datos</b>		<b>Resultados</b>	
Densidad (kg/l)	1,11	Masa. disol. NaOH (kg)	811,68
Masa molar (g/mol)	40	Vol. de dis. NaOH (l)	731,24
Muestra (kg)	270,56	Masa de NaOH (kg)	14,62
Molaridad (mol/l)	0,5	Masa de disolvente (kg)	797,05
Relación sol-líq	1-3		
<b>Desmineralización (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)</b>			
<b>Datos</b>		<b>Resultados</b>	
Densidad (kg/l)	1,685	Masa. disol. H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (kg)	771,09
Masa molar (g/mol)	98	Vol. de dis. H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (l)	457,62
Muestra (kg)	257,03	Masa de H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (kg)	134,54
Molaridad (mol/l)	3	Masa de disolvente (kg)	636,54
Relación sol-líq	1-3		
<b>Desacetilación (NaOH al 50%)</b>			
<b>Datos</b>		<b>Resultados</b>	
Densidad (kg/l)	1,52	Masa. disol. NaOH (kg)	1 953,36
Masa molar (g/mol)	40	Vol. de dis. NaOH (l)	1 285,1
Muestra (kg)	244,17	Masa de NaOH (kg)	976,68
Relación sol-liq	1-8	Masa de disolvente (kg)	976,68

### 2.2.2 Balance de energía

La etapa de desproteínización consiste en calentar la suspensión de desechos de NaOH al 5% hasta una temperatura de 80°C y luego mantener esa temperatura para que se produzca la reacción de hidrólisis. Este calentamiento se pretende llevar a cabo, utilizando vapor de agua saturado a 150°C.

Por otro lado, la etapa de desacetilación consiste en calentar la suspensión de quitina y NaOH al 50% hasta una temperatura de 100°C y luego mantener esa temperatura para que se produzca la reacción de hidrólisis. Este calentamiento se pretende llevar a cabo bajo condiciones similares a la anterior.

En la bibliografía se plantea que un intervalo de coeficiente global de diseño para estimaciones preliminares, es de 96 a 120 BTU/(h\*(pie<sup>2</sup>)\*°F, aplicados a recipientes enchaquetados de hierro colado esmaltado. Se considera que en el

caso de recipientes contruidos en acero no se presenta mucha variación, ya que la conductividad térmica del acero y el hierro son aproximadas entre sí. Por lo tanto, seleccionando un valor de  $120 \text{ BTU/h} \cdot (\text{pie}^2) \cdot ^\circ\text{F}$  se pueden realizar los cálculos necesarios. El intervalo de agitación es de 0-400 rpm.

Para realizar el balance de energía se hizo uso de las siguientes ecuaciones en ambas etapas:

-Calor que hay que transferirle a la masa para que alcance la temperatura de  $80^\circ\text{C}$

$$Q_g = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Donde:

$Q_g$  : Calor que hay que transferirle a la masa para que alcance la temperatura requerida (kJ/s)

m: Masa de la muestra + la masa de la solución empleada (kg)

$c_p$ : Calor específico de la mezcla (kJ/kg  $^\circ\text{C}$ )

$\Delta T$  : Diferencia de Temperatura ( $^\circ\text{C}$ )

-Área de transferencia de calor:

$$A = \frac{Q}{U_d \cdot \Delta T}$$

$$A_{\text{física}} = A_b + A_L$$

$$A_{\text{física}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} + \pi \cdot D \cdot H \quad A < A_{\text{física}}$$

Donde:

A: Área de transferencia de calor ( $\text{m}^2$ )

$A_{\text{física}}$  : Área física ( $\text{m}^2$ )

$A_b$  : Área de la base ( $\text{m}^2$ )

$A_L$  : Área lateral ( $\text{m}^2$ )

D: Diámetro del tanque (m)

H: Altura del tanque (m)

Ud : Coeficiente de transferencia de calor (W/m<sup>2</sup>°C)

-Para calcular el área, es necesario calcular el diámetro y la altura:

$$V = A * H$$

$$V = \frac{\pi * D^2}{4} * H \quad H = 2D$$

-Balance de energía entre el medio calefactor y la mezcla:

$$Q_{abs} = Q_{ced}$$

$$m * c_p * \Delta T = U * A * MLDT$$

$$m_v * \lambda = U * A * MLDT$$

$$m_v = \frac{U * A * MLDT}{\lambda}$$

Donde:

MLDT : Media logarítmica (°C)

$\lambda$  : Calor latente de evaporización (kJ/kg)

$m_v$ : Masa de vapor requerida para llevar de 27°C a 80°C en el caso de la desproteínización y de 27°C a 100°C en el caso de la desacetilación (kg)

-Calor requerido para mantener la temperatura durante 0,5 horas (1 800 segundos) en ambas etapas. Una vez que el sistema alcanza esta temperatura no habría que suministrar más calor si no fuera por las pérdidas del sistema, las cuales se han estimado sean un 10 % del calor que se alimentó para llevarlo a dicho estado.

$$Q_p = 0,1 * \frac{Q_g}{1800}$$

En la Tabla 2.2 se muestran los resultados de los balances de energía realizados en las etapas de desproteínización y desacetilación(Kern, 1979-1980).

**Tabla 2.2** Resultados del balance de energía

<b>Desproteínización</b>			
<b>Datos</b>		<b>Resultados</b>	
m(mezcla) (kg/día)	1 082,24	Qg (kJ/s)	83,01
cp (kJ/kg °C)	5,21	A (m <sup>2</sup> )	1,29
ΔT (°C)	53	Af (m <sup>2</sup> )	4,24
T <sub>1</sub> (°C)	27	D (m)	0,775
T <sub>2</sub> (°C)	80	H (m)	1,55
t <sub>1</sub> (°C)	150	Mv (kg/s)	0,036
t <sub>2</sub> (°C)	150	Qp (kJ/s)	0,0046
λ (kJ/kg)	2 270		
Ud (W/m <sup>2</sup> °C)	681,39		
V(m <sup>3</sup> )	0,731		
MLDT (°C)	94,02		
t (s)	1 800		
<b>Desacetilación</b>			
<b>Datos</b>		<b>Resultados</b>	
m(mezcla) (kg/día)	2 197,53	Qg (kJ/s)	93,13
cp (kJ/kg K)	2,09	A (m <sup>2</sup> )	1,68
ΔT (°C)	73	Af (m <sup>2</sup> )	6,18
T <sub>1</sub> (°C)	27	D (m)	0,935
T <sub>2</sub> (°C)	100	H (m)	1,87
t <sub>1</sub> (°C)	150	Mv (kg/s)	0,041
t <sub>2</sub> (°C)	150	Qp (kJ/s)	0,0051
λ (kJ/kg)	2 270		
Ud (W/m <sup>2</sup> *C)	681,39		
V(m <sup>3</sup> )	1,285		
MLDT (°C)	81,09		
t (s)	1 800		

### 2.3 Selección y dimensionamiento de los equipos

Los estudios realizados con anterioridad por otros autores, arrojan que para llevar a cabo el proceso de obtención de quitina y quitosano a escala industrial es necesario el empleo de equipamiento específico que responda a las necesidades del proceso, las reacciones presentes y las condiciones de operación de cada una de las variables que en él influyen. Los equipos necesarios son molino triturador, tanques de lavado, reactores, tanque de acidificación y secador; además de otros equipos secundarios como tanques plásticos de almacenamiento de las

sustancias que intervienen en el proceso, balanzas industriales, transportadoras de banda y prensas mecánicas. Como equipos complementarios o servicios complementarios se requieren de cámaras frigoríficas, la caldera de vapor, el tanque cisterna, los tanques de reserva de las sustancias que intervienen y el sistema de bombeo.

### **2.3.1 Selección del molino**

La etapa inicial de trituración es imprescindible en el proceso de obtención de quitina y quitosano, y lograr el diámetro requerido de no más de 5 mm es necesario para propiciar una mejor superficie de contacto entre el material y los productos químicos en las etapas posteriores, por lo que resulta fundamental la buena selección del molino a emplear y la combinación de la reducción del tamaño con el cribado.

Con estos fines se hizo uso de las tablas 2.1 para la clasificación de las etapas de reducción y 2.2 para la selección de maquinarias de quebrantamiento y de las ecuaciones 2.9 de la página 67 y 2.14 de la página 70, presentes en el capítulo 2 titulado Reducción de tamaño. Además, se trabajó con la Tabla 10 del Apéndice de valores promedios de los índices de trabajo de Bond para diversos materiales y la Tabla 14 del Apéndice de características técnicas de trituradores de martillos fabricados en la URSS. Los resultados obtenidos se muestran en las Tabla 2.3 y 2.4 respectivamente (Rosabal and Valle, 2006).

**Tabla 2.3** Dimensionamiento del molino para la etapa de trituración

<b>Variables calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Fórmulas</b>	<b>Resultados</b>
Flujo másico: Qm (kg/h)	$Q_{\text{jornada}} = 356\text{kg}$ Jornada=8h	$\frac{Q_{\text{jornada}}}{\text{jornada}}$	44,5
Índice de reducción (i)	$D_{pe}=8 \cdot 10^4 \mu\text{m}$ $D_{ps}=5 \cdot 10^3 \mu\text{m}$	$\frac{D_{pe}}{D_{ps}}$	16
Trabajo necesario de compresión: W (Kw*h/t)	$\rho=2,78\text{g/cm}^3$ $W_i=11,20\text{Kw} \cdot \text{h/t}$	$\frac{10W_i(\sqrt{D_{pe}} - \sqrt{D_{pf}})}{\sqrt{D_{pe} \cdot D_{pf}}}$	1,187
Potencia de molienda (Kw)	$Q_m=0,0445 \text{ t/h}$ $W=1,187\text{Kw} \cdot \text{h/t}$	$Q_m \cdot W$	0,0528
Características de la máquina quebrantadora	$\sigma_{c_{\text{máx}}} = 80\text{MPa}$ $D_{pi_{\text{máx}}} = 0,6\text{m}$ $l=10-30$		De martillos

El tipo de tratamiento empleado que responde a las características expuestas anteriormente es trituración fina y los equipos empleados para esto pueden ser quebrantadores de cono suave, de rodillos, de martillos y de proyección.

**Tabla 2.4** Características técnicas de la trituradora de martillos

<b>Características</b>	<b>Resultados</b>
Tipo de trituradora	M-6-4
Dimensiones del rotor (mm)	D=600 L=400
Tamaño de los pedazos alimentados: $D_{pi_{\text{máx}}}$ (mm)	150
Frecuencia de rotación: n ( $s^{-1}$ )	20,8
Potencia nominal del motor: N (Kw)	20
Numero de filas de martillos: zp	6
Tipo de martillo	1
Capacidad: (kg/s)	2,8-4,2

### 2.3.2 Selección del tipo de reactor

Teniendo en consideración cómo se desarrolla el proceso de obtención de quitina y quitosano, abordados tanto por autores nacionales como internacionales, y las necesidades que se requieren en cada una de sus etapas, el tipo de reactor a emplear debe ser un reactor de tipo tanque agitado con agitador de hélice para las etapas de desproteínización, desmineralización y desacetilación. Estos agitadores utilizan un flujo axial y provocan gran turbulencia, es decir, producen un movimiento de la mezcla en todo el recipiente actuando como una bomba que succiona el líquido a lo largo de su eje antes de reenviarlo al fondo. Giran a altas velocidades, entre 300 y 1000 rpm, lo que provoca una agitación vigorosa en los tanques, por lo que se necesitaría ajustar su velocidad a las necesidades del proceso, consumen poca energía y son de bajo costo. El medio de calentamiento a utilizar es la chaqueta, pues a pesar de tener un costo de fabricación mayor y ser de difícil mantenimiento, los tanques enchaquetados son los más efectivos en cuanto al área de transferencia de calor, sin importar el alto costo de las chaquetas frente a su gran eficiencia; además de ser más apropiados cuando se trata de un proceso en el que se manejen productos de este tipo y en las etapas de desproteínización y desacetilación es necesario garantizar que las reacciones que se manifiestan alcancen las temperaturas requeridas.

Debido a la escasa información sobre las reacciones que ocurren en el proceso, para el diseño de los reactores trabajaremos con datos e información recopilada de otros trabajos

Para la realización de los cálculos se tomaron las siguientes consideraciones

- El diámetro de los agitadores de hélice raramente es mayor a 45 cm, independientemente del tamaño del tanque, por lo que se optó por tomar  $d=0,4D$ .
- En la suspensión de partículas de asentamiento libre y transferencia de calor, para obtener uniformidad, se debe estipular una velocidad de 350-420 rpm. Para este caso se optó por un valor medio 385 rpm o 6,417 rps.

- Para evitar que la suspensión se desborde durante el proceso, se determina la altura real del reactor, realizándole un sobrediseño de un 10%.

Las Tablas 2.5, 2.6 y 2.7 muestran los resultados del diseño de los reactores de desproteización, desmineralización y desacetilación respectivamente (Perry, 1999).

**Tabla 2.5** Dimensionamiento del reactor para la etapa de desproteización

<b>Variables calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Fórmulas</b>	<b>Resultados</b>
Diámetro del impelente: d (m)	D=0,775 m	$d = 0,4 * D$	0,31
Relación diámetro del impelente-diámetro del tanque	d=0,31 m D=0,775	$R = \frac{d}{D}$	0,4
Altura del reactor: $H_{real}$ (m)	H=1,55 m	$H_{real} = 1,1 * H$	1,705
Potencia (W)	$N_p = 4$ N=6,417 rps d=0,31 m $\rho = 1\ 110\ kg/m^3$	$P = N_p (N^3 d^5 \rho)$	3 360,99
Potencia (W)	P=3 360,99 W Ef. Motor=0,7 Pérd. Fricc=1,35	$P = \frac{P * 1,35}{0,7}$	6 481,91
Consumo (KWh/año)			1 659,37
Diámetro de la camisa (m)	D=0,775 m L=0,05 m	$D_{cam} = Dt + 2L$	0,875

**Tabla 2.6** Dimensionamiento del reactor para la etapa de desmineralización

<b>Variables calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Fórmulas</b>	<b>Resultados</b>
Diámetro (m)	V=0,457 $m^3$	$V = \frac{\pi * D^2}{4} * H$	0,663
Altura (m)	D=0,663 m	$H = 2D$	1,326
Diámetro del impelente: d (m)	D=0,663 m	$d = 0,4 * D$	0,265

Relación diámetro del impelente-diámetro del tanque	D=0,663 m d=0,265 m	$R = \frac{d}{D}$	0,4
Altura del reactor: $H_{real}$ (m)	H=1,326 m	$H_{real} = 1,1 * H$	1,458
Potencia (W)	$N_p = 4$ N=6,417 rps d=0,265 m $\rho=1\ 685\ kg/m^3$	$P = N_p(N^3 d^5 \rho)$	2 336,27
Potencia (W)	P=2 336,27 W Ef. Motor=0,7 Pérd. Fricc=1,35	$P = \frac{P * 1,35}{0,7}$	4 505,66
Consumo (KWh/año)			1 153,45

**Tabla 2.7** Dimensionamiento del reactor para la etapa de desacetilación

Variables calculadas	Datos	Fórmulas	Resultados
Diámetro del impelente: d (m)	D=0,935 m	$d = 0,4 * D$	d=0,374
Relación diámetro del impelente-diámetro del tanque	d=0,374 m D=0,935 m	$R = \frac{d}{D}$	R=0,4
Altura real del reactor: $H_{real}$ (m)	H=1,87 m	$H_{real} = 1,1 * H$	2,057
Potencia (W)	$N_p = 4$ N=6,417 rps d=0,374 m $\rho=1\ 520\ kg/m^3$	$P = N_p(N^3 d^5 \rho)$	11 755,94
Potencia (W)	P=11 755,94 W Ef. Motor=0,7 Pérd. Fricc=1,35	$P = \frac{P * 1,35}{0,7}$	22 672,18
Consumo (KWh/año)			5 804,08
Diámetro de la camisa: $D_{cam}$ (m)	D=0,935 m L=0,05 m	$D_{cam} = Dt + 2L$	1,035

### 2.3.3 Selección del tipo de secador

Para dar cumplimiento a los requerimientos del secado de la quitina y el quitosano, se seleccionó un horno de secado universal BB250A que cumple con las condiciones necesarias de temperatura, capacidad y tipo de secado y que se ajusta tanto para el secado de la quitina como para el del quitosano. Los resultados de la selección se muestran en la Tabla 2.8.

**Tabla 2.8** Características técnicas del horno

<b>Variables</b>		<b>Valores</b>
Rango de temperatura de secado		10°C – 95°C
Capacidad de la cámara		250 litros
Dimensiones exteriores	ancho	100 cm
	alto	120 cm
	profundidad	60 cm
Dimensiones interiores	ancho	70 cm
	alto	70 cm
	profundidad	55 cm
Número máximo de bandejas		6
Potencia eléctrica nominal		2 600 W

## Conclusiones parciales

- El proceso tecnológico de obtención de quitina y quitosano tiene como etapas fundamentales la desproteínización, la desmineralización, la desacetilación y el secado, además de otras etapas como lavados y prensados.
- Los balances de materiales y energía realizados, asumiendo datos de rendimientos y pérdidas planteados por otros autores, permitieron determinar las cantidades de materia prima, reactivos químicos, agua y vapor necesarios en cada etapa, demostrando que las cantidades empleadas son adecuadas.
- Para la etapa de trituración debe emplearse una trituradora de martillos M-6-4 que responda a una trituración fina no mayor de 0,5cm.
- Para la desproteínización y desacetilación puede emplearse un mismo reactor que cumpla con las necesidades de capacidad de ambas etapas y otro reactor para la etapa de desmineralización. Los reactores deben ser tipo tanque agitado con agitador de hélice para evitar zonas muertas y tener chaqueta como medio de suministro de calor para alcanzar y mantener las temperaturas requeridas en las etapas de desproteínización y desacetilación.
- El equipo seleccionado para las etapas de secado de quitina y quitosano es un horno de secado universal BB250A, que responde a las capacidades de ambas etapas.

### Capítulo 3: Análisis económico

El análisis económico se efectuó a la propuesta de la planta piloto para la obtención de quitina y quitosano, partiendo de 356 kg de materia prima de desechos de langosta por días de trabajo.

#### 3.1 Costo total de inversión

Para la actualización de los costos se utilizó la ecuación que relaciona estos con el Índice de Costo, el cual es un factor empleado para corregir fuentes de costos a condiciones actuales, principalmente debido a que las fuentes bibliográficas caducan y envejecen a través de los años a causa del desarrollo científico y técnico ofreciendo maquinarias más productivas pero mucho más caras.

$$\text{Costo}_{\text{actual}} = \text{Costo}_{\text{original}} * \frac{\text{Indice}_{\text{actual}}}{\text{Indice}_{\text{original}}}$$

El índice actual fue proporcionado por la revista Chemical Engineering en su edición de abril del 2018 y los índices originales de los equipos propuestos fueron obtenidos de la propia revista pero del año 1982 y 1991.

En la Tabla 3.1 se muestran los resultados del costo total de adquisición de los equipos fundamentales para el proceso de obtención de quitina y quitosano.

**Tabla 3.1** Costo total de adquisición de los equipos

<b>Equipos</b>	<b>Cantidad de equipos</b>	<b>Costo original (\$)</b>	<b>Índice original</b>	<b>Índice actual</b>	<b>Costo actual (\$)</b>	<b>Costo total (\$)</b>
Tanque de recepción	1	3 100	361,3	576,4	4 945,5	4 945,5
Molino	1	1 100	314	576,4	2 019,2	2 019,2
Tanque de lavado	1	590	314	576,4	1 083,0	1 083,0
Reactor. desmineraliz.	1	1 350	314	576,4	2 478,1	2 478,1
Reactor. desacetilac.	1	1 600	314	576,4	2 937,0	2 937,0
Tanque de preparación NaOH 5%	1	580	314	576,4	1 064,6	1 064,6
Tanque de preparación NaOH 50%	1	610	314	576,4	1 119,7	1 119,7
Tanque de preparación H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1	310	314	576,4	569,06	569,06
Prensa	1	1 800	361,3	576,4	2 871,6	2 871,6
Secador	1	4 100	314	576,4	7 526,2	7 526,2
<b>Total</b>						<b>26 614,4</b>

El estimado del costo total de la inversión se realizó sobre la base del costo total del equipamiento, para el cual se estimaron los aspectos de la planta que inciden en la inversión fija y en la inversión de trabajo.

A partir del costo de adquisición del equipamiento tecnológico para la planta piloto y con el empleo de los factores de proporción correspondientes a la tabla 17 del Peters para plantas químicas de sólidos-fluidos, adaptándola a las características de la inversión, se calculó el Costo Total de Inversión, resultante del Capital Fijo y

del Capital de Trabajo, lo cual se muestra en la Tabla 3.2 a continuación (Peters and Timmerhaus, 1968).

**Tabla 3.2** Estimación del costo total de inversión

<b>Componentes</b>	<b>%/100</b>	<b>Costo (\$)</b>
<b>Costos directos (CD)</b>		
Costo de equipamiento		<b>26 614,46</b>
Instalación de equipos	0,39	10 379,64
Instrumentación y control	0,26	6 919,76
Tuberías	0,31	8 250,48
Instalaciones eléctricas	0,10	2 661,44
Construcción	0,29	7 718,19
Preparación de terreno	0,12	3 193,73
Facilidades de servicio	0,55	14 637,95
<b>CD</b>		<b>80 375,68</b>
<b>Costos indirectos (CI)</b>		
Ingeniería y supervisión	0,32	8 516,62
Gastos de construcción	0,34	9 048,91
Gastos legales	0,04	1 064,57
Contratos	0,19	5 056,74
Contingencia	0,37	9 847,35
<b>CI</b>		<b>33 534,22</b>
<b>Costos fijos de inversión (CFI)</b>		
<b>CFI = CD+CI</b>		<b>113 909,90</b>
<b>Capital de trabajo (WC)</b>		
<b>WC</b>	0,75	<b>19 960,84</b>
<b>Costo total de inversión (CTI)</b>		
<b>CTI = CFI+WC</b>		<b>133 870,75</b>

### 3.2 Costo total de producción

Teniendo en cuenta jornadas laborales de 1 día a la semana durante 8 meses al año aproximadamente, se determinó la capacidad productiva y las cantidades de materias primas y utilidades a utilizar anualmente.

Las Tablas 3.3 y 3.4 reflejan los costos de los insumos y utilidades requeridos en el proceso, necesarios para la determinación del Costo Total de Producción, teniendo en cuenta las cantidades empleadas y los precios de cada uno de ellos.

**Tabla 3.3** Costos de los insumos necesarios para la obtención de quitosano

<b>Concepto</b>	<b>Cantidad (kg)</b>	<b>Precio (\$/kg)</b>	<b>Valor (\$/año)</b>
Desechos de langosta	11 392	0,004857	55,33
NaOH al 5%	467,84	2,50	1 169,60
NaOH al 50%	31 253,76	5,00	156 268,80
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	4 304,00	1,10	4 717,18
<b>Total</b>			<b>162 210,91</b>

**Tabla 3.4** Costos de las utilidades necesarias para la obtención de quitosano

<b>Concepto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Valor</b>
Electricidad	9 296 KWh/año	0,092 \$/KWh	853,36 \$/año
Vapor	70 963 kg/año	6 \$/1000kg	425,77 \$/año
Agua	100 267 kg/año	0,24 \$/kg	8 021,37 \$/año

En la tabla 3.5 se muestran los resultados obtenidos de la estimación del Costo Total de Producción, utilizando los factores de proporción correspondientes a la tabla 25 del Peters(Peters and Timmerhaus, 1968).

**Tabla 3.5 Estimación del Costo Total de producción**

<b>Componentes</b>	<b>%/100</b>	<b>Base</b>	<b>Costo(\$/año)</b>
<b>Costo de manufactura</b>			
<b>Costos variables (CV)</b>			
Materia prima			162 210,91
Mano de obra			69 888,00
Supervisión	0,1	Mano de obra	6 988,80
Utilidades			9 300,52
Mantenimiento y reparación	0,02	Inversión Fija	2 278,19
Suministros	0,1	Mantenimiento y reparación	227,82
Cargos de laboratorio	0,1	Mano de obra	6 988,80
Regalías	0,01		3 478,71
<b>CV</b>			<b>261 361,76</b>
<b>Costos fijos (CF)</b>			
Impuestos	0,01	Inversión Fija	1 139,09
Seguro	0,004	Inversión Fija	455,64
Renta	0,08	Inversión Fija	9 112,79
<b>CF</b>			<b>10 707,53</b>
<b>Costos Exteriores</b>			
Costos exteriores	0,5	MO+Superv+Mant	39 577,49
<b>Costo de manufactura (CV+CF+CE)</b>			<b>311 646,79</b>
<b>Gastos generales (GG)</b>			
Administración	0,15	MO+Superv+Mant	11 873,25
Distribución y venta	0,02	CTP	6 957,42
Investigación y desarrollo	0,05	CTP	17 393,55
<b>GG</b>			<b>36 224,22</b>
<b>Costo total de producción</b>			
<b>CTP= Costo de manufactura + gastos generales</b>			<b>347 871,01</b>

La Tabla 3.6 a continuación, muestra el valor obtenido de las ventas de quitosano al año y las ganancias una vez recuperado el Costo Total de Producción.

**Tabla 3.6 Cálculo de la ganancia**

<b>Producto</b>	<b>Precio (\$/kg)</b>	<b>Cantidad (kg/año)</b>	<b>Valor (\$/kg)</b>
Quitosano	60	7 423,04	445 382,40
<b>Ganancia</b> (Valor de las ventas-CTP)			<b>97 511,39</b>

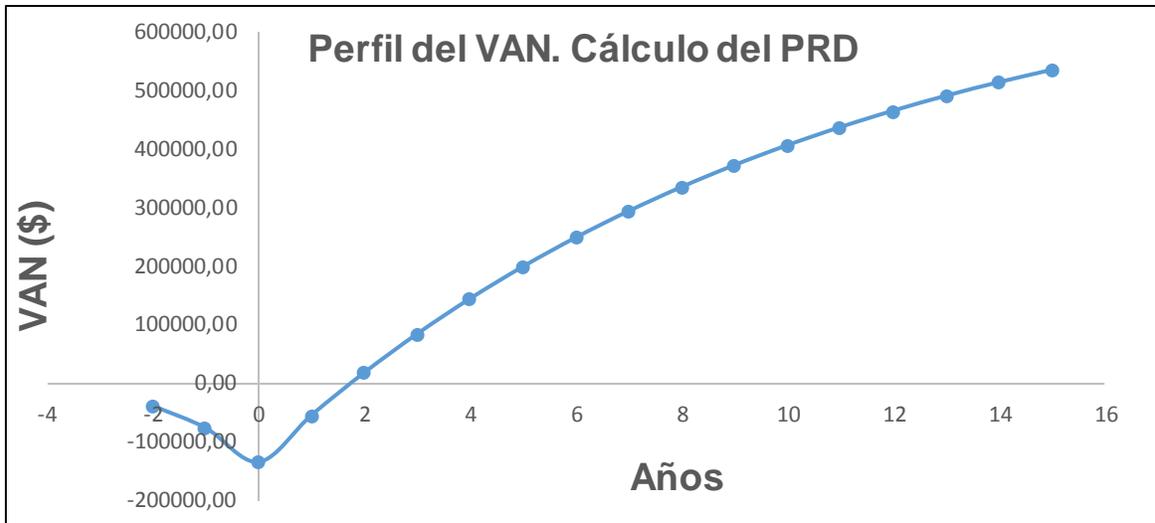
Para calcular el flujo de caja anual y valorar la rentabilidad de la inversión se consideró una tasa de interés del 10%, un tiempo de vida útil de 15 años y un valor residual para los equipos igual a cero.

La Tabla 3.8 muestra los indicadores de factibilidad de la tecnología propuesta para el proceso de obtención de quitina y quitosano

**Tabla 3.7** Indicadores de factibilidad de la tecnología analizada

<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>
Valor Actual Neto (VAN)	\$ 539 358,96
Tasa de Rendimiento Interna (TIR)	66 %
Periodo de Recuperación al descontado (PRD)	1,8 años

La Figura 3.1 hace referencia al perfil del VAN, mostrando un Periodo de Recuperación al Descontado de 1,8 años.



**Figura 3.1** Perfil del VAN. Cálculo del PRD

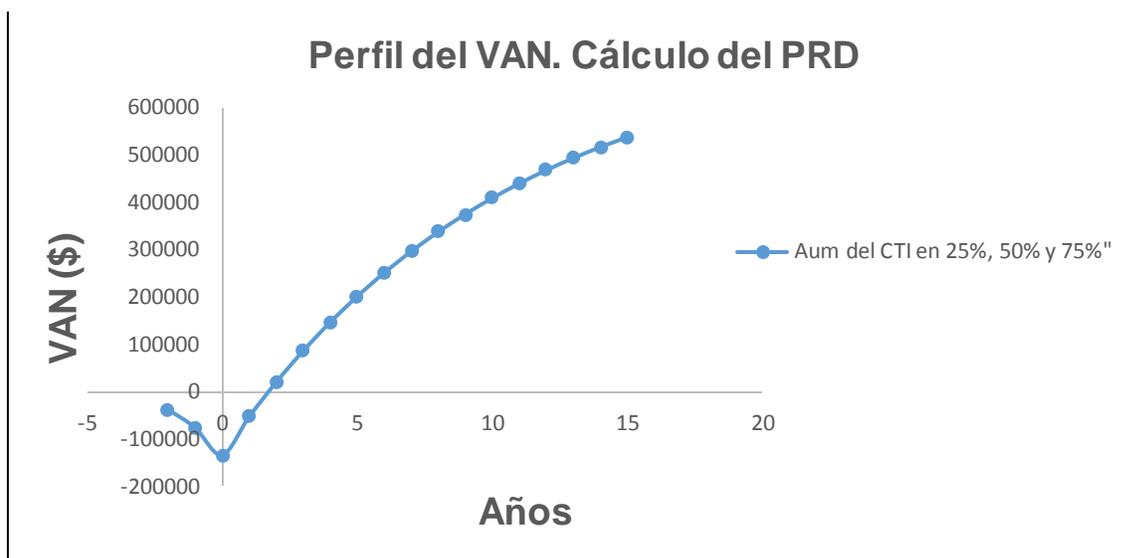
### 3.3 Análisis de sensibilidad

Con el objetivo de profundizar el estudio económico y determinar la rentabilidad de la planta se realizó un análisis de sensibilidad, determinando la influencia sobre la factibilidad del proceso si se aumenta el costo total de producción en 25%, 50% y 75%, si se disminuye el precio de la materia prima en 30%, 35% y 45% y si se disminuye el precio del quitosano en 10%, 15% y 20% respectivamente. Estos resultados se muestran en las Tablas 3.8, 3.9 y 3.10 respectivamente.

En las Figuras 3.2, 3.3 y 3.4 se muestran los perfiles del VAN y los Periodos de Recuperación al Descuento para cada una de las variantes antes mencionada.

**Tabla 3.8** Indicadores de factibilidad al aumentar el Costo Total de Inversión

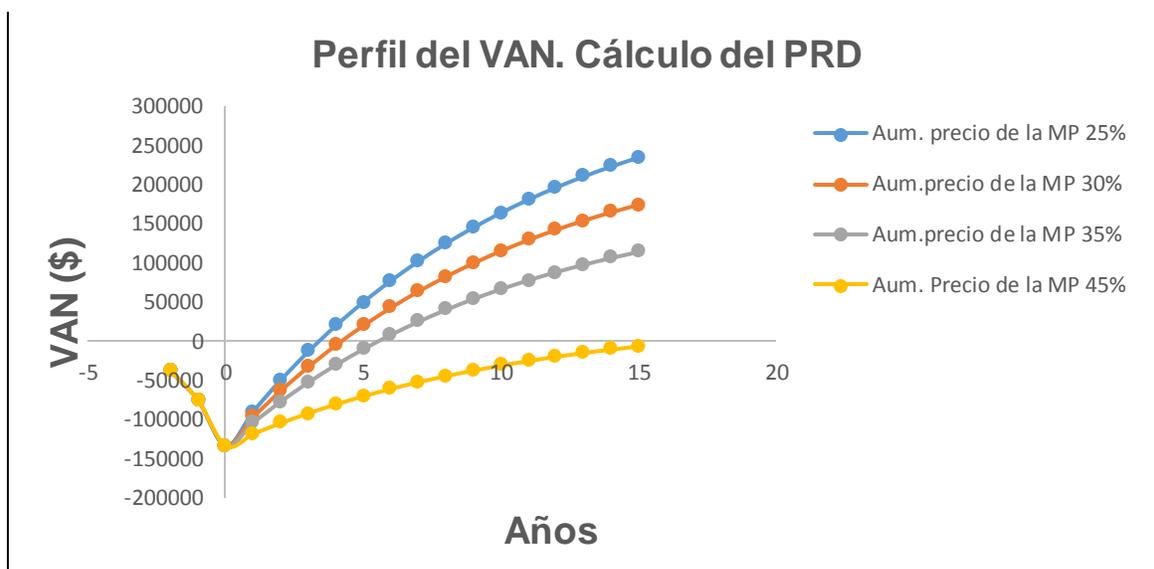
Indicadores	Aumento en 25%	Aumento en 50%	Aumento en 75%
Costo Total de Inversión (\$)	167 338,44	200 806,13	234 273,82
Costo total de Producción (\$/año)	347 871,01	347 871,01	347 871,01
Valor Actual Neto (\$)	505 891,27	472 423,58	438 955,90
Tasa de Rendimiento Interna (%)	66	66	66
Periodo de Recuperación al Descuento (años)	1,8	1,8	1,8



**Figura 3.2** Perfil del VAN. Cálculo del PRD

**Tabla 3.9** Indicadores de factibilidad al aumentar el precio de la materia prima

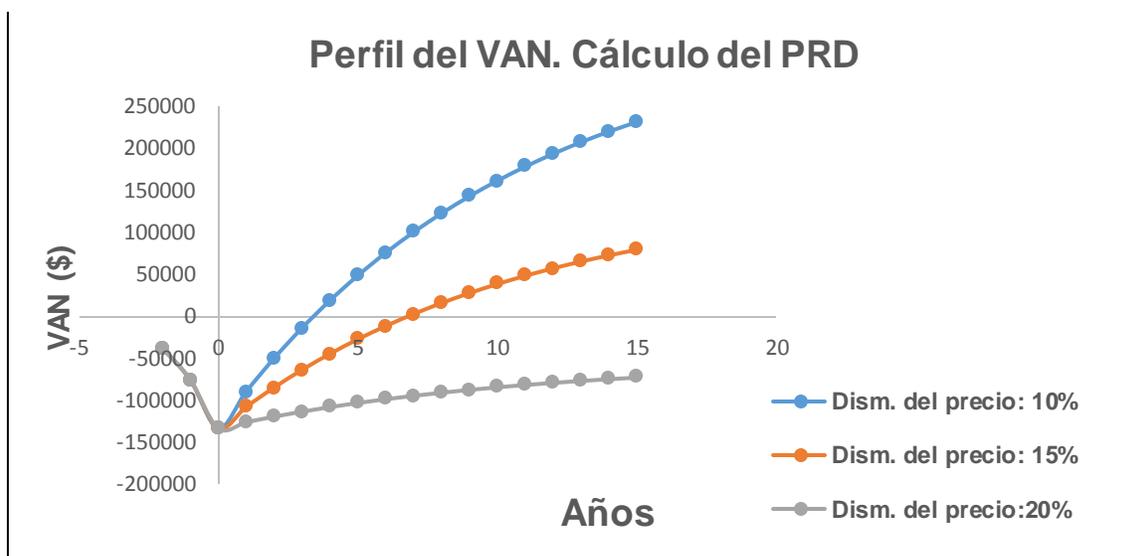
Indicadores	Aumento en 25%	Aumento en 30%	Aumento en 35%	Aumento en 45%
Costo Total de Inversión (\$)	133 870,75	133 870,75	133 870,75	133 870,75
Costo total de Producción (\$/año)	391 950,06	400 765,87	409 581,68	427 213,30
Valor Actual Neto (\$)	237 617,06	177 268,68	116 920,30	-3 776,47
Tasa de Rendimiento Interna (%)	36	30	24	10
Periodo de Recuperación al Descuento (años)	3,4	4,1	5,5	No se puede recuperar



**Figura 3.3** Perfil del VAN. Cálculo del PRD

**Tabla 3.10** Indicadores de factibilidad al disminuir el precio del quitosano

Indicadores	Disminución en 10%	Disminución en 15%	Disminución en 20%
Costo Total de Inversión (\$)	133 870,75	133 870,75	133 870,75
Costo total de Producción (\$/año)	347 871,01	347 871,01	347 871,01
Valor Actual Neto (\$)	234 473,71	82 031,08	-70 411,55
Tasa de Rendimiento Interna (%)	36	20	-1%
Periodo de Recuperación al Descuento (años)	3,4	6,9	No se puede recuperar



**Figura 3.4** Perfil del VAN. Cálculo del PRD

## Conclusiones parciales

- El aumento del costo total de inversión no tiene repercusiones negativas en la factibilidad económica del proceso, tanto un aumento de 25%, 50% y 75% arrojan el mismo periodo de recuperación de la inversión y el mismo TIR que el estudio económico realizado a la tecnología propuesta inicialmente, pero los valores de VAN disminuyen según se incrementa el aumento, aunque siguen siendo satisfactorios.
- El aumento del precio de la materia prima en un 30% arroja resultados positivos que no afectan la rentabilidad del proceso, con un periodo de recuperación menor de 5 años y valores de VAN y TIR satisfactorios, sin embargo a partir del 35% del aumento del costo de la materia prima, el periodo de recuperación excede los cinco años, por lo que bajo esas condiciones el proceso no es económicamente factible, aunque los indicadores de VAN y TIR son aceptables pero fueron disminuyendo y para un aumento de 45% todos los indicadores dinámicos de factibilidad reflejan resultados negativos.
- La disminución del precio del quitosano afecta la rentabilidad de la planta diseñada si excede del 10%, porque una disminución del 15% del precio supera el periodo establecido de 5 años de recuperación y los valores del VAN y TIR disminuyen significativamente y una disminución de hasta el 20% arroja resultados negativos en todos los indicadores dinámicos.

## Conclusiones

- 1- La planta propuesta para la obtención de quitina y quitosano a partir de exoesqueletos de crustáceos responde a las condiciones, equipos y materias primas disponibles.
- 2- El método químico empleando ácido fosfórico constituye una buena alternativa, debido a la influencia menos agresiva de este ácido sobre el medio y el precio de venta del mismo.
- 3- El esquema tecnológico propuesto se corresponde con las características y necesidades abordadas por otras fuentes bibliográficas sobre el proceso de obtención de quitina y quitosano, destacando como etapas fundamentales, la trituración, desproteización, desmineralización, desacetilación y secado.
- 4- La selección del equipamiento diseñado, de acuerdo a las cantidades de materia prima disponible, corresponde con las propuestas de equipamiento realizadas por otros autores, definiendo como equipos fundamentales una trituradora de martillo y reactores encaquetados con agitación.
- 5- Los resultados de la evaluación económica son satisfactorios, reflejado en los indicadores dinámicos de factibilidad, que arrojaron un VAN de \$ 539 358,96; una TIR de 66% y un PRD de 1,8 años, bajo las condiciones propuestas y un precio de venta de quitosano accesible de 60 \$/kg.
- 6- La inversión propuesta es sensible a variaciones en el costo de la materia prima y el precio de venta del quitosano, los cuales no deben aumentar más del 30% y disminuir más del 10% respectivamente para que el proceso siga siendo económicamente factible, bajo las condiciones iniciales propuestas. No ocurre de igual forma a las variaciones en el Costo Total de Inversión, pues no influyen en la factibilidad de la inversión.

## **Recomendaciones**

- 1- Llevar a cabo el proceso de obtención de quitina y quitosano a nivel de laboratorio o de planta piloto, teniendo en cuenta la metodología, equipamiento y necesidades del proceso propuestas.
- 2- Estudiar experimentalmente las relaciones de reactivos y condiciones operacionales más favorables para las materias primas existentes cuando se emplea ácido fosfórico.
- 3- Evaluar la posible recuperación y utilización de proteínas y pigmentos obtenidos como subproductos durante el proceso para incrementar los beneficios económicos.

## Bibliografía

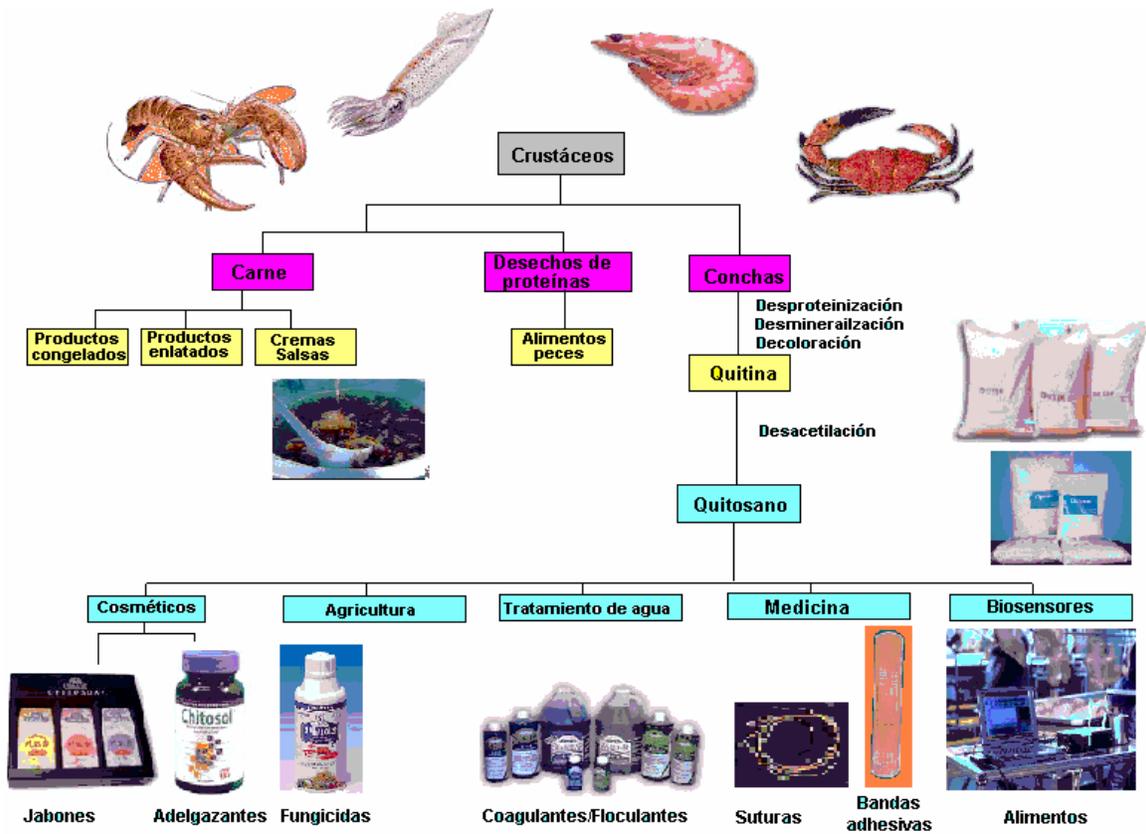
- CABARCAS, M., MARIMÓN, W. & MIRANDA, M. 2011. *Diseño de un proceso económico y competitivo para la extracción de quitina y producción de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón* Universidad de Cartagena
- CAIQIN, Q. 2004. *Europa patent application*. Europa patent application.
- CAPRILE, M. 2012. Obtención y utilización de quitina y quitosano a partir de desechos de crustáceos
- CARO, J. S. 2011. Quitina y quitosano: ¿Sustancias maravillosas o una eterna promesa latinoamericana? .
- CASTRO, M. & VIDAL, C. C. 2015. Obtención y caracterización de quitina y quitosano del emerita análoga a escala piloto.
- CIRA, L. A. 2000. *Escalamiento de un proceso para la recuperación de quitina a partir de desechos de camarón* Universidad Autónoma Metropolitana
- CISNEROS, L., CURBELO, C., ANDRADE, C. & GILER, J. M. 2018. Evaluación de la extracción enzimática de quitina a partir del exoesqueleto del camarón.
- CONCEPCIÓN, S. M. 1999. *Utilización de desperdicios de camarón para recuperación de quitina, proteínas y pigmentos por vía microbiana*.
- CHEN. 2003. *Europa patent application*. Europa patent application.
- DE LA PAZ, N., HERNÁNDEZ, M., LÓPEZ, O., NOGUEIRA, A., GARCÍA, C., PÉREZ, D., TOBELLA, J., MONTES, Y. & DÍAZ, D. 2012. Optimización del proceso de obtención de quitosanoderivado de la quitina de langosta.
- ESCOBAR, D. M., OSSA, C. P., QUINTANA, M. A. & OSPINA, W. A. 2013. Optimización de un protocolo de extracción de quitina y quitosano desde caparazones de crustáceos.
- ESCORCIA, D., HERNÁNDEZ, D., SÁNCHEZ, M. & BENAVENTE, M. 2009. Diseño y montaje de una planta piloto para la extracción de Quitina y proteínas. *In: INGENIERÍA, U. N. D. (ed.)*. Managua, Nicaragua.
- ESMERALDA, Y. 2015. *Extracción de quitina y quitosano a partir del exoesqueleto de langosta roja (Panulirus interruptus)*. Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- FLORENCIA, C. 2011. *Desarrollo y caracterización de matrices compuestas quitosano / polímero sintético para regeneración de tejodo óseo*. Universidad Nacional de La Plata.
- GARCÍA, A. 1980. *Las langostas de México: su biología y pesquería* Universidad Nacional Autónoma de México
- GARCÍA, J. A. & ORDÓNEZ, L. M. 2011. *Desarrollo de un proceso para la obtención de quitina a partir de micelio utilizando agua subcrítica*.
- HERNÁNDEZ, D. & ESCORCIA, D. 2009. *Propuesta Técnica para la obtención de quitina a partir de caparazones de crustáceos a nivel de planta piloto* Universidad Nacional de Ingeniería
- HERNÁNDEZ, H., ÁGUILA, E., FLORES, O., VIVEROS, E. & RAMOS, E. 2009. Obtención y caracterización de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón.
- HERNÁNDEZ, Y. B. 2004. *La quitina y la quitosana, polisacáridos animales de gran importancia* [Online]. La Habana, Cuba. [Accessed].

- HIDEO, O. 2005. *Europa patent application*. Europa patent application.
- ISHIKAWA. 2005. *Europa patent application*. Europa patent application.
- JUÁREZ, C. J. 2012. *Obtención y caracterización de quitina biología y su desacetilación a quitosano*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- KERN, D. Q. 1979-1980. *Procesos de transferencia de calor*
- KREPETS. 1991. *Estados Unidos patent application*. Estados Unidos patent application.
- LAMARQUE. 2005. *Europa patent application*. Europa patent application.
- LÁREZ, C. V. 2003. Algunos usos del quitosano en sistemas acuosos
- LÁREZ, C. V. 2006. *Quitina y quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro* Universidad de los Andes
- LEMUS, J. F. 2007. Obtención y uso de quitosano para tratamientos dérmicos a partir de exoesqueletos de camarón
- MARCILLO, M. S. & VÉLEZ, M. K. 2011. *Planta procesadora de desechos de camarón y cangrejo para la obtención de quitina y extracto colorante* Universidad de Guayaquil
- MÁRMOL, Z. 2011. Quitina y quitosano polímeros amigables. Una revisión de sus aplicaciones *In: URDANETA, U. R. (ed.)*. Maracaibo, Venezuela
- MEIHUI, C. 2004. *Europa patent application*. Europa patent application.
- MOREY, A. S. & QUINDE, A. L. 2012. *Obtención de Quitosano y su aplicación en recubrimientos comestibles en mezcla con almidón* Universidad de Guayaquil
- MUKHERJEE. 2001. *Estados Unidos patent application*. Estados Unidos patent application.
- PACHECO, N. L. 2010. *Extracción biotecnológica de quitina para la producción de quitosano: caracterización y aplicación*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- PARK. 1993. *Estados Unidos patent application*.
- PASTOR, A. D. 2004. *Quitina y quitosano: obtencion, caracterizacion y aplicaciones*. Universidad Pontificia Universidad Católica del Perú.
- PENICHE, C. A., NIETO, J. M., OVIEDO, D. V. & GARCÍA, I. A. 1996. *Método para el aprovechamiento del desecho de la langosta común*.
- PENISTON. 1980. *Estados Unidos patent application*. Estados Unidos patent application.
- PERRY, R. H. 1999. *Chemical Engineer´ Handbook*.
- PETERS, M. S. & TIMMERHAUS, K. D. 1968. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*.
- QINGYUAN, C. 2004. *Europa patent application*. Europa patent application.
- RÍOS, G. V., ESPIMOZA, J. C., ZETINA, C. M., AGUILAR, C. C. & RAMÍREZ, A. E. 2013. La pesquería de langosta *Panulirus argus* en el Golfo de México y mar Caribe mexicano.
- ROSABAL, J. M. & VALLE, M. M. 2006. *Hidrodinámica y Separaciones mecánicas*, La Habana, Cuba.
- SALAS, D. A. 2011. *Estudio de prefactibilidad para la puesta en marcha de una planta procesadora de quitina, ubicada en el cantón Eloy Alfaro de la Provincia de Guayas*. Universidad Tecnológica Equinoccial.
- SERHII, F. 2003 (a). *Europa patent application*. Europa patent application.

- SERHII, F. 2003 (b).** *Europa patent application.* Europa patent application.
- TRINKLE, J. 2003.** *Europa patent application.* Europa patent application.
- VALENZUELA, C. L. 2006.** *Obtención de Quitosano de Pota (Dositicus Gigas) empleando altas dosis de Radiación Gamma.* Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- WEIYU, F. 2003.** *Europa patent application.* Europa patent application.
- WOOTEN. 2003.** *Estados Unidos patent application.* Estados Unidos patent application.
- WU. 2004.** *Europa patent application.* Europa patent application.
- XIABIN, J. 2005.** *Europa patent application.* Europa patent application.
- ZAMBRANO, M. & ALCÍVAR, V. 2010-2011.** *Planta procesadora de desechos de camarón y cangrejo para la obtención de quitina y extracto colorante.* Universidad de Guayaquil.

# Anexos

## Anexo 1: Esquema general para el aprovechamiento de crustáceos



## Anexo 2: Aplicaciones del quitosano



**Anexo 3:** Principales empresas productoras de quitina y quitosano en Estados Unidos

<b>Empresa</b>	<b>Productos</b>
Biopolymer Engineering, Inc, St. Paul MN. USA	Quitosano 99% puro para aplicaciones diversas.
Biopolymer Technologies Inc. Westborough MA USA	Productos farmacéuticos, aplicaciones en la agricultura para la liberación controlada de pesticidas.
Carbomer Inc Westborough MA USA	Proveedor de quitina, quitosano y derivados para el mercado de la investigación científica
DVC, Inc Wilmington, DE. USA	Proveedor de fabricantes de suplementos alimenticios y glucosaminas enfocados a suplementos alimenticios.
Amerchol Inc. Edison, NJ, USA	Sales de quitosano para cosméticos (lactato y glicolato de quitosano)
Vanson Haloresource, Inc. Redmond, WA. USA	Agentes floculantes, ingredientes para cosméticos, suplementos dietéticos
V-Labs, Inc. Covington, LA. USA	Oligosacáridos complejos. Agentes quelantes, oligosacáridos y glico-conjugados. N-carboximetilquitosano
Ferro Pfanstiehl Labs. Inc Waukegan, IL. USA	Fabricantes de carbohidratos de alta especialidad para aplicaciones en biomedicina
Synthecon Inc, Houston, TX. USA	Matrices biodegradables a base de quitosano para el cultivo de células

**Anexo 4:** Principales empresas productoras de quitina y quitosano en Europa

<b>Empresa</b>	<b>Productos</b>
Primex ehf. Siglufjordur, Islandia	Quitina y quitosano microcristalino, quitoooligosacáridos de alta pureza
KitoZyme, Herstal. Bélgica	Quitosano y derivados (sal de amonio) a partir de quitina obtenida de hongos.
Kraeber GmbH, Ellerbeck, Alemania	Quitina y quitosano de muy diversas especificaciones para usos farmacéuticos
Carmeda AB, Suecia	Quitosano de alta pureza para aplicaciones médicas y farmacéuticas

**Anexo 5:** Principales empresas productoras de quitina y quitosano en Asia

<b>Empresa</b>	<b>Productos</b>
Nippon Suisan Co, Ltd. Tokio	Esponjas para heridas
Lion Corporation Inc, Japón y Singapur	Cosméticos, detergentes, agentes limpiadores, productos farmacéuticos
Katakura Chikkarin, LTD. Tokio. Japón	Empresa transnacional con una multitud de productos para aplicaciones agrícolas y químicas
Katokichi Co. Ltd, Kawaga. Japón	Empresa con intereses variados en la industria de productos marinos.
Dainishiseika Colour and Chemical Manufacturing Co, Tokio, Japón	Ingredientes para la nutrición humana y animal. Quitosano para investigación científica
Zhongshi Intl. And Technical Coop Shandong China	Quitina y carboxilmetilquitina de calidad intermedia a precios muy reducidos
Aqua Premier Co, LTD, Chonburi Tailandia	Fabrica quitosano de grado práctico con una capacidad instalada de 6 t/mes de quitina y 1 t/mes de quitosano.
Jakwang Co, Ltd, Kyungg Province, Corea	Quitosano soluble en agua para alimentos, cosméticos, artículos de uso diario, ingredientes medicinales, agricultura y medio ambiente.
Dalwoo- Chito San, Seúl, Corea	Quitina y quitosano de grado farmacéutico, oligómeros de

	quitosano, quitosano de grado alimenticio, carboximetilquitosano
Qingdao Jiaonan Bright Moon Seaweed Industrial Co, LTD, Shandong, China	Quitina y quitosano de grados técnico, alimenticio, médico y cosmético

**Anexo 6:** Principales empresas productoras de quitina y quitosano en Latinoamérica

<b>Empresa</b>	<b>Productos</b>
Polymar. Brasil	Quitosano de alta y baja densidad, nutracéutico
Quitoquímica. Chile	Quitosano para uso como fertilizantes, bioestimulante y fungicida, como regulador de crecimiento y maduración. Quitoesferas de quitosano para remoción de metales pesados. Complejos de quitosano con metales para uso como micronutrientes.
Biotex, Bioagro. Chile	Quitosano en solución acuosa para uso como estimulante de crecimiento y vigorizador del sistema radicular. Formulaciones basadas en quitosano para el tratamiento de semillas, para incrementar la resistencia de las plantas, para el tratamiento de enfermedades aéreas Formulaciones biológicas basadas en quitosano para el control de plagas y enfermedades