

**DISEÑO DE UN PROCESO ECONÓMICO Y COMPETITIVO PARA LA
EXTRACCIÓN DE QUITINA Y PRODUCCIÓN DE QUITOSANO A PARTIR DE
EXOESQUELETOS DE CAMARÓN**

**MAURICIO CABARCAS LORDUY
WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR
MAURICIO MIRANDA MARZOLA**



**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERIAS
INGENIERIA QUIMICA
CARTAGENA D. T. y C.**

2011

**DISEÑO DE UN PROCESO ECONÓMICO Y COMPETITIVO PARA LA
EXTRACCIÓN DE QUITINA Y PRODUCCIÓN DE QUITOSANO A PARTIR DE
EXOESQUELETOS DE CAMARÓN**

**MAURICIO CABARCAS LORDUY
WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR
MAURICIO MIRANDA MARZOLA**

Documento final presentado como requisito para obtener el título de Ingeniero
Químico

María Teresa Acevedo. Msc



**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERIAS
INGENIERIA QUIMICA
CARTAGENA D. T. y C.**

2011

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Cartagena de Indias D. T. y C, Enero de 2011

DEDICATORIA

A Dios, porque cada uno de nuestros actos deben ser una alabanza para él.

A nuestros padres, que creyeron en nosotros, impulsaron en cada momento de este camino e inculcaron cada unos de los valores que hicieron posible la realización de éste trabajo.

A nuestros hermanos, quienes nos brindaron comprensión y respaldo indispensable para nuestro desarrollo personal.

Para nuestros compañeros de clases, que de a poco se convirtieron en verdaderos amigos e impulsaron una competencia intelectual que permitió nuestro crecimiento como ingenieros.

AGRADECIMIENTOS

Primero y como más importante, nos gustaría agradecer a Dios, que con su espíritu santo llenó de sabiduría y luz nuestras mentes y nos guió en los momentos de adversidad para poder hacer de esto una realidad.

A nuestro cuerpo docente que a lo largo de los últimos años de una manera u otra han aportado su granito de arena a nuestra formación. Destacar a la Msc. María Teresa Acevedo, Msc. Lesly Tejeda, Dr. Álvaro Realpe y al Ing. Luis Pérez.

De igual manera al personal del laboratorio del CREAD, que puso a su disposición sus instalaciones, las cuales fueron fundamental en el desarrollo del trabajo.

Para ellos, muchas gracias por todo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE TABLAS	IX
LISTA DE FIGURAS	X
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
INTRODUCCIÓN	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
2. JUSTIFICACION	4
3. OBJETIVOS	5
2.1. OBJETIVO GENERAL	5
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
4. MARCO TEORICO	6
4.1. GENERALIDADES DEL CAMARÓN	6
4.1.1. Características del cultivo de camarón en Colombia	8
4.2. BIOMATERIALES	9
4.3. QUITINA	10
4.4. QUITOSANO	10
4.5. FUENTES DE QUITINA Y QUITOSANO	11
4.6. PRINCIPALES APLICACIONES	13
4.7. OBTENCIÓN DEL QUITOSANO	16

4.7.1. El Método químico	17
4.7.1.1 La desacetilación homogénea	17
4.7.1.2 La desacetilación heterogénea	17
4.7.2 El Método enzimático.	17
4.8. CARACTERIZACIÓN DEL QUITOSANO	18
4.8.1 Método espectrofotométrico (IR)	18
4.8.2 Solubilidad	19
4.8.3. Determinación del grado de desacetilación	19
4.9. CARACTERIZACION DEL MERCADO MUNDIAL DE QUITINA Y QUITOSANO	20
5. METODOLOGÍA	22
5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	22
5.2. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	22
5.3. POBLACIÓN	23
5.4. MATERIALES Y EQUIPOS	23
5.5. DISEÑO EXPERIMENTAL	23
5.6. PROCEDIMIENTO METODOLOGICO	24
5.6.1. REALIZACIÓN DEL ESTUDIO DE MERCADO	24
5.6.2. EVALUACIÓN DEL CONTENIDO Y CALIDAD DE LA QUITINA	25
5.6.2.1. Acondicionamiento de la materia prima.	26
5.6.2.2. Desproteínización, Desmineralización y Decoloración.	26

5.6.2.3. Desacetilación	28
5.6.2.4. Secado.	29
5.6.2.5. Determinación de calidad de quitina obtenida.	30
5.6.3. DISEÑO DE LA PLANTA EXTRACTORA DE QUITINA	30
5.6.4. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PLANTA.	31
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
6.1. ESTUDIO DE MERCADO	32
6.2. EXTRACCIÓN DE QUITINA Y PRODUCCIÓN DE QUITOSANO	35
6.3. EVALUACIÓN DE CALIDAD DE QUITINA Y QUITOSANO OBTENIDOS	38
6.4. DISEÑO DE PLANTA	41
6.5. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PLANTA	44
6.5.1. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE EQUIPOS	44
6.5.2. RENTABILIDAD DE LA PLANTA	45
7. CONCLUSIONES	53
8. RECOMENDACIONES	54
9. REFERENCIAS BIBLOGRAFÍCAS	55
10. ANEXOS	59

LISTA DE TABLAS

		Pág.
TABLA 1.	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ALGUNAS FUENTES DE MATERIA PRIMA PARA LA OBTENCIÓN DE QUITINA/QUITOSANO.	13
TABLA 2.	DISEÑO EXPERIMENTAL UTILIZADO	24
TABLA 3.	ESTADO COMERCIAL ACTUAL DE LA QUITINA EN COLOMBIA	33
TABLA 4.	CORRELACIÓN DE CANTIDAD DE QUITINA EXTRAÍDA EN FUNCIÓN DE CONCENTRACIÓN Y CANTIDAD DE HCL.	36
TABLA 5.	ANALISIS DE VARIANZA	37
TABLA 6.	LISTA DE EQUIPOS.	43
TABLA 7.	CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS PARA PRODUCCIÓN DE 1 KG DE QUITINA	44
TABLA 8.	ESTIMATIVO DE COSTOS DE LOS EQUIPOS	45
TABLA 9.	COSTOS DE IMPLEMENTOS	46
TABLA 10.	COSTOS INMUEBLES	46
TABLA 11.	COSTOS DE PERSONAL	46
TABLA 12.	COSTOS IMPLEMENTOS DE ASEO	47
TABLA 13.	GASTOS PREOPERATIVOS	47
TABLA 14.	COSTOS PAPELERIA	48
TABLA 15.	COSTOS INVERSION INICIAL TOTAL	48
TABLA 16.	INGRESOS A PARTIR DE QUITINA	49
TABLA 17.	INGRESOS A PARTIR QUITOSANO	49
TABLA 18.	INGRESOS TOTALES	49
TABLA 19.	COSTOS VARIABLES	50
TABLA 20.	COSTOS FIJOS	50
TABLA 21.	PAGO DEUDA INVERSION INICIAL	51
TABLA 22.	FLUJO DE CAJA TOTAL	52

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. CAMARON LITOPENAEUS VANNAMEI	6
FIGURA 2. CASCARA DE CAMARON	7
FIGURA 3. ZONAS DE CULTIVO DE CAMARÓN EN COLOMBIA	8
FIGURA 4. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA CADENA DE CAMARON DE CULTIVO	9
FIGURA 5. ESTRUCTURA DE LA QUITINA	10
FIGURA 6. ESTRUCTURA DEL QUITOSANO	11
FIGURA 7. PRINCIPALES USOS DEL QUITOSANO	16
FIGURA 8. REACCIÓN DE DISOLUCIÓN DE MACROMOLÉCULAS POR MEDIO DE QUITOSANO	19
FIGURA 9. COMPOSICIÓN DEL MERCADO MUNDIAL DE QUITINA Y QUITOSANO	20
FIGURA 10. PROYECCIÓN MERCADO DE QUITOSANO	21
FIGURA 11. METODOLOGÍA DE PRODUCCIÓN DE QUITOSANO EN FRIO	27
FIGURA 12. EXTRACCIÓN DE QUITINA EN FRIO	27
FIGURA 13. PRECIPITACIÓN DE LA QUITINA	28
FIGURA 14. QUITINA OBTENIDA	28
FIGURA 15. DESACETILACIÓN DE LA QUITINA	29
FIGURA 16. SECADO DEL QUITOSANO	29
FIGURA 17. EVALUACIÓN DE CONDICIONES ÓPTIMAS PARA LA EXTRACCIÓN DE QUITINA	36
FIGURA 18. ESPECTRO IR DE LA QUITINA	39
FIGURA 19. ESPECTRO IR DEL QUITOSANO	39
FIGURA 20. DETERMINACIÓN DEL GRADO DE DESACETILACIÓN	40
FIGURA 21. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE EXTRACCION Y PRODUCCIÓN DE QUITINA Y QUITOSANO	42

RESUMEN

Este trabajo se basó en el diseño de un proceso para la extracción en frío de Quitina y producción de quitosano a partir de desechos de exoesqueletos de camarón en la ciudad de Cartagena. Se realizó un estudio de mercado para determinar la capacidad de producción de la planta que dio como resultado una producción mensual de 1 TM de cada biopolímero. Además se determinó que la concentración óptima de ácido clorhídrico para extraer la quitina de los exoesqueletos de camarón es de 10 molar con una cantidad de ácido de 100 ml por cada 30 gramos de exoesqueletos. Así el rendimiento de extracción de quitina conseguido a estas condiciones fue del 80% y el grado de desacetilación del quitosano de 79.15%.

El diseño conceptual y de ingeniería básico de la planta mostró que para llegar a la demanda deseada se necesitan mensualmente 11.9 TM de exoesqueletos, 21.9 m³ de HCl al 33%(V/V), 44.7 TM de NaOH al 50%(P/P), 170.38 m³ de agua y una demanda energética de 3759.5 kWhora. El análisis económico mostró que se debe tener una inversión inicial de \$ 360.000.000 para el montaje de la planta que se recuperarían en 2 años con una tasa interna de retorno al inversionista (TIR) de 20% a 5 años con una ganancia representada en valor presente neto (VPN) de \$ 837.962.896,1.

ABSTRACT

This purpose of this work was based on the design of a cold extraction process of chitin and chitosan from shrimp exoskeletons waste in the city of Cartagena. The Market study was conducted to determine the capacity of the plant for a monthly production of 1 M.T of each biopolymer. The optimum concentration of HCl was determined at 33%(V/V) with an amount of 100 ml acid per 30 grams of exoskeletons. Thus the extraction yield of chitin achieved at these conditions was 80% and the degree of deacetylation of chitosan of 79.15%.

The conceptual design and basic engineering of the plant showed that to reach the desired demand is required 11.9 Tons of exoskeletons, 21.9 m³ of HCl (33%V/V), 44.7 tons of NaOH (50% P/P), 170.38 m³ of water and a energy demand of 3759.5kWh. The economic analysis showed that the initial investment should be \$ 360,000,000 for the assembly plant to be recovered in 3 years with an internal return rate to investors (IRT) of 20% at 5 years with a gain represented net present value (NPV) of \$ 837.962.896,1.

INTRODUCCIÓN

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 a nivel industrial de la quitina, éste se puede obtener, mediante un proceso químico sencillo de desacetilación, esta característica y las múltiples aplicaciones del mismo ha permitido que su producción se presente a gran escala.

Las fuentes principales de extracción de la quitina son el caparazón (exoesqueleto) que protege los cuerpos de muchos animales, como insectos, crustáceos y moluscos. Para este trabajo se eligió como materia prima la cascara de camarón debido a su disponibilidad y bajo precio. En Colombia, el cultivo de camarón, se han consolidado como el primer sector acuícola organizado, con una fuerte vocación para la comercialización de sus distintos productos hacia los mercados internacionales. Colombia exporta camarón principalmente a Estados Unidos, las exportaciones pasaron de 2000 TM en el 2003 a 3167 TM en el 2004, mostrando un incremento del 58,35%, el 80% de estos se exporta pelado y sin cabeza. Estos residuos son depositados en rellenos sanitarios, constituyendo una fuente de contaminación ambiental. Se estima que los desechos de camarón constituyen alrededor del 30% en peso del recurso [1].

La obtención de la quitina a nivel mundial ha logrado obtener grandes volúmenes, alrededor de 120000 ton/año. Estas cantidades se alcanzan debido a que las conchas de los crustáceos poseen alrededor de 14 a 35% de quitina asociado con proteínas. Además el empleo de éste material contribuye a solucionar el problema medioambiental generado por la lenta degradación de estos residuos. Dentro de las aplicaciones que se consiguen a partir del aprovechamiento de la quitina y el

quitosano se encuentran el desarrollo de productos en el área de las industrias farmacéuticas, alimenticias y cosméticas, entre otras [1].

La metodología tradicional de obtención de quitina, si bien ofrece una posibilidad de desvío de contaminantes, utiliza una cantidad de materiales y energía que hace el proceso en su totalidad poco sustentable. Con base a esto, recientemente se estableció una metodología para la extracción de la quitina aprovechando su solubilidad a bajas temperaturas en ácido clorhídrico. Metodología sencilla que requiere menor cantidad de energía y materiales, minimizando con esto el impacto ambiental de la actividad de recuperación de la quitina. Esto significa un aporte a las externalidades ambientales positivas, relacionadas con la recuperación de quitina de los residuos de la industria camaronera [2].

En este trabajo se realizó un estudio de mercado de la quitina y quitosano en Colombia más específicamente en la ciudad de Cartagena, también se determinó cuales son las mejores condiciones de trabajo en la extracción de la quitina y en la producción de quitosano. Así mismo se diseñó una planta con capacidad de 1 TM de quitina y 1.3 TM de quitosano mensuales, evaluando las condiciones antes encontradas. Seguido a esto, se realizó una evaluación económica de la planta ya utilizando indicadores económicos como la TIR y el VPN, obteniendo como conclusión que el tiempo mínimo de retorno de la inversión es 2 años y que la ganancia neta luego de 5 años de funcionamiento es \$ 841.082.896.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Cartagena actualmente cuenta con un creciente sector pesquero que sin duda genera una serie de desechos que crean un impacto ambiental negativo para la zona, entre las consecuencias de esto se pueden enumerar los malos olores generados por la materia orgánica en descomposición, los insectos y roedores atraídos por estos olores, además de las enfermedades que transmiten a los seres humanos. Todo esto sumado a la legislación vigente obliga a las empresas pesqueras a dar una disposición final adecuada a estos residuos, lo que ha convertido en un inconveniente el tratamiento póstumo que recibe las cáscaras del camarón. Razón por la cual se ha incrementado el interés por la búsqueda de opciones de reducción y aprovechamiento de estos residuos, adquiriendo mayor relevancia la incorporación de procesos de gestión ambiental.

2. JUSTIFICACIÓN

Las industrias procesadoras de mariscos presentan dentro de sus principales problemas la disposición final de los desechos generados a partir de las conchas de los diversos tipos de crustáceos. Por tanto el encontrar una aplicación a estos desechos que además de resolver la disposición final de los subproductos genere ingresos económicos es una de las mejores opciones para esta sección de la industria del camarón.

A manera de solución, la utilización de los exoesqueletos de cangrejo, langosta y camarón ha sido planteada como fuente de materia prima para la obtención de quitina y quitosano y como una oportunidad concreta para mejorar las condiciones socioeconómicas y ambientales de estas zonas [3]. Siguiendo esta trayectoria se propone el diseño de una planta que aproveche estos residuos para mitigar el impacto ambiental creado por estas industrias y que al mismo tiempo de lugar a un producto que no se está produciendo en la región y de gran valor comercial por sus múltiples aplicaciones en áreas como la biomedicina, en la agricultura y operaciones post cosecha, en el tratamiento de aguas residuales, la industria cosmética, la industria alimenticia y algunos tipos de plásticos biodegradables, entre otras. Adicionalmente, la implementación de una planta productora de quitina y quitosano en la ciudad de Cartagena aportaría en la creación de empleos ayudando a la problemática social que tiene a la ciudad como una de las de mayor desempleo en el país.

Por esta razón se propone un diseño de una planta que aproveche estos residuos para mitigar el impacto ambiental creado por estas industrias y que al mismo tiempo de lugar a un producto de gran valor comercial, que no se está produciendo en la región.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un proceso económico y competitivo para la obtención de quitina y quitosano a partir de exoesqueletos de camarón en la ciudad de Cartagena de Indias.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el estudio de mercado examinando la disponibilidad y precio de materia prima, compradores según la aplicabilidad más relevante en Cartagena.
- Establecer las condiciones óptimas de extracción de quitina en frío a partir de residuos de industrias camaroneras basadas en experiencias realizadas en el laboratorio.
- Elaborar una propuesta de diseño técnico de la planta piloto, dimensionando los equipos y servicios auxiliares requeridos además de la ubicación más apropiada para los equipos principales.
- Implementar un análisis económico de la puesta en marcha de una planta productora de quitina y quitosano en la ciudad de Cartagena teniendo en cuenta los balances de materia y energía calculados por el diseño de los equipos.

4. MARCO TEORICO

4.1. GENERALIDADES DEL CAMARÓN

Los carídeos (*Caridea*) pertenecen al orden de los crustáceos decápodos marinos o de agua dulce, conocida popularmente como camarones, quisquillas o esquilas. Su tamaño oscila entre los 10 y los 15 milímetros de longitud, tienen las patas pequeñas, los bordes de las mandíbulas fibrosos, el cuerpo comprimido, la cola muy prolongada respecto al cuerpo, la coraza poco consistente y son de color grisáceo. Son relativamente fáciles de encontrar en todo el mundo, tanto en agua dulce como en agua salada. Son mucho más pequeños que las gambas y los langostinos [4].

El camarón es tal vez uno de los animales más abundantes en las charcas de marea de las costas colombianas. Casi seguro que arrastrando el troeiro por los laterales de cualquier charca con algas se saca con un buen montón de ellos de diferentes tamaños saltando en su interior.

Vive en charcas intermareales y en aguas poco profundas cercanas a la costa. Se alimenta básicamente de pequeños animales vivos o muertos, de algas y de todo tipo de restos. Por esta razón es un animal muy interesante de cara a la limpieza de un acuario ya que recorren el fondo continuamente en busca de cualquier cosa que le sirva para alimentarse.



Figura 1. Camarón *Litopenaeus Vannamei*

Fuente: Pérez, 2009.

Desde el punto de vista nutricional, los camarones constituyen un alimento privilegiado. Investigaciones realizadas han revelado que los niveles de colesterol en muchos mariscos, incluyendo los camarones, son significativamente bajos. El camarón casi no tiene grasa, y más importante aún es que no tiene grasas saturadas, las cuales aumentan el nivel de colesterol en la corriente sanguínea. Los subproductos generados por la industria camaronera pueden dividirse en sólidos y líquidos. Entre los primeros encontramos: cefalotórax, cutícula o caparazón, vísceras y fragmentos de carne que no han sido removidos en la operación de pelado, mientras que los desechos líquidos, o efluentes, están representados por el agua de blanqueo [5].

En general, el rendimiento de los subproductos, cuando se tiene el camarón en forma de cola con cáscara, oscila entre 35 y 45% sobre el peso total del camarón. Las conchas y caparazones de muchos crustáceos, entre ellos el camarón, contienen proteínas, lípidos y pigmentos. Los carotenoides (astaxantina) presentes en el camarón, se utilizan principalmente para conferir color a muchas especies acuícolas como truchas arco iris y salmones, aumentando así su valor comercial.



Figura 2. Cáscara de camarón.

Las cabezas y cáscaras de camarón son la materia prima principal en la producción de quitina y quitosano. Las cabezas desecadas son descalcificadas usando ácidos minerales y desproteinizadas usando compuestos alcalinos para obtener una masa rica en quitina, la cual es secada al sol o en un horno para obtener quitina con amplio uso industrial y farmacológico.

- Características del cultivo de camarón en Colombia

Según el Ministerio de Agricultura de Colombia “La Cadena de camarón de cultivo, compuesta por los eslabones de laboratorios de maduración y de larvicultura, las granjas de cultivo y las empresas procesadoras y comercializadoras, se ha consolidado en el país, en menos de 25 años, en el primer sector acuícola organizado, con una fuerte vocación para la comercialización de sus distintos productos hacia los mercados internacionales. Sus exportaciones en los tres primeros años de la presente década han representado el 28% y 43% de las divisas generadas por el sector pecuario y pesquero, respectivamente. Para el año 2003 el superávit comercial de esta cadena contribuyó con el 4,7% del saldo positivo de la balanza comercial de la actividad agropecuaria” [6].

Las regiones colombianas dedicadas a esta actividad económica son los departamentos del Atlántico, Bolívar, Córdoba, Guajira, Nariño y Valle del Cauca (figura 3).



Figura 3. Zonas de cultivo de camarón en Colombia.

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo, 2005.

La cadena del cultivo de camarón en Colombia está constituida por cuatro eslabones involucrados en las diferentes etapas de producción y postproducción de los bienes finales (camarón y langostino congelado) e intermedios (nauplios,

postlarva, padrotes). Estos eslabones corresponden a: 1. Los laboratorios de maduración; 2. Los laboratorios de larvicultura; 3. Las fincas o granjas de cultivo; y 4. Las plantas de procesamiento, que al mismo tiempo son empresas comercializadoras (figura 4)

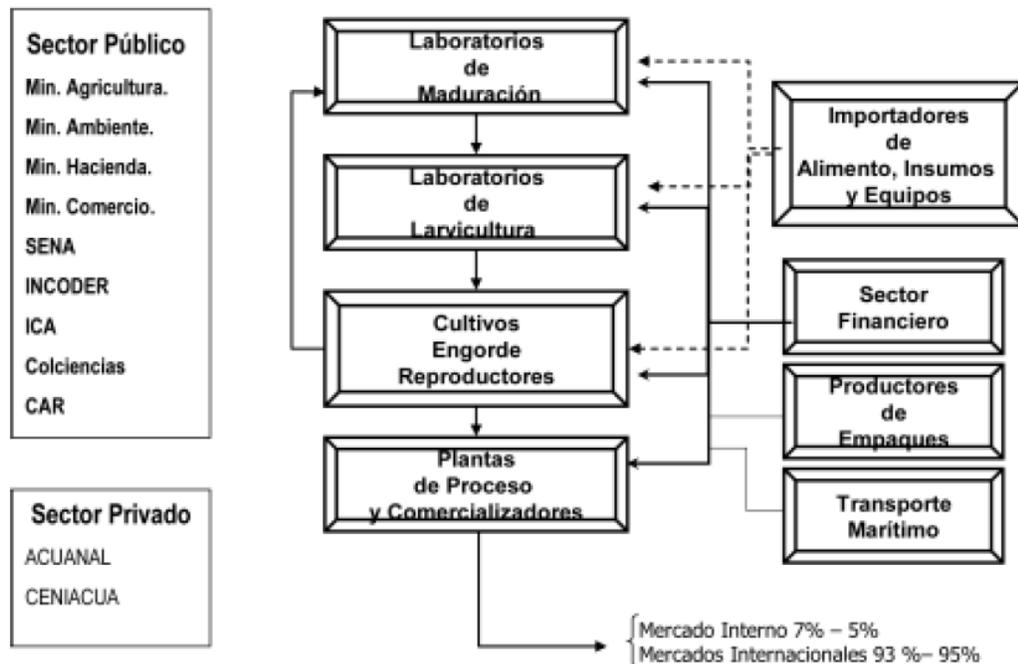


FIGURA 4. Diagrama de flujo de la cadena de camarón de cultivo

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo

4.2. BIOMATERIALES

Los biomateriales son unos compuestos de polímeros biológicamente degradables. Los componentes básicos típicos son el almidón, el azúcar, aceites vegetales y celulosa, así como biomoléculas como lignina o caucho. La proporción de estas materias primas base en el material es del 20% como mínimo. Numerosos biomateriales ya han alcanzado una elevada madurez técnica y económica, con propiedades especiales y en parte únicas en relación a la biodegradabilidad.

Actualmente se procesan anualmente unas 500.000 toneladas de novedosos biomateriales. Después de años de investigación y desarrollo, este grupo de materiales tiene cada vez más éxito en el mercado. Las razones son varias, el precio de los polímeros convencionales, por una parte, y el desarrollo sostenible por otra. Los biomateriales contribuyen a la protección de los recursos finitos y se ajustan a los nuevos parámetros del tratamiento de residuos procedentes de los procesos industriales, pues son elementos regenerables y, en la mayoría de los supuestos, biodegradables [7].

4.3. QUITINA

La quitina es un polímero natural que está constituido por moléculas de N-acetil-D-glucosamina (figura 5). Es un polisacárido no tóxico y biodegradable que se caracteriza por su insolubilidad en disolventes comunes, lo que la hace muy difícil de procesar. Se estima que la biosfera produce anualmente alrededor de unos 100 millones de toneladas de este material.

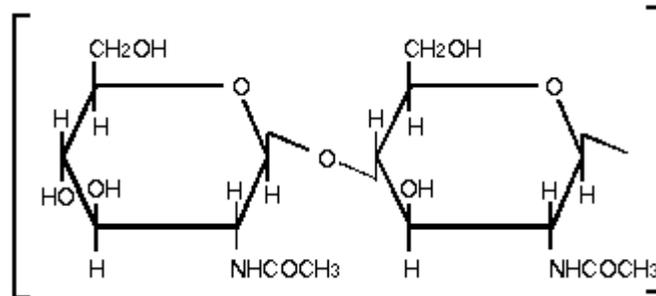


Figura 5. Estructura de la quitina

La quitina puede ser transformada y utilizada como un biopolímero renovable, que se obtiene en forma de fibra, película, esponja o en polvo [8].

4.4. QUITOSANO

En lo que al quitosano se refiere, se sabe que es el derivado más importante de la quitina, está formado por moléculas de N-acetil-glucosamina-co-β-glucosamina (figura 6) y puede ser obtenido mediante un proceso químico sencillo de desacetilación eliminando al menos un 50% de los grupos acetilo presentes en la quitina. Bajo este término se agrupa una familia de copolímeros con diferencias en el número de unidades desacetiladas y en el peso molecular, debido a la dificultad de controlar la distribución de los grupos acetilo a lo largo de la cadena polimérica que hace difícil conseguir reproducibles polímeros iniciales. El quitosano posee un comportamiento marcadamente básico debido al grupo amino libre en su estructura, lo cual además le proporciona ciertas características químico-físicas de gran interés industrial.

A diferencia de la quitina, el quitosano es soluble en agua en un medio ácido. La ventaja del quitosano frente a otros polisacáridos (celulosa, almidón galactomananos, etc.) es que su estructura química permite modificaciones específicas sin demasiadas dificultades. Cabe destacar que grupos específicos pueden ser introducidos en el diseño de polímeros para determinadas aplicaciones, puesto que es un material fungicida, antiviral, biocompatible, biodegradable, antimicrobiano, no tóxico, emulsionante, absorbente de grasas, absorbente de metales contaminantes, filmogénico, etc [9].

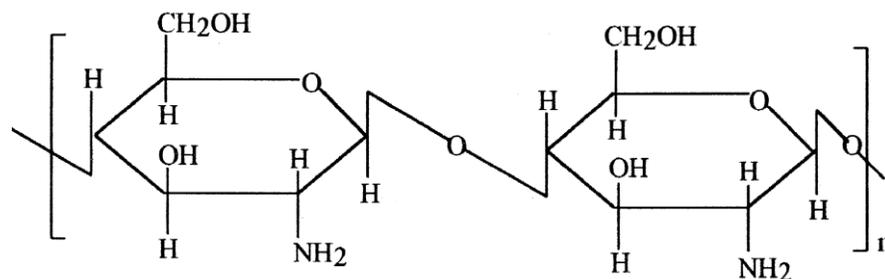


Figura 6. Estructura del quitosano

4.5. FUENTES DE QUITINA Y QUITOSANO

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 (Tabla 1).

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.

Las cáscaras de almeja y ostra contienen cantidades significativas de quitina. Sin embargo, las producciones del polímero son bajas y el contenido mineral es muy alto en ambos. Contienen quitina al 6 y 4% y cenizas al 90 y 85%, respectivamente. La pluma del calamar es en hecho la única fuente importante de p-quitina polimorfa, puesto que los crustáceos contienen exclusivamente α -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 *Mucor rouxií* y *Choanephora cucurbitarum* con 30 y 28% de quitosano, respectivamente. También, dos diatomeas marinas, *Cyclotella cryptica* y *Thalassiosira fluviatilis* han demostrado ser una fuente de quitosano puro que no se asocia a las proteínas [10].

Las propiedades de la quitina y el quitosano dependen principalmente de la fuente de obtención y el método de preparación. Estos polímeros difieren entre sí por su distribución, masa molecular y grado de acetilación. Además se ha reportado que el quitosano controla el crecimiento de bacterias, hongos y levaduras y ha sido aplicado para suprimir estos organismos en tejidos de plantas y alimentos. Se ha establecido que el quitosano no puede ser digerido por los seres humanos así que está considerado como una fibra dietética con un contenido calórico cero.

Tabla 1. Composición química de algunas fuentes de materia prima para la obtención de quitina/quitosano

Origen	Composición Química (%)				
	Humedad	Proteínas	Cenizas	Lípidos	Quitina
Caparazones de jaiba y cangrejo					
• <i>Callinectes sapidus</i>	46.8	7	38.5	0.4	7.3
• <i>Paralithodes camtschaticus</i>	50	11	23	0.5	15.5
• <i>Chionectes opilio</i>	---	10.3	57.9	1.35	26.65
Camarón (langostino)					
• <i>Penaeus spp.</i>					
Cabeza	77.04	12.9	5.2	2.06	2.8
Cáscara	65	22.1	9.2	0.5	6.2
Krill					
• <i>Euphasia superba</i>	---	41	23	11.6	24
Langosta					
• <i>Linuparus trigonus</i>	13.5	17.0	54.7	---	---
• <i>Panulirus argus*</i>	11.8	11.0-14.0	55.0	---	10.6
Pluma de calamar					
• <i>Dosidicus gigans</i> (calamar gigante)	60	24.16	0.4	0.26	18.9
• <i>Loligo spp.</i> (calamar común)	50	32.75	0.25	---	17

Fuente: Peniche, 2006.

4.6. PRINCIPALES APLICACIONES

Para la quitina y el quitosano se encuentran múltiples aplicaciones en áreas como la biomedicina, en la agricultura y operaciones post cosecha, en el tratamiento de aguas residuales, la industria cosmética, la industria alimenticia y algunos tipos de plásticos biodegradables, entre otras. Estas aplicaciones se detallan a continuación:

- *Agricultura:* entre las aplicaciones más comunes en este campo está el recubrimiento de semillas con películas de quitosano para su conservación durante el almacenamiento, sistemas liberadores de fertilizantes y agente bactericida y fungicida para la protección de plántulas.

- *Medicina:* la quitina y el quitosano se han empleado desde la antigüedad para el saneamiento de heridas. En la actualidad, entre los usos médicos más sencillos está la producción de suturas quirúrgicas a partir de quitina, producción de gasas y materiales tratados con quitosano y como cremas bactericidas para el tratamiento de quemaduras [20]. El quitosano es un buen hemostático, pero sus derivados sulfatados exhiben actividad anticoagulante. Se sabe que el quitosano es hipocolesterolémica e hipolipidémica, posee actividad antimicrobiana, antiviral y antitumoral. La actividad inmunoadyuvante del quitosano ha sido también reconocida. Todas estas interesantes características conducen al desarrollo de numerosas aplicaciones del quitosano y sus derivados en biomedicina, tales como hilos de sutura, esponjas y vendas biodegradables, matrices (en microesferas, microcápsulas, membranas y tabletas comprimidas) para dosificación de fármacos, en ortopedia y en estomatología, entre otros [11].

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 [12]

- *Tratamiento de aguas:* es una de las áreas más importantes debido a que el quitosano y la quitina son sustancias ambientalmente amigables. Entre los principales usos en este campo se tiene el empleo como coagulante primario para aguas residuales de alta turbidez y alcalinidad, como floculante para la remoción

de partículas sólidas y aceites de pescado y para la captura de metales pesados y pesticidas en soluciones acuosas.

- *Cosméticos:* dentro de este campo se menciona la fabricación de cápsulas para adelgazar, como aditivo bactericida en jabones, champús, cremas de afeitar, pasta dental, etc. y como agente hidratante para la piel. [11].
- *Biosensores:* entre las aplicaciones del quitosano en este campo se usa especialmente como soporte para la inmovilización de enzimas sensibles a un sustrato específico. Ejemplo de esto son los sensores para glucosa en sangre humana, sensores para la detección de fenoles en aguas de desecho en plantas industriales y sensores basados en la inmovilización de nanopartículas espacialmente ordenadas.
- *Fabricación de papel:* en el tratamiento de superficies y material fotográfico.
- *Bioteología:* en la inmovilización de enzimas y células (biosensores), separación de proteínas, cromatografía y recuperación celular.
- *Alimenticia:* en la eliminación de colorantes, conservantes, estabilizante de color, exaltador del sabor natural, preservante, antioxidante, emulsionante y aditivo de alimentos para animales. La utilización del quitosano en la industria alimentaria sólo está permitido abiertamente en EEUU, Corea, Japón y Nueva Zelanda, esta última desde el 2004. Todos estos países han concedido al quitosano la condición de producto GRAS (Generally Recognized as Safe). En Europa, el quitosano todavía no tiene una aprobación legal para su uso generalizado en alimentación. Por el momento, sólo se permite su empleo como alimento complementario de naturaleza dietética, estando pendiente de aprobación como aditivo alimentario. Actualmente, en el mercado europeo, se puede adquirir quitosano en comprimidos con el objetivo de reducir la cantidad de grasa absorbida por el organismo como

resultado de la ingesta de alimentos. Existiendo una amplia oferta de marcas para este tipo de producto [12].

En relación a la textura de los alimentos el quitosano puede aportar mejoras, al actuar fijando el agua y la grasa.

El quitosano es una alternativa a los polímeros sintéticos utilizados como agentes floculantes. Así, es habitual su uso en la clarificación de bebidas y puede llegar a ser usado como estabilizador del color. Se emplea en la filtración y depurado de aguas, y, en combinación con la bentonita, gelatina o gel de sílice, en la clarificación del vino y la cerveza. Añadido tras el proceso de vertido mejora la floculación al actuar sobre las células de levadura, partículas procedentes de las frutas y otro detritus que disminuyen la calidad del vino. Todas estas aplicaciones se pueden observar en la figura 7.



Figura 7. Principales usos del quitosano
Fuente: Pérez, 2009.

4.7. OBTENCIÓN DEL QUITOSANO

La obtención del quitosano se produce por desacetilación de la quitina y se puede realizar mediante procesos químicos o enzimáticos. Sin embargo las condiciones específicas de la reacción dependerán de diversos factores, tales como el material de partida, el tratamiento previo, y el grado de desacetilación deseado.

4.7.1 *El Método químico* .Se puede llevar a cabo de dos formas, homogénea y heterogénea.

4.7.1.1 La desacetilación homogénea. Consiste en que la quitina es suspendida en el álcali y la suspensión es refrigerada 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. Esto permite que la reacción no se localice en determinados lugares de la cadena y que el ataque a los grupos amidas sea más uniforme.

4.7.1.2 La desacetilación heterogénea. Consiste en que las moléculas de quitina se dispersan en una solución alcalina caliente, generalmente de hidróxido de sodio. Las condiciones en las que se lleva a cabo la desacetilación heterogénea pueden reducir la longitud de la cadena por este motivo 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.

Se ha demostrado que el quitosano obtenido en el proceso heterogéneo presenta polidispersión del grado de acetilación de sus cadenas, mientras que el obtenido por vía homogénea tienen la misma composición.

4.7.2 *El método enzimático.* La principal ventaja de este método respecto al químico es la obtención de un material uniforme en sus propiedades físicas y químicas, hecho muy apreciado para aplicaciones biomédicas [13].

La quitina desacetilasa es la enzima que cataliza la conversión de quitina a quitosano por la desacetilación de los residuos N-acetil-D-glucosamina. La limitación de este método es la baja efectividad de la enzima en la desacetilación de quitina insoluble, que hace necesario un pretratamiento. 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.

4.8. CARACTERIZACIÓN DEL QUITOSANO

Tanto la composición de las cadenas de quitosano, como sus dimensiones, suelen variar dependiendo del material de partida y de la rigurosidad del método de obtención. Por ello, la aplicación de método espectrofotométrico (IR), la solubilidad y el grado de desacetilación son parámetros que se deben conocer para caracterizar una muestra de este polisacárido ya que tienen gran incidencia en sus propiedades. Otros parámetros a determinar para su caracterización más completa son, el peso molecular, el porcentaje de humedad, el contenido de cenizas, las proteínas totales, la cristalinidad, la determinación del contenido de material insoluble, etc [14].

4.8.1. *Método espectrofotométrico (IR).* Uno de los métodos más usados para la identificación de quitina y quitosano es la identificación por Espectrofotometría Infrarroja (IR). En el análisis de estos compuestos por espectroscopía IR se puede identificar principalmente los grupos funcionales amida y carbonilo. Para la quitina las vibraciones de estiramiento del grupo NH tienen dos frecuencias moderadamente intensas. En los espectros de muestra sólida, estas bandas se observan en rango de 3500 a 3180 cm^{-1} debido al enlazamiento de hidrogeno; la frecuencia del carbonilo se observa en la banda intensa en la región de 1680 a

1630 cm^{-1} y una banda intensa en la región de 1640 a 1550 cm^{-1} que corresponde a la deformación del enlace NH, cuando se examina en estado sólido. Mientras que para el quitosano las bandas de intensidad media correspondientes a vibraciones de estiramiento del NH ubicadas en la región de 3500-3300 cm^{-1} y la banda de absorción de intensidad media a fuertes relativa a vibraciones de deformación del grupo amino a una frecuencia entre 1640 a 1500 cm^{-1} [15].

4.8.2 Solubilidad. La presencia de grupos amino a lo largo de la cadena de quitosano permite la disolución de esta macromolécula en disoluciones de ácidos diluidos, por medio de la protonación de esos grupos. En medios ácidos diluidos tiene lugar el siguiente equilibrio:



Figura 8. Reacción de disolución de macromoléculas por medio de Quitosano

Al adquirir carga positiva la amina, el quitosano aumenta su capacidad hidrofílica y pasa a ser soluble en soluciones ácidas diluidas formando sales ya que el pKa del grupo amino en el quitosano es 6,5.

El quitosano se puede solubilizar en ácido clorhídrico, bromhídrico, iodhídrico, nítrico y perclórico diluidos. En cambio es insoluble en ácido sulfúrico diluido. También es insoluble en la gran mayoría de disolventes orgánicos como el alcohol. El quitosano, al igual que la quitina, es insoluble en agua.

4.8.3. *Determinación del grado de desacetilación.* El grado de desacetilación se define como el contenido en grupos aminos presentes en la cadena polimérica. Existen numerosos métodos para determinar el grado de desacetilación del quitosano basados en diversas técnicas. Entre estas técnicas podemos destacar la espectroscopía de infrarrojo (IR), la espectroscopía de UV, la espectroscopía de RMN, la potenciometría y la conductimetría.

- Valoración Potenciométrica. Consiste en disolver quitosano en un exceso conocido de ácido clorhídrico y se valora con hidróxido de sodio. Se obtiene, así, una curva de pH frente a volumen de NaOH añadido que presenta dos puntos de inflexión. La diferencia de volumen entre estos dos puntos se corresponde con el ácido consumido para la protonación de los grupos amino y permite determinar el grado de desacetilación. La valoración se realiza utilizando un potenciómetro.

4.9. CARACTERIZACION DEL MERCADO MUNDIAL DE QUITINA Y QUITOSANO

El mercado mundial de oferentes de quitina y quitosano está formado por diferentes actores. Liderando el mercado se encuentran Estados Unidos y Japón (figura 9). Según un estudio realizado por la Sociedad Asiática de Quitina (1996), el mercado mundial de quitosano en 1994 era de 1000 TM de las cuales 800 TM eran utilizadas en Japón, esto demuestra la gran importancia de este país como productor y consumidor. Esta situación puede explicarse si se tiene en cuenta que el mismo estuvo a la vanguardia en la producción de éstos biopolímeros ya que inició sus actividades en la década del 70. Actualmente la producción y el consumo se encuentran descentralizados con respecto a la situación anteriormente 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 [16].

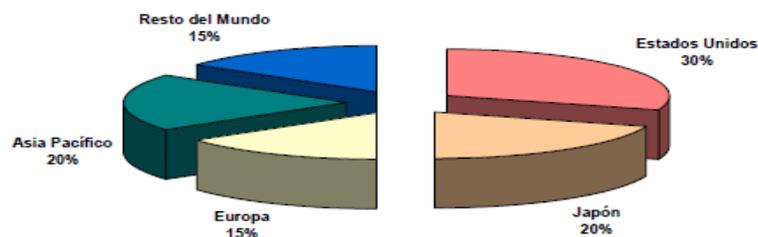


Figura 9. Composición del Mercado Mundial de Quitina y Quitosano

Se estima que, de acuerdo a las propiedades y aplicaciones ya mostradas, el mercado potencial mundial de ventas de quitina/quitosano es de unos \$ 2 billones de dólares por año, si se toma en cuenta su potencial en compañías agrícolas, de cosméticos, alimentos, cuidado de la salud, inmovilización y cultivo de células, separación/recuperación de productos, tratamiento de aguas/agua residual y otras [17].

Un estudio de investigación realizado por Global Industry Analyst, Inc., de la producción mundial de quitina y quitosano proyectada para el 2010 arroja como resultado una tasa de crecimiento anual del 16%. El gráfico expuesto a continuación muestra la proyección estimada para el 2010:

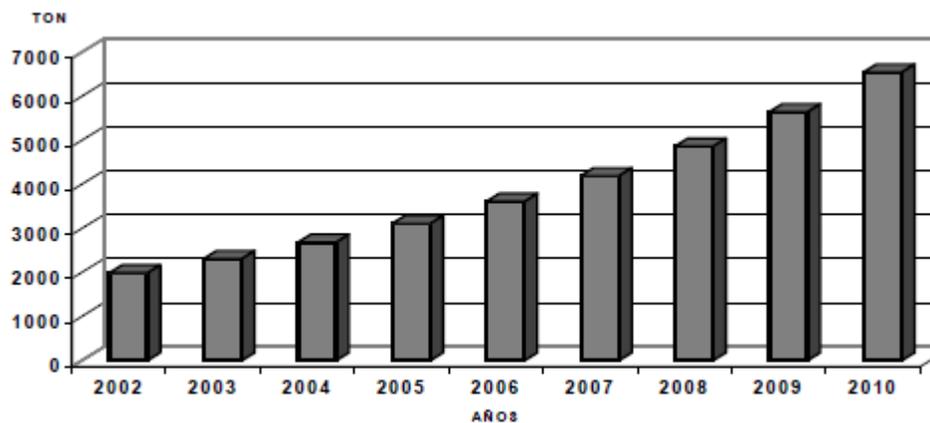


Figura 10. Proyección Mercado de Quitosano

5. METODOLOGÍA

5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Con el fin de alcanzar los objetivos propuestos se utilizó un tipo de *Investigación mixta*. Dicho tipo de investigación se seleccionó debido a que la naturaleza del problema lleva consigo dos ámbitos conceptuales, los cuales se describen a continuación:

Componente cualitativo. Aquí se abordó un estudio de mercado de la quitina y el quitosano tanto en el ámbito local como regional y nacional para establecer precios, competencia y todo lo que influye al estudio económico de la industria de dichos biopolímeros.

Componente experimental. En este ámbito se realizó un estudio cuantitativo que comprendía la influencia de la cantidad y concentración de ácido clorhídrico en la extracción en frío de la quitina de los exoesqueletos de camarón.

5.2. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Fuentes primarias. Para la investigación cualitativa del estudio de mercado se utilizaron datos recolectados de campo (industrias de Cartagena) a través de encuestas realizadas. Por otro lado en la investigación experimental estas fuentes fueron los datos recolectados en laboratorio referidas a las variables fisicoquímicas que se observaron.

Fuentes secundarias. Las industrias encuestadas hicieron referencia a vendedores, precios de insumos y producto final, producción, características comerciales, etc. Mientras que por su parte en la investigación experimental éstas

fuentes fueron los diferentes artículos científicos de estudios de extracción de quitina y producción de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón donde se pudo obtener datos como la cantidad de quitina máxima contenida en los exoesqueletos de camarón, el costo de producción por kilogramo de quitina por el método convencional y las relaciones de hidróxido/quitina para la desacetilación del biopolímero.

5.3. POBLACIÓN

En la investigación cualitativa la población escogida hizo referencia a las industrias que posean en sus instalaciones plantas de tratamiento de aguas, mientras que en la investigación experimental el estudio se enfocó en el camarón *Chionectes Ophilio*.

5.4. MATERIALES Y EQUIPOS

- Exoesqueletos de camarón provenientes de la empresa COMERPES.
- Ácido clorhídrico (HCl) grado analítico Merck®.
- Hidróxido de sodio (NaOH) analítico Merck®.
- Espectrofotómetro infrarrojo Milton Roy®.

5.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño de experimentos utilizado fue Multi-factor Categórico con ayuda del programa STATGRAPHICS CENTURION XV. Los factores o características variadas fueron la concentración (8, 10, 12 Molar) y cantidad (100 y 200 ml) de HCl. Este diseño de experimentos se puede ver mejor en la tabla 2.

Factores	Niveles	Unidades
cantidad de HCl	100	Mililitros
	200	
Concentración de HCl	4	Molar
	6	
	8	
	10	
	12	
Respuestas		Unidades
Quitina extraída		Gramos

Tabla 2. Diseño experimental

Las variables respuesta fueron la cantidad de quitina obtenida y el rendimiento del proceso de extracción.

5.6. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

5.6.1. REALIZACIÓN DEL ESTUDIO DE MERCADO.

Se inició realizando un análisis previo de la situación actual de la quitina y el quitosano en la zona, donde se hizo un estudio interno. Este estudio interno comprendió la definición del marketing Mix, es decir, el proceso de planificación y ejecución de la concepción del producto, fijación del precio, promoción y distribución de ideas, bienes y servicios para crear intercambios que satisfagan los objetivos de los individuos y de las organizaciones y, en definitiva, del mercado.

De igual forma se realizó el análisis externo donde se dio a conocer el análisis del sector y mercado de referencia, ciclo de vida del producto y análisis de la competencia.

Todos estos estudios obtenidos anteriormente se realizaron por medio de encuestas sobre las fuentes primarias, las cuales se trataron de las industrias de la ciudad en diferentes actividades económicas que contengan en su interior plantas de tratamiento de agua (PROLECA, PROPILCO, ECOPETROL) que hacen referencia a las aplicaciones de la quitina y quitosano para tratamiento de aguas y sobre fuentes secundarias que hacen referencia a estudios económicos ya realizados del producto.

Así teniendo todo lo anterior, se determinó la cantidad de quitina a producir en la planta en un mes o cantidad de demanda del producto que se debía producir. Esto por medio del análisis de las encuestas realizadas y que luego se aplicaron a la fórmula de demanda:

$$Q = n \times q \times p \quad (1)$$

Donde:

Q = demanda total del mercado

n = cantidad de compradores en el mercado

q = cantidad comprada por el comprador promedio al año

p = precio de una unidad promedio

Esta fórmula dará la demanda anual en unidades monetarias.

5.6.2. EVALUACIÓN DEL CONTENIDO Y CALIDAD DE LA QUITINA

Por medio de la consulta bibliográfica se fijó la cantidad y calidad de quitina y quitosano extraído por el método convencional, también se procedió a determinar

el porcentaje de quitina presente en los exosqueletos de camarón utilizando la metodología plasmada en la figura 11 en las instalaciones de los laboratorios de Química y Farmacia de la Universidad de Cartagena donde se pudo comparar el rendimiento en los procedimientos y así elegir la mejor opción para el diseño de la planta.

5.6.2.1. Acondicionamiento de la materia prima

Consistió en la eliminación de desechos que acompañan a la materia prima como lo son patas, colas y cualquier otra impureza que pueda quedar adherida a los caparazones de camarón, utilizando agua a presión. Luego se procedió a escurrir y secar el material para conducirlo a su molienda hasta el tamaño de partículas adecuado para la extracción, que generalmente es de varios milímetros.

5.6.2.2. Desproteínización, Desmineralización y Decoloración

Se tomaron muestras de 30 g de material seco y molido que se disolvieron en 1L en diferentes cantidades (0,1 dm³ y 0,2 dm³) de HCl, a diferentes concentraciones (6, 8, 10 y 12 mol/dm³) y en frío (5°C). Los tiempos de extracción fueron cercanos a los 20 minutos (ver figura 12).

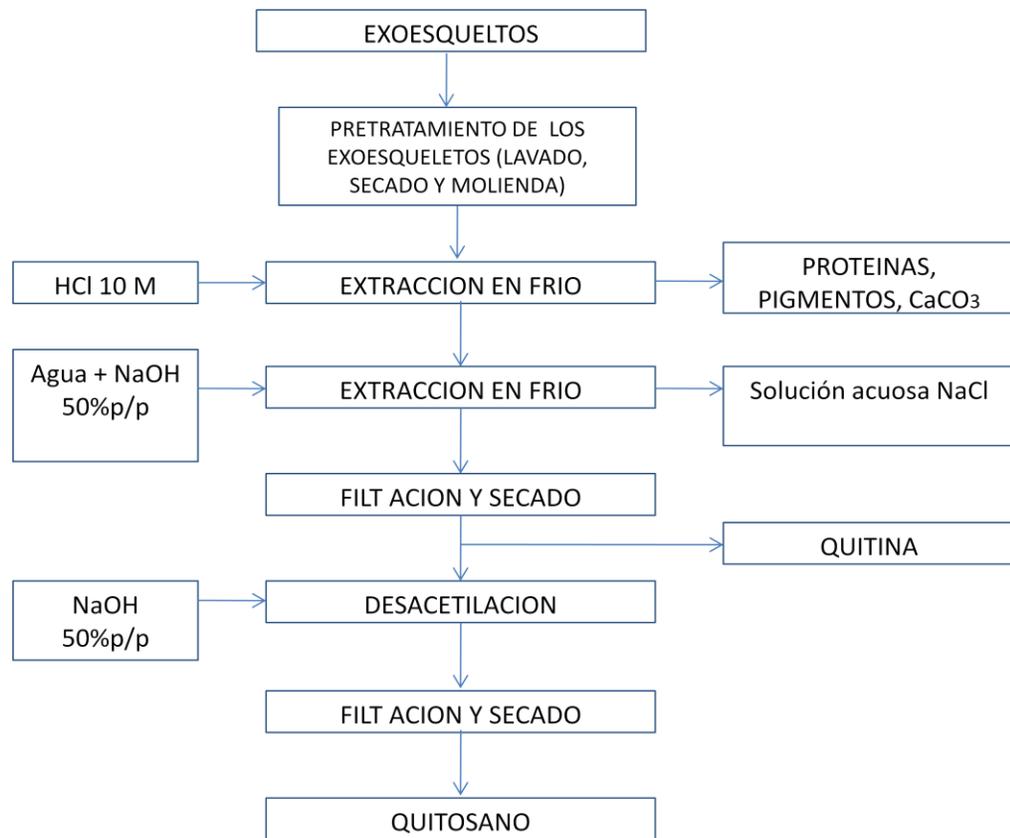


Figura 11. Metodología de producción de quitosano en frío.



Figura 12. Extracción de quitina en frío.

Transcurrido un tiempo, se realizó una filtración a presión donde se eliminó el material no disuelto. Posteriormente, se diluyó con una cantidad de agua igual a tres veces el volumen inicial la cual se neutralizó con solución de NaOH concentrada y se adicionó más agua para asegurar la total precipitación del biopolímero, como se evidencia en la figura 13. La mezcla heterogénea se separó por filtración con bomba de vacío para obtener el precipitado. El precipitado obtenido fue lavado con agua caliente (aproximadamente 60°C) para eliminar las proteínas restantes que puedan contaminar el producto. La quitina obtenida se somete a secado con temperaturas que oscilan entre 45-55°C y tiempos aproximados de 15 minutos. Para obtener un polvo fino blanco y de mejor apariencia como el mostrado en la figura 14 se realizó una trituration.

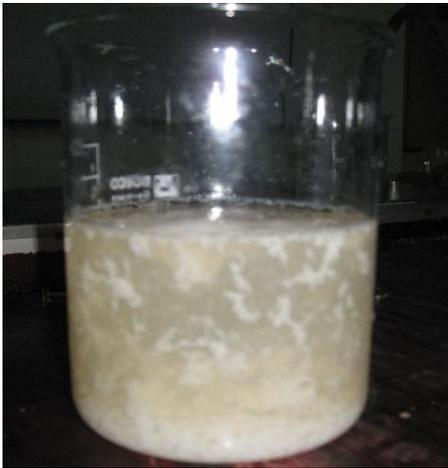


Figura 13. Precipitación de la quitina. **Figura 14.** Quitina obtenida

5.6.2.3. *Desacetilación*

Es el proceso por el cual la quitina es convertida en quitosano, consiste en eliminar las unidades acetilo de la quitina. Para ello se empleó el hidróxido de sodio al 70% a 110°C y después se purificó filtrando y lavando con agua destilada a 70°C (figura 15). Esta desacetilación es heterogénea y por las condiciones en las que se lleva a cabo puede reducir la longitud de la cadena, por este motivo es

conveniente repetir varias veces el tratamiento alcalino por cortos periodos de tiempo (1 hora) y aislando el producto en cada etapa [18].



Figura 15. Desacetilación de la quitina.

5.6.2.4. *Secado*

La humedad del quitosano producido se redujo hasta aproximadamente el 0% de humedad en un secador a una temperatura entre 45 – 50°C (figura 16), donde se procedió al enfriamiento y almacenamiento del producto final.



Figura 16. Secado del quitosano.

5.6.2.5 *Determinación de calidad de quitina obtenida*

La quitina obtenida se caracterizó por espectroscopia infrarroja (IR) en el rango de longitud de onda comprendido entre los 4000 – 400 cm^{-1} . La muestra se preparó con una pastilla de KBr.

5.6.2.6. *Grado de Desacetilación del quitosano*

Para determinar el grado de desacetilación, la muestra de 0.5 gramos de quitosano se disuelve en 20 ml de una solución de ácido clorhídrico 0.3M y luego se cambia su pH por la titulación con hidróxido de sodio 0.1M. La valoración se lleva a cabo midiendo el cambio de pH cada 0.5 mL de base añadida, la adición se realiza de forma lenta y con agitación continua para homogenizar la solución y evitar errores debidos a la posible precipitación del biopolímero. Luego se graficó el cambio de pH contra la primera derivada ($\Delta\text{pH}/\Delta V$). El grado de desacetilación se calculó utilizando la diferencia entre los dos puntos de inflexión que se presentaron en la curva [19]:

5.6.3. DISEÑO DE LA PLANTA EXTRACTORA DE QUITINA

Se realizó la parte experimental del proceso y con base en los datos obtenidos de dicha fase, se eligieron las condiciones óptimas de diseño (las de mayor rendimiento obtenido). Ya teniendo estas condiciones se realizó el diseño de los equipos de pretratamiento de materias (tanques de lavado, molino de bolas, secador solar), extracción de quitina (extractor solido-liquido, tanque de dilución, filtro prensa y rotatorio de vacío), producción de quitosano (reactor de desacetilación, secador de bandejas y tanque de lavado) y equipos de almacenamiento de materias primas y productos finales, todo esto basado en los diferentes algoritmos de diseño de cada equipo y programas de simulación de

procesos como Hysys 3.2 y Aspen plus como también los pasos restantes para finalizar la ingeniería conceptual de planta.

5.6.4. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PLANTA

Se realizó un estimativo de costos de los equipos diseñados y de las instalaciones necesarias de acuerdo al método de *Guthrie*, el cual encuentra primeramente el costo del equipo en función de las dimensiones de este. El costo calculado se corrige dependiendo del material de construcción y del año en que se construyó o se estimó el precio a partir de un equipo similar por medio de la siguiente ecuación [20]:

$$Costo = Costo_{referencia} \left(\frac{Cap_a}{Cap_b} \right)^\eta \quad (2)$$

Donde

$Costo_{referencia}$ es el costo de un equipo similar al diseñado

Cap_a es el parámetro o capacidad del equipo diseñado

Cap_b es el parámetro o capacidad del equipo referencia o similar

η es el exponente de costo según el tipo de equipo

Luego de tener los costos se implementó un análisis económico basado en términos como Gastos previos, Capital inmovilizado, Capital circulante, Gastos de fabricación, Gastos generales e ingresos por ventas, entre otros ítems que representan de buena manera el comportamiento que tendría la actividad comercial de la planta. Luego de calculado estos valores se utilizó el método del punto de equilibrio y el método valor presente neto (VPN), para poder determinar la viabilidad del montaje.

6. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1. ESTUDIO DE MERCADO

En el estudio de mercado se realizó un análisis externo que llevó a los siguientes resultados:

FORTALEZAS

- ✓ Producto altamente competitivo, por la necesidad de los clientes y la poca competencia (solo dos empresas).
- ✓ Mercado bastante amplio y alta demanda de clientes.

LIMITACIONES

- ✓ Existe la probabilidad de que la producción de la empresa no va ser lo suficientemente grande para abastecer el mercado que la requiere, es decir los clientes.

OPORTUNIDADES

- ✓ El producto es tan esencial en muchos sectores y requerido a nivel mundial, que se puede ampliar la producción con el fin de pensar a largo plazo en exportar.
- ✓ La rentabilidad del proyecto puede llevar a la expansión del negocio y hacer sucursales en otras ciudades con el fin de abastecer la demanda.

RIESGOS

- ✓ El producto no tenga la acogida que se espera por parte del cliente y prefieran la competencia por ser de carácter internacional.

La disponibilidad de los exoesqueletos de camarón en la ciudad de Cartagena es:

- C.I. Antillana S.A.
Dirección: Albornoz Cr56 1-274 Vía Mamonal
Capacidad de producción anual: 330 toneladas
Volúmenes de exportación al año: 298 toneladas
Contacto: Ricardo Prada

- Aqua Panamá Overseas, I NC.
Dirección: Mamonal Carrt Mamonal Km 13 Zona Franca Isla 2-A Bdg 14
Producción: 1ton residuos de caparazón de camarón/semana

- C.I. Cartagenera de Acuacultura S.A. y Cartagena Shrimp Company
Dirección: Centro Cr6 36-112 Calle de la Universidad
Capacidad: 2000 kilos de camarones empacado en 10 hora/ día trabajado.
Sitio web: www.cartacua.com

- C.I. Comerpres S.A.
Dirección: Bosque Dg20 45 A-71 Av Pedro Vélez
Producción: 300 – 400 kg de residuos de conchas de camarón/ 15 días

Por otra parte el estado actual de la quitina y el quitosano en el país fue mostrado en la siguiente tabla:

Tabla 3. Estado comercial actual de la quitina en Colombia

Precio en bruto.	Quitina: \$20US/kilogramo Quitosano: \$70US/kilogramo
Competidores actuales	MANTENITEC E.U, ubicada en Cali – Valle. INALI LTDA, Cali-Valle *Cabe resaltar que estas empresas son comercializadoras mas no productoras

Para realizar el análisis interno (precio, producción, etc.) fue necesario realizar las diferentes encuestas que registraron los resultados (ver anexo A). Las personas responsables de las encuestas en cada una de las empresas fueron:

PROLECA: Ing. Raúl Páez Osorio.

ECOPETROL (BARRANCABERMEJA): Ing. Vanessa Rodríguez Franco.

PROPILCO: Ing. Jorge Ochoa.

Se consideró las encuestas realizadas y se usó una base para la estimación de datos en la formula de demanda:

n = cantidad de compradores en el mercado = de las 185 industrias en Mamonal el aproximadamente 40% poseían plantas de tratamiento de aguas (valor estimado de la muestra representativa, ya que de 10 empresas que se encuestó 4 de ellas cumplían con ésta característica), de las cuales se apuntó inicialmente a un 20% de estas industrias (valor recomendado por economistas como parte tomada de la torta del mercado inicialmente) = 15 industrias.

q = cantidad comprada por el comprador promedio al año = el promedio analizado de las encuestas seria de 16000kg de quitina/año y 16000kg quitosano/año.

p = precio de una unidad promedio = \$35000/kg quitina y \$70000/quitosano

Con esto la demanda anual de los productos en unidades monetarias es:

$$Q_{quitina} = (15 \times 2.100 \times 35.000) = \$ 1.102.500.000$$

$$Q_{quitosano} = (15 \times 2.100 \times 70.000) = \$ 2.205.000.000$$

6.2. EXTRACCION DE QUITINA Y PRODUCCION DE QUITOSANO

A medida que se llevó a cabo el proceso de extracción de la quitina y producción de quitosano, se notó que al momento de realizar el proceso de secado por medio solar, tanto a los exoesqueletos de camarón como a la quitina y quitosano, éstos sólidos eran más blancos que cuando se secaban en un horno. Esto se debe a que los rayos solares, por causa de la radiación ultravioleta, son capaces de eliminar por procesos de degradación oxidativa los dobles enlaces presentes en los pigmentos carotenoides de dichos sólidos, como lo son la astaxantina y el β -caroteno. Este proceso de secamiento al sol puede reducir considerablemente los costos de producción de quitina o quitosano, ya que no se usarían agentes blanqueantes, se ahorraría tiempo y se minimizaría el volumen de descarga de aguas residuales [21].

Un paso que también ayuda al blanqueamiento y evitar la contaminación de quitina y quitosano, son los lavados durante todo el proceso con agua caliente, ya que con esto se logra arrasar las sales minerales, como carbonatos y bicarbonatos, que no son eliminados en el proceso de extracción en frío.

La tabla 4 y la figura 17 muestran la cantidad de quitina obtenida de la extracción en frío para las diferentes variables de estudio (concentración y cantidad de HCl utilizado).

Se puede ver que para las concentraciones de 6 y 8 M los rendimientos obtenidos (33.33% y 45%) son bajos debido a que a estas concentraciones no se da un contacto cercano aceptable entre la quitina y el HCl que conlleve a su separación de los exoesqueletos. Por consiguiente, estas condiciones no serían rentables llevarlas a escala piloto o industrial para procesar quitina y quitosano.

Tabla 4. Correlación de cantidad de quitina extraída en función de concentración y cantidad de HCl

Cantidad de HCl (ml)	Concentración de HCl (molar)	Cantidad de Quitina extraída (gramos)	Rendimiento $\frac{\text{Quitina obtenida}}{\text{Quitina teórica}} \times 100\%$
100	4	0	0%
200	4	0	0%
100	6	1.03	19.07%
200	6	1.79	33.33%
100	8	1.35	25%
200	8	2.43	45%
100	10	3.85	71.29%
200	10	4.21	78%
100	12	4.00	74.07%
200	12	4.35	80.55%

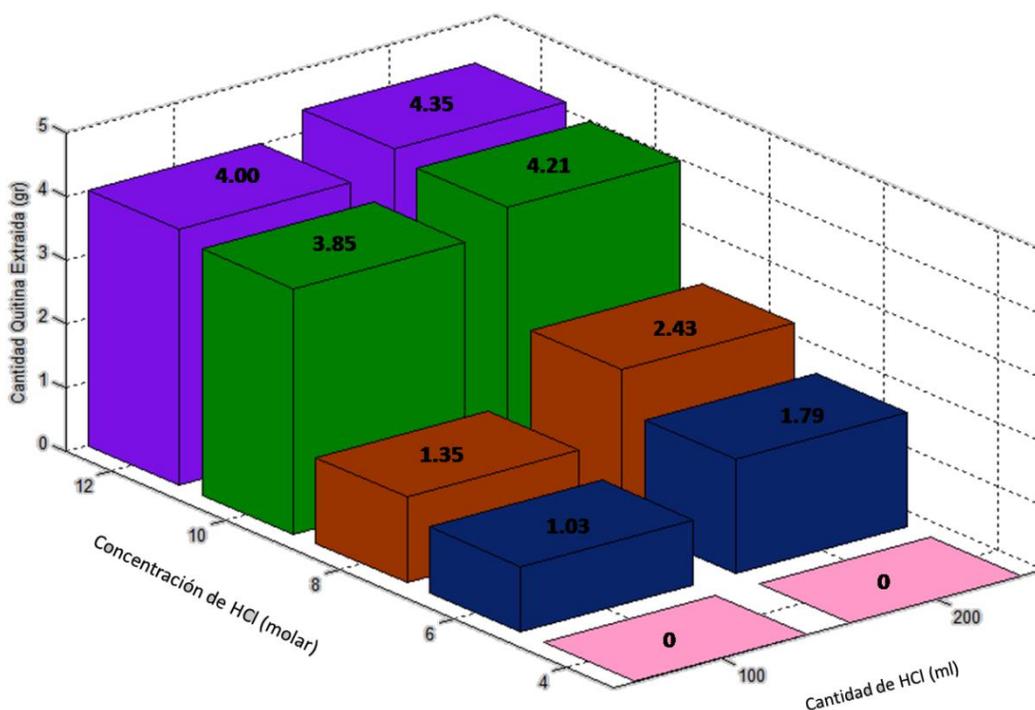


Figura 17. Evaluación de condiciones óptimas para de extracción de quitina

En cambio a las concentraciones de 10 y 12 M se obtuvieron los mayores rendimientos (78 y 80% respectivamente) ya que a estas concentraciones se presentó un mejor contacto entre el ácido y el polímero. Estos rendimientos alcanzados se encuentran muy cercanos al reportado en un trabajo anterior de DIAZ [22], quien tuvo un rendimiento del 85%.

Como se observa poca diferencia entre los rendimientos de las concentraciones de 10 y 12 M, se tome la concentración de 10 M como la óptima, ya que la diferencia económica relacionada a los costos de ácido utilizado es mayor que la de quitina obtenida.

Por otro lado en el estudio de la cantidad de ácido utilizado reportado en la Figura 17 se observó que para tratar 30 g de exoesqueleto de camarón, la cantidad óptima de ácido (haciendo un paralelo de costo beneficio) es 100 ml de HCl dado que la diferencia de obtención en comparación con 200 ml no es muy notoria teniendo en cuenta que se está duplicando la cantidad de ácido utilizado. Cabe aclarar que a cantidades inferiores a 100 ml de ácido las cáscaras no se disuelven, por consiguiente no hay extracción de quitina.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Concetracion (molar)	255174,	4	63793,6	73,37	0,0005
B:Cantidad (ml)	6502,5	1	6502,5	7,48	0,0522
RESIDUOS	3478,0	4	869,5		
TOTAL (CORREGIDO)	265155,	9			

Tabla 5. Análisis de varianza

El análisis de varianza (ANOVA) mostró la variabilidad de Quitina extraída (gr) en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de

cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P (tabla 5) prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor-P es menor que 0,05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre Quitina extraída (gr) con un 95,0% de nivel de confianza.

6.3. EVALUACION DE CALIDAD DE QUITINA Y QUITOSANO OBTENIDOS

- Identificación de biopolímeros

Las muestras de quitina a las que se les realizó el espectro IR son las que obtuvieron los mayores rendimientos porque son el resultado del procedimiento y las condiciones que hacen factible económicamente el diseño y montaje de la planta. La figura 18 muestra el espectro de la quitina donde es posible observar bandas características entre los 3500 y los 3750 cm^{-1} correspondientes a los grupos N-H y OH y la división de bandas cerca a los 1620 que corresponde a la amida I de la α -quitina. En la figura 19 se observa la ampliación de la banda cercana a los 3410 cm^{-1} , correspondiendo a las vibraciones de estrechamiento del grupo $-\text{NH}_2$ y el grupo $-\text{OH}$ lo que demuestra un buen proceso de desacetilación y entre los 1650 y 1550 cm^{-1} se presenta el doblaje del grupo $-\text{NH}_2$ lo que es otra característica que indica que estamos en la presencia del polímero quitosano.

- Grado de desacetilación

Se determinó el grado desacetilación, a la muestra de quitosano, disolviéndola en una solución estándar de ácido clorhídrico 0,3 M y titulándola con un estándar de hidróxido de sodio 0,1 M. Luego se graficó el cambio del volumen gastado de NaOH contra ($\Delta\text{pH}/\Delta V$). El grado de desacetilación se calculó utilizando la diferencia entre los dos puntos de inflexión que se presentaron en la curva, mediante la ecuación (2), arrojando un resultado del 79,15% de desacetilación.

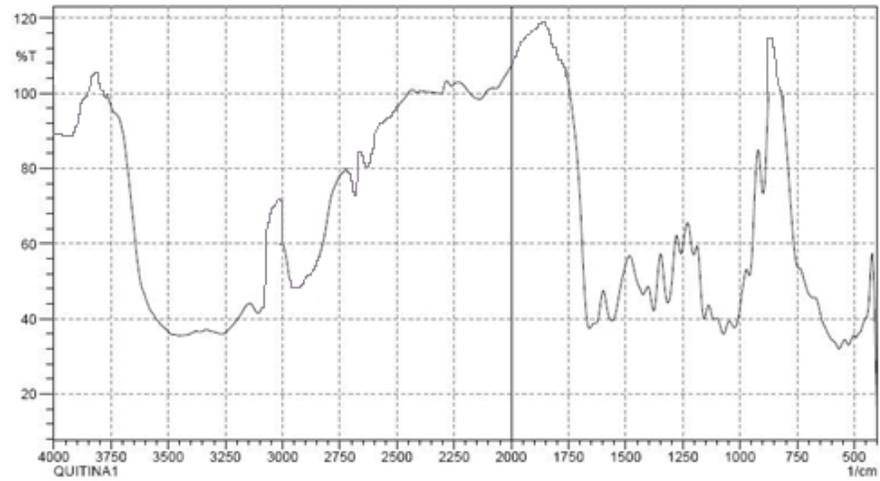


Figura 18. Espectro IR de la quitina

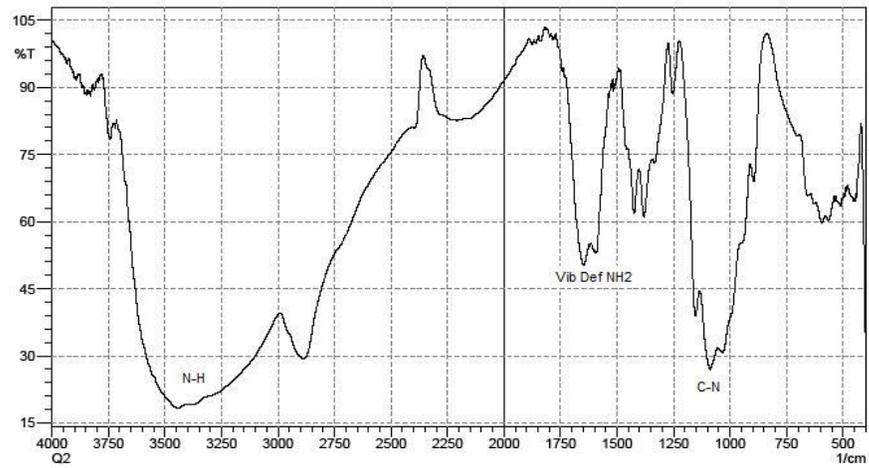


Figura 19. Espectro IR del quitosano

La Figura 20 muestra los mililitros de NaOH gastados Vs $\Delta\text{pH}/\Delta\text{V}$ usada para la determinación del grado de desacetilación.

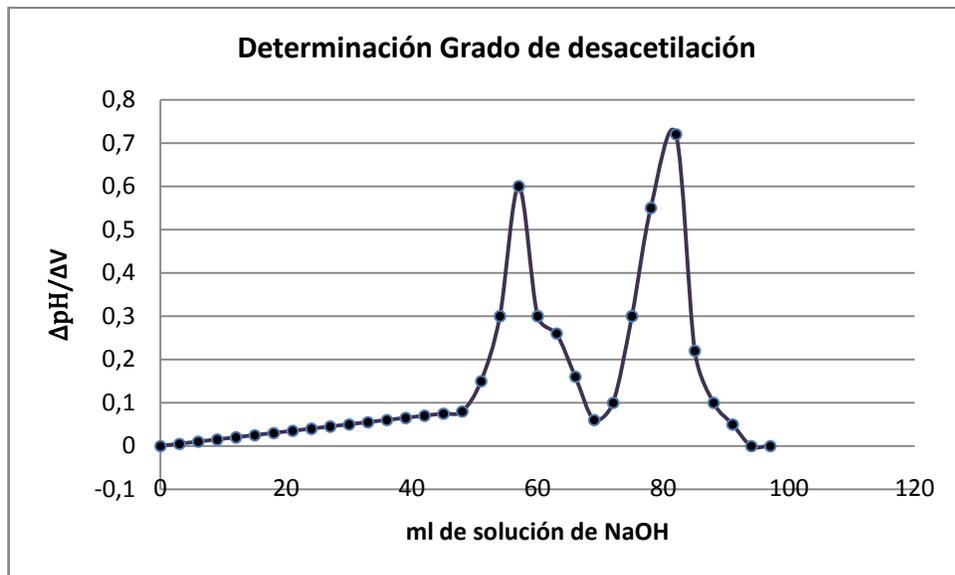


Figura 20. Determinación del Grado de Desacetilación

Aplicando la ecuación de determinación de grado de desacetilación expresada en porcentaje de grupos NH_2 [19]:

$$\% NH_2 = \frac{16.1(y - x)}{w} f \quad (3)$$

Donde

Y, es el punto de inflexión mayor = 82 ml

X, corresponde al punto de inflexión menor = 57 ml

f es la molaridad de la solución de NaOH = 0,1 molar

w el peso en gramos de la muestra = 0.5 g

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

El quitosano obtenido tuvo un valor de 79.15% que comparado con el 67.20% que normalmente se encuentra en el quitosano comercial hace concluir que puede competir con los existentes en el mercado [19].

6.4. DISEÑO DE PLANTA

Para la propuesta técnica se tomó como base el dato de poder adquisitivo de posibles compradores arrojado en el estudio de mercado que se refiere a una producción diaria de 40 kg de quitina y 40 kg de quitosano, lo que equivale a 1.2 TM por mes.

La planta sería instalada en un área de 900m² en Cartagena - Mamonal sector Arroz Barato Calle principal (K56 02-38), Colombia, donde los servicios industriales se pueden conseguir más fácilmente y a menor precio con empresas del sector como Ecopetrol. Además de esto los exoesqueletos de camarón serían de fácil transporte desde las empresas camaroneras hacia la industria por la vía de Mamonal.

El diagrama de procesos propuesto se puede observar en la figura 21 donde se describió cada una de las operaciones y las corrientes que intervienen en cada una. La implementación de la ingeniería conceptual y básica para el diseño de plantas dio como resultado la selección y el dimensionamiento de los equipos necesarios para cumplir con la producción deseada, lo cual se encuentra mejor expresado en la Tabla 6.

La descripción detallada del cálculo de dimensionamiento de los equipos, justificación de escogencia, los balances de materia y energía, cálculo de tuberías y accesorios, distribución de planta y su posible localización se encuentran detalladas en el *Manual de cálculos* que es un anexo de este trabajo.

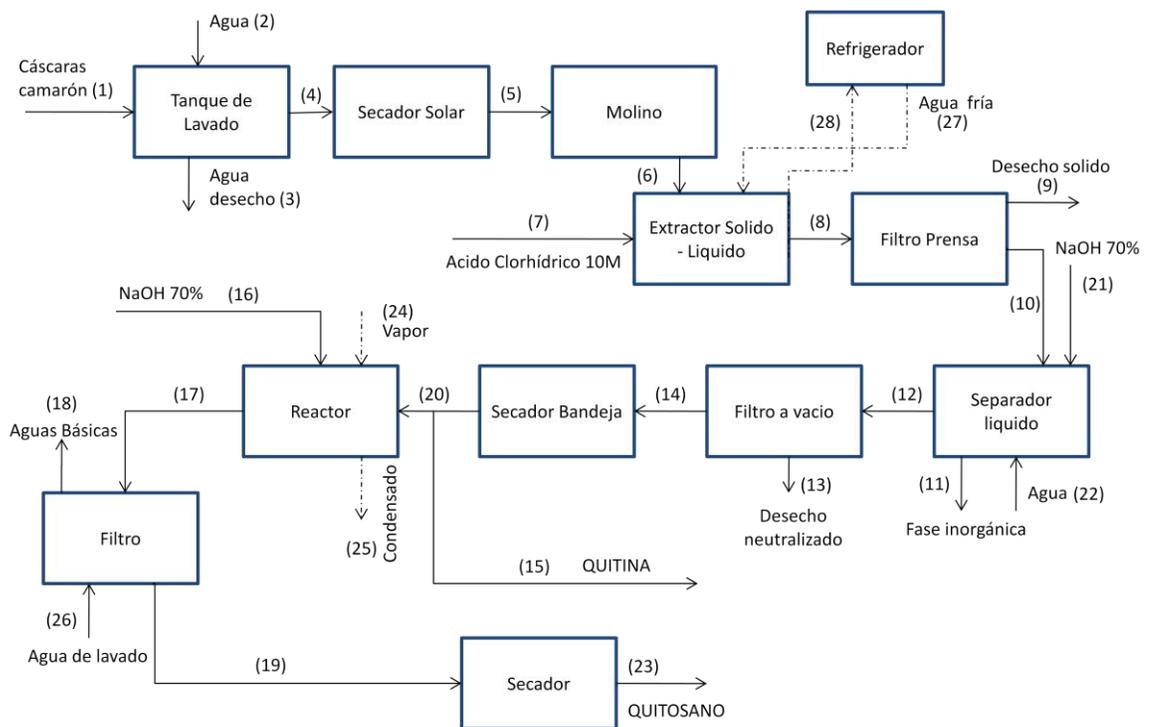


Figura 21. Diagrama de Bloques del proceso de extracción y producción de Quitina y Quitosano.

No. ITEM	Denominación	Parámetro Principal de Diseño	Valor de Parámetro	Material de Construcción
M-101	Molino	Volumen	3.8 m ³	Acero al carbón 316L
S-101	Secador solar	Área	30 m ²	Aluminio
S-201	Secador de bandejas	Numero de bandejas	6	Hierro forjado 316L
S-301	Secador de bandejas	Numero de bandejas	1	Hierro forjado 316L
T-101	Tanque de lavado cascaras	Volumen	0.41 m ³	Acero al carbón 316L
T-201	Tanque de extracción sólido-líquido	Volumen	0.114 m ³	Acero Inoxidable 316L
T-202	Tanque de desecho neutralizado	Volumen	9.7 m ³	Acero Inoxidable 316L

T-203	Tanque de acido clorhídrico	Volumen	3.23 m ³	Hasteloy 276
T-301	Tanque de solución de hidróxido de sodio	Volumen	4.77 m ³	Acero Inoxidable 316L
T-302	Tanque de suministro de agua	Volumen	22.3 m ³	Acero al carbón 316L
T-303	Tanque de aguas básicas	Volumen	7.5 m ³	Acero Inoxidable 316L
F-201	Filtro prensa	Volumen	0.0177 m ³	Acero Inoxidable 316L
F-202	Filtro de vacio 1	Volumen	0.258 m ³	Acero Inoxidable 316L
F-301	Filtro de vacio 2	Volumen	0.667 m ³	Acero Inoxidable 316L
D-201	Separador de fases	Volumen	0.32 m ³	Acero Inoxidable 316L
R-301	Reactor de desacetilación	Volumen	0.14 m ³	Acero Inoxidable 316L
P-1	Bomba de Agua lavado de cáscaras	Potencia	0.32 KW	Acero Inoxidable 316L
P-2	Bomba de suministro de HCl	Potencia	0.0013 kW	Acero Inoxidable 316L
P-3	Bomba de suministro NaOH a separación líquida	Potencia	0.009 KW	Acero Inoxidable 316L
P-4	Bomba de suministro de NaOH a reactor	Potencia	0.08 kW	Acero Inoxidable 316L
P-5	Bomba separación fase inorgánica	Potencia	0.096 KW	Acero Inoxidable 316L
P-6	Bomba de condensado	Potencia	0.0001 kW	Acero Inoxidable 316L
P-7	Bomba de Agua de separación líquida	Potencia	0.057 kW	Acero Inoxidable 316L
P-8	Bomba de Agua de lavado de quitosano	Potencia	0.04 kW	Acero Inoxidable 316L

Tabla 6. Lista de equipos

6.4.1. Comparación de procesos

Considerando los datos obtenidos con los balances de masa y el costo de los reactivos en el mercado local, se calculó el costo total en torno a materias primas para producir 1kg de Quitina a partir de exoesqueletos de camarón.

	Cantidad (kg)	Valor unitario	Valor total
EXOESQUELETOS	5.5	\$300/kg	\$1650
HCl 10M	11.75	\$318.75/kg	\$3745.31
NaOH 70%	6.47	\$446/kg	\$2888.8
AGUA	65	\$1.78/kg	\$116.18
TOTAL			\$8400 = \$US4.42

Tabla 7. Consumo de materias primas para producción de 1 kg de Quitina

Para el proceso convencional el costo de producir 1kg de Quitina a partir de caparazón de camarón es de US\$ 30.98 y de US\$ 35.94 para la cabeza de langostino [23]. Esto comparado con los datos mostrados en la tabla 6 se nota que la extracción en frío es más viable económicamente.

6.5. EVALUACION ECONOMICA DE LA PLANTA

6.5.1. Estimación del costo de equipos

El costo estimativo de los equipos se halló a partir del método de Guthrie [24] y de la ecuación de estimación de costo a partir de un equipo similar (ecuación 3) [20]. El resultado de la aplicación del método y la ecuación se ven reflejadas en la tabla 8.

EQUIPO	COSTO ESTIMATIVO	EQUIPO	COSTO ESTIMATIVO
Molino M-101	\$ 5.078.159,00	Filtro F-202	\$ 3.815.917,00
Secador S-101	\$ 1.570.000	Filtro F-301	\$ 5.825.805,00
Secador S-201	\$ 269.601,36	Separador D-201	\$ 2.501.944,25
Secador S-301	\$ 131.081,69	Reactor R-301	\$ 4.052.688,60
Tanque T-101	\$ 2.175.875,85	Bomba P-1	\$ 1.074.619,00
Tanque T-201	\$ 4.052.688,60	Bomba P-2	\$ 1.057.155,00
Tanque T-202	\$ 28.947.775,70	Bomba P-3	\$ 1.057.155,00
Tanque T-203	\$ 9.066.149,41	Bomba P-4	\$ 1.057.155,00
Tanque T-301	\$ 16.886.202,50	Bomba P-5	\$ 1.057.155,00
Tanque T-302	\$ 29.011.678,10	Bomba P-6	\$ 1.057.155,00
Tanque T-303	\$ 24.123.146,50	Bomba P-7	\$ 1.057.155,00
Filtro F-201	\$ 552.280,00	Bomba P-8	\$ 1.057.155,00

Tabla 8. Estimativo de costo de los equipos

El costo de la tubería (incluida instalación) es 80% del costo de los equipos o el 20% de la inversión total de capital total, que en este caso sería de 60 millones de pesos [20].

6.5.2. Rentabilidad de la planta

La rentabilidad económica de la planta fue establecida por una evaluación a 5 años. Para esto fue necesario establecer los costos fijos y variables que dieron como resultado la inversión inicial necesaria para que la empresa pueda entrar en funcionamiento. Esto se evidencia en las tablas siguientes donde de la 9 a la 15 se presentan los costos de inversión inicial.

DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR UT(\$)	TOTAL(\$)
Uniforme oficinas	14	40.000	720.000
Zapatos	14 pares	80.000	1'440.000
Uniformes oficinas	4	20.000	80.000
Tapa bocas con filtro	20	10.000	200.000
Tapones de oído	20	6.000	120.000
Gafas de protección	10	4.500	45.000
Guantes Industriales	18	12.000	216.000
TOTAL	104		2'741.000

Tabla 9. Costos de implementos

EQUIPO O ELEMENTO	CANTIDAD	VALOR UT(\$)	TOTAL(\$)
Escritorio gerencia	1	800.000	800.000
Escritorio	2	500.000	1'000.000
Archivadores	3	200.000	600.000
Sillas	7	160.000	1'120.000
Aire acondicionado	3	500.000	1.500.000
Televisor	1	550.000	550.000
Teléfono	5	100.000	500.000
Computador	3	1.250.000	3'750.000
Enfriador	1	1.500.000	1.500.000
Impresora	3	200.000	600.000
Nevera	1	1.200.000	1.200.000
TOTAL			13'200.000

Tabla 10. Costos inmuebles

Ocupación	Número	Salario	Total
Ingeniero de Planta	2	\$ 1.500.000	\$ 3.000.000
Administrador de planta	1	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
Operarios de planta	12	\$ 1.000.000	\$ 12.000.000
Auxiliares de aseo	2	\$ 532.000	\$ 1.064.000
Secretaria	1	\$ 532.000	\$ 532.000
Total			\$ 18.096.000

Tabla 11. Costos de personal.

DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR UT(\$)	TOTAL(\$)
Cepillo de baño	2	2.000	4.000
Bomba de succión del baño	2	3.000	6.000
Cepillo lava piso	2	3.000	6.000
Escoba	2	4.000	8.000
Recogedor	2	4.000	8.000
Trapeador	2	5.000	10.000
Detergente Fabuloso	3	3.500	10.500
Límpido	3	2.000	6.000
Balde	2	6.000	12.000
Jabón	2	2.000	4.000
TOTAL	25		79.000

Tabla 12. Costos implementos de aseo

Gastos preliminares y de emisión de acciones de capital	
Publicidad	500.000
Constitución y Registro	800.000
Gastos por concepto de estudios preparatorios	
Estudios Pre inversión	1'500.000
Gastos Previos a la Producción	
Capacitación	2'000.000
TOTAL	4'800.000

Tabla 13. Gastos preoperativos.

DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR UT(\$)	TOTAL(\$)
Lapicero	5	800	4.000
Resma de papel	2	10.000	20.000
Regla	2	1.000	2.000
Marcador	3	1.000	3.000
Borrador	3	500	1.500
Caja de ganchos	2	2.000	4.000
Cosedera	2	3.000	6.000
Perforadora	2	3.000	6.000
Tijera	2	1.000	2.000

Pegante	4	800	3.200
Cinta	3	700	2.100
Cuaderno	4	1.000	4.000
Corrector	4	800	3.200
Portaminas	4	800	3.200
TOTAL			64.200

Tabla 14. Costos papelería

Terreno	80'000.000
Acondicionamiento del terreno	50'000.000
Maquinaria y equipo	206'877.786
Muebles y enseres	13'200.000
Papelería	64.000
Implementos de aseo	79.000
Dotación personal	2'741.000
Gastos preoperativos	4'800.000
TOTAL	357'761.386

Tabla 15. Costos inversión inicial totales

Habiendo obtenido la inversión inicial de \$ 360'000.000 y teniendo en cuenta los ingresos (tablas 16, 17 y 18) y costos variables de cada años (tablas 18), se encontró que la tasa máxima de rentabilidad para el proyecto (VPN del proyecto hacían el inversionista) es de 56%, la cual resulta muy favorable porque muestra una gran ganancia y gran potencial de inversión. Por tanto se tomó una tasa estándar de ganancia de proyectos del 20%, una inflación del 3.5%, pago por impuestos de 35% y una tasa de interés anual del 19,56% para la evaluación económica a partir del VPN (tabla 22).

AÑO	Cantidad Quitina (Kg/dia)	Valor de venta \$/Kg	Ingreso \$/día	Ingreso \$/año
1	40,00	30000,00	1200000,00	432000000,00
2	40,00	30900,00	1236000,00	444960000,00
3	40,00	31827,00	1273080,00	458308800,00
4	40,00	32781,81	1311272,40	472058064,00
5	40,00	33765,26	1350610,57	486219805,92

Tabla 16. Ingresos a partir de Quitina

AÑO	Cantidad Quitosano (Kg/dia)	Valor de venta \$/Kg	Ingreso \$/día	Ingreso \$/año
1	40,00	50000,00	2000000,00	720000000,00
2	40,00	51500,00	2060000,00	741600000,00
3	40,00	53045,00	2121800,00	763848000,00
4	40,00	54636,35	2185454,00	786763440,00
5	40,00	56275,44	2251017,62	810366343,20

Tabla 17. Ingresos a partir de Quitosano

AÑO	INGRESO TOTAL ANUAL
1	1.152.000.000,00
2	1.186.560.000,00
3	1.222.156.800,00
4	1.258.821.504,00
5	1.296.586.149,12

Tabla 18. Ingresos Totales

INSUMO	COSTO \$/AÑO				
	1	2	3	4	5
AGUA	3.639.316,8	3.748.496,304	3.860.951,20	3.976.779,73	4.096.083,121
ACIDO	97.693.797,6	100.624.612	103.643.350	106.752.650	109.955.230
ENERGIA	14.344.447,44	14.774.780,86	15.218.024,29	15.674.565	16.144.801,97
HIDROXIDO	239.234.400	246.411.432	253.803.775	261.417.888	269.260.425
CASCARAS	42.840.000	44.125.200	45.448.956	46.812.424	48.216.797,42
GAS NATURAL	1.023.577,2	1.054.284,52	1.085.913,05	1.118.490	1.152.045,16
EMPAQUES	480.000	494.400	509.232	524.508,96	540.244,229
TOTAL	399.255.539	411.233.205	423.570.201	436.277.307	449.365.626

Tabla 19. Costos variables

INSUMO	COSTO \$/AÑO				
	1	2	3	4	5
SALARIO	217.152.000	224.752.320	232.618.651	240.760.303	249.186.914
PAPELERIA	804.000	828.120	852.963	878.552	904.909
ASEO	948.000	976.440	1.005.733	1.035.905	1.066.982
Mantenimiento	49.650.668	51.140.188	52.674.394	54.254.626	55.882.265
TOTAL	268.554.668	277.697.068	287.151.742	296.929.388	307.041.071

Tabla 20. Costos fijos

VALOR INSOLUTO	INTERESES	AMORTIZACIÓN	VALOR CUOTA
360.000.000			
311.204.561,6	70.422.541,7	48.795.438,44	119.217.980
252.863.848,7	60.877.267,3	58.340.712,89	119.217.980
183.110.632,2	49.464.763,7	69.753.216,47	119.217.980
99.712.419,08	35.819.767	83.398.213,12	119.217.980
0,00	19.505.561,1	99.712.419,08	119.217.980

Tabla 21. Pago de Deuda de inversión inicial.

En la tabla 22 se muestra el flujo de caja total el valor presente neto del proyecto VPN después de 5 años es de \$ 837.962.896,1 con una recuperación del capital de inversión inicial en un tiempo de 2 años, lo que muestra la gran rentabilidad de la extracción de quitina y producción de quitosano en frio en la ciudad de Cartagena.

Año	0	1	2	3	4	5
Ingresos		1.152.000.000	1.186.560.000	1.222.156.800	1.258.821.504	1.29.6586.149,12
Egresos		667.810.207,80	688.930.274,03	710.721.943,86	733.206.695,43	756.406.697,81
Depreciación		23.027.778,65	23.027.778,65	23.027.778,65	2.302.7778,65	23.027.778,65
Utilidad Bruta		461.162.013,55	474.601.947,32	488.407.077,49	502.587.029,92	517.151.672,66
Gastos operacionales	4.800.000					
Utilidad Operacional	-4.800.000	461.162.013,55	474.601.947,32	488.407.077,49	502.587.029,92	517.151.672,66
Gastos Financieros		119.217.980,2	119.217.980,2	119.217.980,2	119.217.980,2	119.217.980,2
Utilidad antes de impuestos	-4.800.000	341.944.033,38	355.383.967,15	369.189.097,32	383.369.049,75	397.933.692,49
Impuestos	-1.680.000	119.680.411,7	124.384.388,5	129.216.184,1	134.179.167,4	139.276.792,4
Utilidad	-3.120.000	222.263.621,7	230.999.578,6	239.972.913,3	249.189.882,3	258.656.900,1
Inversión	360.000.000					
FLUJOS ANUALES	-363.120.000	222.263.621,7	230.999.578,6	239.972.913,3	249.189.882,3	258.656.900,1
VPN		-140.856.378,3	90.143.200,34	330.116.113,6	579.305.995,9	837.962.896,1

Tabla 21. Flujo de caja Total

7. CONCLUSIONES

Las experiencias realizadas en el laboratorio mostraron que las condiciones óptimas para la extracción de quitina en frío a partir de exoesqueletos de camarón son una concentración de 10 M y una cantidad de ácido clorhídrico de 100 ml por cada 30 gramos de cascaras a tratar.

El grado de desacetilación del quitosano producido por método frío es de 79.15% el cual es un valor aceptable comercialmente.

El estudio de mercado realizado en diferentes industrias de Cartagena mostró que un 40% de éstas poseen plantas de tratamiento de aguas y un 20% (aproximadamente 15) de ellas estarían dispuestas a comprar nuestro producto si éste supera el ya implementado en sus instalaciones, que sería igual a una producción mensual cercada a 1 TM de cada biopolímero.

La planta de extracción de quitina y producción de quitosano diseñada para abastecer la demanda requerida tendría un gasto mensual de 11.9 TM de exoesqueletos, 21.9 m³ de HCl al 10M, 44.7 Toneladas de NaOH al 70%, 170.38 m³ de agua y una demanda energética de equipos de 3759.5 kWhora.

La inversión inicial para el funcionamiento de la planta es de \$ 360.000.000 que serían recuperados en 2 años y una ganancia neta de \$ 837.962.896,1 en 5 años, para un precio de quitina de \$ 30.000/kg y de quitosano de \$ 50.000/kg (con TIR del 20% anual).

8. RECOMENDACIONES

- En caso de realizar el proyecto en otra zona geográfica, enfocar el estudio de mercado a la aplicación que tenga más relación con la actividad económica de dicha región.
- Evaluar el comportamiento del proceso de extracción de quitina a partir de otras fuentes del biopolímero y otros disolventes de lixiviación.
- Probar otro método de separación sólido - líquido diferente a la filtración que pueda mejorar la eficiencia del proceso.
- Realizar una caracterización adicional a los biopolímeros obtenidos conforme a sus pesos moleculares y características reológicas que le daría más claridad de la calidad del producto.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1]. AGUILERA M. Los cultivos de camarones en la costa Caribe colombiana. Centro de investigaciones económicas del Caribe colombiano. Banco de la República. Cartagena de Indias, 1998. Disponible online: <http://www.banrep.gov.co/documentos/publicaciones/pdf>.
- [2]. DIAZ L. Nuevo Método para la Obtención de Quitina. CEQSA Especialidades Químicas S.A., Ciencia y Tecnología; La Uruca, Costa Rica, 2007.
- [3]. C. I. CARTAGENERA DE ACUACULTURA S.A. (CARTACUA). Cartagena de Indias. Disponible online: <http://www.cartacua.com/docs/bpwebsite.asp>
- [4]. MARTIN J. An updated classification of the recent crustacean. Natural history museum of los angeles county No 39, 2001.
- [5]. PÉREZ L, OSORIO J. Obtención de quitosano a partir del exoesqueleto de camarón para el estudio de remoción de níquel en agua residual. Universidad de Cartagena, 2009.
- [6]. MARTINEZ H. La cadena del camarón de cultivo en Colombia, Una mirada global de su estructura y dinámica. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Marzo 2005.
- [7]. PIÑA B, María C. La física en la medicina. Disponible online: <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/37/htm/fis.htm>
- [8]. LAREZ C. Quitina y quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro. Grupo de polímeros. Departamento de Química. Facultad de Ciencias.

Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela, 2006. Disponible online:
<http://www.saber.ula.ve/avancesenquimica>

- [9]. LIN W, KHOR E, KOON T, YONG L; CHING Su. Concurrent production of chitin from shrimp shells and fungi. Department of Chemistry, Faculty of Science, National University of Singapore. Carbohydrate Research 332: 305-316, 2001.
- [10]. RINAUDO M. Chitin and chitosan: properties and applications. CERMAV-CNRS, Affiliated with Joseph Fourier University, France. Progress in polymer science. 31: 603-632, 2006.
- [11]. PENICHE C. "Estudios sobre Quitina y Quitosana" Universidad de La Habana Facultad de Química, 2006.
- [12]. Quitosano: estudio de mercado II. Disponible online:
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Estudio-De-Mercado-DelQuitosano/586266.html>
- [13]. VARGAS C. Obtención De Quitosán A Partir De Exoesqueletos De Camarón Para El Estudio De Remoción De Manganeso En Aguas Residuales. Universidad de Cartagena, 2009.
- [14]. GONZÁLEZ V, GUERRERO C, ORTIZ U. Estructura química y compatibilidad de poliamidas con quitina y quitosán Ciencia UANL, enero-marzo, año/vol. V, número 001 Universidad Autónoma de Nuevo León Monterrey, México pp. 39-47.
- [15]. VASNEV V, TARASOV A, MARKOVA G, VINOGRADOVA S, GARKUSHA O. "Synthesis and properties of acylated chitin and chitosan derivatives" Institute

of Organoelement Compounds, Russian Academy of Sciences, 28, Ul. Vavilova, GSP-1, V-334, 119991 Moscow, Russia Received 16 June 2005; received in revised form 7 November 2005; accepted 8 November 2005.

- [16]. CAPRILE M. Obtención y utilización de quitina y quitosano a partir de desechos de crustáceos, 2004.
- [17]. Estudio preliminar de Ingeniería para la producción en planta piloto de quitina y quitosano. Disponible online: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/4118/Capitulo3.pdf>
- [18]. MÁRMOL Z, GUTIÉRREZ E, PÁEZ G. Desacetilación termoalcalina de quitina de conchas de camarón. Centro de Investigaciones del Agua. Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia.
- [19]. PARADA. L. Caracterización de quitosano por viscosimetría capilar y valoración Potenciométrica. Revista Iberoamericana de Polimeros, volumen 5, Marzo de 2004.
- [20]. PETERS M. Plant Design and Economics for Chemical Engineers. Capítulo 6, págs. 169-175.
- [21]. PÉREZ L. OSORIO J. Obtención de quitosano a partir del exoesqueleto de camarón para el estudio de remoción de níquel en agua residual. Universidad de Cartagena, 2009.
- [22]. DIAZ L. Nuevo Método para la Obtención de Quitina. CEQSA Especialidades Químicas S.A., La Uruca, Costa Rica. Ciencia y Tecnología, 25(1-2): 35-41, 2007.

- [23]. ESCORCIA D, HERNANDEZ D, SÁNCHEZ M, BENAVENTE M. Diseño y montaje de una planta piloto para la extracción de Quitina y proteínas. Universidad Nacional de Ingeniería. Nicaragua, 2009.
- [24]. JIMENEZ G. Arturo. Diseño de procesos en Ingeniería química, Parte I: Análisis económico, págs. 40-50.
- [25]. KE C, GENGLIA T, Lee R. Heterogeneous *N*-deacetylation of squid chitin in alkaline solution. Carbohydrate Polymers, Volume 52, Issue 2, 1 Mayo 2003.
- [26]. SICHE R, RODRIGUEZ H, ORTEGA E. Diseño de un secador de bandejas prototipo que opera con briquetas de carbón (antracita). Universidade Estadual de Campinas, Brasil. Disponible online: http://azul.bnct.ipn.mx/Libros/vision_alimentos/Tomol/I-29.pdf

10. ANEXOS

ANEXO A.
ENCUESTAS A INDUSTRIAS CON PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

Actualmente con que productos realiza su empresa el tratamiento primario de aguas residuales	
PROLECA	Microorganismos eficientes y sulfato de aluminio
ECOPETROL	Klaraid PC 1191, Polyfloc ANP1098 y Sulfato de aluminio
PROPILCO	Sulfato de aluminio y KLARAID CDP1339P

Es amigable con el medio ambiente éste agente que utiliza para el tratamiento de aguas	
PROLECA	Si, debido a q los microorganismos degradan la materia orgánica hasta el punto de ser inocuo con el ambiente y el sulfato de aluminio solo actúa como floculante.
ECOPETROL	Si
PROPILCO	Si

Cuánto paga actualmente por un kilogramo de su agente de tratamiento de aguas.	
PROLECA	200\$/lt EM,
ECOPETROL	Comercialmente el precio de estos productos es de aproximadamente \$7000/ Kg de Klaraid PC 1191, \$12000/ Kg de Polyfloc ANP1098 y \$500/Kg de Sulfato de aluminio. Estos son precios aproximados sin embargo nosotros pagamos es por Kgal de agua tratada.
PROPILCO	\$550/kg de Sulfato de aluminio y \$9000/kg el de KLARAID CDP1339P

Tiene conocimiento de la quitina y el quitosano y de su gran habilidad para el tratamiento de aguas.

PROLECA	Si
ECOPETROL	No
PROPILCO	No

Qué cantidad consume mensualmente de éste o éstos agentes.

PROLECA	120lts/mes de EM
ECOPETROL	Aproximadamente 6500 Kg de Klaraid PC 1191, 350 Kg de Polyfloc ANP1098 y 3500 Kg de Sulfato de aluminio
PROPILCO	Aproximadamente 4000 kg de KLARAID CDP1339P y 2000 kg de sulfato de aluminio

Estaría dispuesto a cambiar de parcial o totalmente los agentes de tratamiento de aguas por la quitina y quitosano en su empresa. En caso de ser positiva su respuesta en que porcentaje lo haría.

PROLECA	Pues en un 50%, ya que se podría cambiar el agente químico por quitina a ver si flocula de la misma manera o mejor.
ECOPETROL	A nivel empresarial la única manera de hacer un cambio parcial o total de un agente químico de coagulación es que este sea técnica y económicamente más eficiente que el usado actualmente, de acuerdo con las pruebas corridas hechas inicialmente en laboratorio y después en planta.
PROPILCO	Si demuestra que el rendimiento en el uso de estos productos es mejor que los implantados actualmente se sustituiría en gran parte.