

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA
UNAN-LEON**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE QUIMICA**



MONOGRAFÍA PARA OPTAR EL GRADO DE LICENCIADO EN QUIMICA

**ESCALAMIENTO A NIVEL DE PLANTA PILOTO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN
DE QUITOSANO A PARTIR DE CASCARAS DE CAMARONES**

PRESENTADO POR:

**Br. Paola Muñoz Palma
Br. Greybin Ulises Escoto Dávila**

TUTOR:

MSc. Manuel Antonio Vanegas Carvajal

León, marzo de 2023

¡A LA LIBERTAD POR LA UNIVERSIDAD!

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA
UNAN-LEON**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE QUIMICA**



MONOGRAFÍA PARA OPTAR EL GRADO DE LICENCIADO EN QUIMICA

**ESCALAMIENTO A NIVEL DE PLANTA PILOTO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN
DE QUITOSANO A PARTIR DE CASCARAS DE CAMARONES**

PRESENTADO POR:

**Br. Paola Muñoz Palma
Br. Greybin Ulises Escoto Dávila**

TUTOR:

MSc. Manuel Antonio Vanegas Carvajal

León, marzo de 2023

¡A LA LIBERTAD POR LA UNIVERSIDAD!

RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo fue realizar un escalamiento a nivel de planta piloto del proceso de extracción de quitosano a partir de cascaras de camarones.

Primeramente, se llevó a cabo la extracción y obtención de quitosano a escala de laboratorio, por medio de dos métodos diferentes, como son el método de Agulló et al, y el método de Escobar et al. Seguidamente se realizó la caracterización del producto obtenido por medio de espectrometría FTIR. Los rendimientos obtenidos fueron del 37 %, utilizando el método de Agulló, et al, y de 52% por medio del método de Escobar, et al, por lo cual se seleccionó el método de Escobar, et al, para el escalamiento a nivel de planta piloto. A continuación, se estableció la localización de la planta piloto. Posteriormente, se realizó el balance de masa y el escalamiento del proceso de extracción y obtención de quitosano a nivel de planta piloto utilizando como base de cálculo la obtención de 10 Kg de quitosano, seguidamente se dimensionaron los equipos a partir de los resultados y observaciones de los ensayos realizados a nivel de laboratorio y posteriormente se efectuó el análisis de la planeación sistemática de la distribución en planta por medio del cual se obtuvo el diseño preliminar de la planta piloto. A continuación, se llevó a cabo la descripción del proceso tecnológico y el diseño de la planta piloto. Finalmente, se realizó el estudio económico, encontrándose que para el montaje de la planta piloto se requiere una inversión inicial mínima de aproximadamente USD 60,485.42.

Índice de contenido

1	INTRODUCCIÓN	3
2	ANTECEDENTES.....	5
3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
4	JUSTIFICACION	8
5	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	9
6	OBJETIVOS.....	10
6.1	OBJETIVO GENERAL.....	10
6.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS	10
7	MARCO TEÓRICO	11
7.1	Escalamiento.....	11
7.1.1	Métodos de escalada.....	11
7.2	Plantas piloto.....	13
7.2.1	Alcances técnicos	14
7.3	Principios de similaridad.....	14
7.4	Generalidades del camarón	15
7.4.1	Cultivo de camarón	16
7.5	Quitina.....	17
7.5.1	Organismos con quitina	19
7.6	Quitosano	20
7.6.1	Propiedades del quitosano	20
7.7	Obtención de quitina.....	21
7.8	Obtención de quitosano.....	22
7.8.1	Método químico	22
7.9	Caracterización del Quitosano	23
7.9.1	Metodología espectrofotométrica (IR).....	23
7.9.2	Valoración potenciométrica.....	24
7.9.3	pH	25
7.10	Aplicaciones del quitosano	25
8	DISEÑO METODOLÓGICO.....	27
8.1	Materiales y reactivos.....	27
8.1.1	Reactivos	27

8.1.2	Preparación de reactivos utilizados para la obtención de Quitosano por el método de Agulló et al.	27
8.1.3	Preparación de reactivos utilizados para la obtención de Quitosano por el método de Escobar <i>et al.</i>	28
8.1.4	Cristalería	28
8.1.5	Materiales	29
8.1.6	Equipos	29
8.1.7	Materia prima y su preparación.....	29
8.2	Métodos de extracción	30
8.2.1	Método A: Extracción de quitina para la obtención de quitosano por el método de Agulló <i>et al.</i> , (2004)	30
8.2.2	Método B: Extracción de quitina para la obtención quitosano por el método de Escobar <i>et. al.</i> , (2013).....	31
8.2.3	Caracterización del quitosano.....	32
8.3	Técnica de diseño de escalamiento a planta piloto	33
9	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
9.1	Obtención de quitosano a escala de laboratorio	35
9.1.1	“Método A” o “Método de Agulló”	35
9.1.2	“Método B” o “Método de Escobar”	37
9.2	Caracterización el producto obtenido utilizando espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR).....	38
9.3	Selección del método de extracción y obtención de quitosano	41
9.4	Localización de la planta piloto.....	41
9.5	Balace de masa.....	42
9.5.1	Desproteinización (Reactor 1).....	43
9.5.2	Desmineralización (Reactor 2).....	43
9.5.3	Purificación (Reactor 3)	44
9.5.4	Desacetilación (Reactor 4).....	44
9.6	Dimensionamiento de los equipos.....	45
9.6.1	Reactores	45
9.6.2	Tanques de almacenamiento de reactivos	46
9.6.3	Tanques de almacenamiento de agua	46
9.6.4	Tanques de tratamiento de desechos líquidos	47
9.6.5	Otros equipos menores.....	47

9.7	Análisis de la planeación sistemática de la distribución en planta (S.L.P.).....	48
9.8	Proceso tecnológico de producción de quitosano.	52
9.8.1	Preparación de reactivos	52
9.8.2	Obtención, lavado y pesaje de materia prima	53
9.8.3	Diagrama de flujo.....	54
9.9	Costo de inversión para el montaje de la planta piloto	56
9.9.1	Costos de Reactivos	56
9.9.2	Costos de tanques, equipos y accesorios.....	57
9.9.3	Costo mínimo de inversión aproximado para el montaje de la planta piloto 58	
10	CONCLUSIONES	59
11	RECOMENDACIONES.....	61
12	BIBLIOGRAFIA.....	62
13	ANEXOS.....	67
13.1	Imágenes de la obtención de quitosano a escala de laboratorio	67

Índice de Tablas

Tabla 1.	Reactivos utilizados para la obtención de quitosano a escala de laboratorio ..	27
Tabla 2.	Cantidades de reactivos utilizados para la preparación de las disoluciones según el método de Agulló et al.	27
Tabla 3.	Cantidades de reactivos utilizados para la preparación de las disoluciones según el método de Escobar et al.	28
Tabla 4.	Cristalería utilizada para la obtención de quitosano a escala de laboratorio ...	28
Tabla 5.	Materiales utilizados para la obtención de quitosano a escala de laboratorio .	29
Tabla 6.	Equipos utilizados para la obtención y caracterización de quitosano a escala de laboratorio.....	29
Tabla 7.	Resultados de la obtención de quitosano por medio del método A	36
Tabla 8.	Resultados de la obtención de quitosano por medio del método B	38
Tabla 9.	Escalamiento de las etapas de producción de quitosano, escala de laboratorio-escala planta piloto	42
Tabla 10.	Dimensionamiento del tanque reactor	45
Tabla 11.	Valores de proximidad codificados y relaciones de líneas.....	48

Tabla 12. Motivos de la proximidad entre actividades	48
Tabla 13. Resumen del diagrama relacional	50
Tabla 14. Preparación de reactivos utilizados en el proceso de producción de Quitosano	53
Tabla 15. Costo de reactivos necesarios para producir 10 Kg de Quitosano	56
Tabla 16. Costo de tanques, equipos y accesorios	57
Tabla 17. Costo aproximado para el montaje y funcionamiento de la planta piloto	58

Índice de Figuras

Figura 1. Cascara de camarón (Clúster Camarón, 2022).....	16
Figura 2. Estructuras químicas de la unidad repetitiva de la quitina, quitosano y quitano. (Lalaleo Córdova, 2010)	18
Figura 3. Reacción de desacetilación química de quitina con hidróxido de sodio para producir quitosano (David et al., 2014)	19
Figura 4. Diagrama de flujo del procedimiento seguido por medio del Método A	35
Figura 5. Diagrama de flujo del procedimiento seguido por medio del Método B	37
Figura 6. Espectro del estándar de quitosano	39
Figura 7- Espectro del quitosano obtenido mediante el método A.....	40
Figura 8. Espectro del quitosano obtenido por medio del método B	40
Figura 9. Localización de la planta piloto para producción de quitosano.....	41
Figura 10. Diagrama relacional de las actividades	49
Figura 11. Diagrama relacional de hilos del proceso de producción de Quitosano	51
Figura 12. Diseño simplificado de la distribución de la planta piloto.....	52
Figura 13. Diagrama de flujo del proceso de obtención de Quitosano a partir de cáscaras de camarón.....	54
Figura 14. Diseño de la Planta Piloto para producción de Quitosano	55
Figura 15. (a) Despigmentación, (b) Desmineralización.....	67

1 INTRODUCCIÓN

El quitosano es un polisacárido lineal el cual se obtiene por desacetilación de la quitina, se encuentra en estado natural en las paredes celulares de algunos hongos, así como en los exoesqueletos de los crustáceos (Velásquez, 2006).

En las industrias procesadoras de crustáceos se generan aproximadamente 300 toneladas de desechos. En Nicaragua, estas industrias se ubican en la zona del pacifico (Escorcía et al., 1970), uno de los grandes problemas que enfrentan es la cantidad de desechos de los crustáceos que constituyen la materia prima principal, y que como resultado de sus funciones operativas, el 10% del producto cae al piso como: cabezas de camarones, colas y camarones enteros, los que son desechados sin ningún tratamiento previo (Lalaleo, 2010). En Nicaragua no existe un sistema de tratamiento específico para estos residuos, así como un mecanismo que permita su disposición final de una manera adecuada.

El aprovechamiento de los desechos que generan las industrias procesadoras de crustáceos ha captado el interés por lograr reducir la contaminación ambiental, para lo cual, los residuos son sometidos a tratamientos previos para obtener nuevos materiales con bajo costo de inversión. (Díaz, 2007), dentro de los cuales se encuentra el quitosano, el cual puede ser obtenido a partir de la quitina, que ha sido extraída de los caparazones de los crustáceos por medio de desacetilación con NaOH. EL quitosano actualmente desempeña un papel primordial en diversos campos como en la industria alimenticia en la que se utiliza como espesante, gelificante y emulsificante, en el área química para tratamiento de aguas residuales cromadas y para captar metales pesados, en la agricultura como regulador de crecimientos, resistencias contra patógenos de plantas y por último en el campo de la medicina ayuda en la regeneración del tejido óseo, preparación de implantes en la piel (Mármol et al., 2011).

En la literatura se han encontrado antecedentes de trabajos similares a este trabajo monográfico, tales como el realizado por Escorcía, Hernández, Sánchez y Benavente en el año 2009, en el cual diseñaron una planta piloto para la extracción de quitina y su proteína, con el fin de aprovechar los desechos del caparazón de crustáceos (camarones

y langostino). Por otro lado, Lalaleo (2009) efectuó un estudio de obtención de quitosano por medio de caparzones de camarón ((*Penaeus vannamei*), por su parte Taquez y Vargas realizaron la obtención y evaluación a nivel de laboratorio de una extracción de quitosano en el año 2018, utilizándolo para la depuración de aguas residuales industriales proveniente de un laboratorio de cosmético en Colombia, entre otros descritos en la sección de antecedentes.

El presente trabajo tiene como objetivo realizar una propuesta de planta piloto para la extracción y obtención de quitosano a partir de desechos de camarones, como una alternativa para reducir la contaminación ambiental que causan los desechos de crustáceos.

2 ANTECEDENTES

En el año 2014 Palma y Ampie, efectuaron un estudio utilizando una columna de empaquetamiento de quitosano, este estudio tuvo como objetivo demostrar que el polímero quitosano extraído del caparazón del camarón tiene mejor afinidad para la adsorción de los iones de cobre y zinc, así como también para la remoción de algunos contaminantes, tales como, gases, orgánicos (desechos de camarones) y metales. La obtención del quitosano se llevó a cabo mediante la desacetilación de quitina seca, por medio del procedimiento químico ácido base utilizando como base NaOH al 50% a temperatura de 100° C el quitosano obtenido se empaquetó con ion metálico cobre, zinc y se añadió 100ml ácido sulfúrico para el cobre, Hidróxido de sodio para zinc y se llevó por 4 horas a una velocidad de 600 rpm se filtró y se determinó por medio de espectroscopia de adsorción atómica (David et al., 2014)

Berghoff, diseñó un material de quitosano y poli- ϵ -caprolactona para la aplicación en la ingeniería de tejido óseo, un biopolímero natural como lo es el quitosano con un poliéster sintético como la policaprolactona (PCL) para desarrollar un scaffold biodegradable,(plantilla de rehabilitación y reconstrucción de tejido) efectuando una síntesis de quitina a partir de plumas de calamar con bases y ácidos, luego procedieron a realizar la mezcla entre el quitosano y el poli- ϵ -caprolactona posteriormente la muestra fue analizada en un espectrofotómetro FTIR, que evaluó la interacción fisicoquímica de la muestra, (Berghoff, 2011).

Escorcia, Hernández, Sánchez y Benavente diseñaron en el año 2009 una planta piloto para la extracción de quitina y su proteína, con el fin de aprovechar los desechos del caparazón de crustáceos (camarones y langostino), posteriormente analizaron contenido de humedad del material y sus condiciones experimentales óptimas del volumen y la concentración (Escorcia, Hernández, Sánchez y Benavente, 2009).

Lalaleo efectuó un estudio de obtención de quitosano por medio de caparazones de camarón (*Penaeus vannamei*) efectuando 3 factores de estudios como, método de obtención, uso de agente reductor, y tiempo de desacetilación, en el método de obtención su usaron agentes reductores como el tetrahidruro de boro y sodio,(NaBH_3) y tiempo de

desacetilación entre 2-4 horas, también se analizaron las características físicas de este polímero, para estos parámetros se hizo uso de espectrofotómetro infrarrojo (Lalaleo Córdova, 2010).

Taquez y Vargas realizaron la obtención y evaluación a nivel de laboratorio de una extracción de quitosano en el año 2018 para tratar la depuración de aguas residuales industriales proveniente de un laboratorio de cosmético en Colombia el principal objetivo de este estudio se dio para sustituir biopolímeros sintéticos que generan impactos adversos al medio ambiente y a los recursos naturales (Taquez & Vargas, 2018).

En el año 2013 se publicó una investigación en la cual se realizó la optimización de un protocolo de extracción de quitina y quitosano, los cuales fueron extraídos de caparazones de crustáceos, el procedimiento consta de 4 etapas que incluye la desproteínización, desmineralización, desacetilación y la purificación, este último paso tiene como referencia eliminar residuos de carbonatos. (Escobar Sierra et al., 2013).

Escobar, Castro y Vergara realizaron un estudio del porcentaje del grupo amino y el grado de desacetilación, lo cual tomaron 3 muestras de diferente materia prima como el hongo *Ganoderma lucidum*, caparazón de crustáceos, y la tercera usaron caparazón de crustáceos grado comercial (SIGMA-ALDRICH >75% desacetilado), la última muestra se tomó para la comparación de quitosano entre la muestra 1 y 2 (Ramírez Castro et al., 2013).

En el año 2014, Tafur y Quevedo evaluaron una alternativa para el tratamiento de aguas residuales cromadas, haciendo uso de material quitosano extraído de exoesqueleto de camarón, esto para reducir la contaminación de aguas residuales de curtidos (ARC) generadas durante los procesos de transformaciones de piel a cuero en la ciudad de Bogotá y se ha encontrado que el quitosano es un buen coagulante para el tratamiento de estas aguas residuales (Tafur & Quevedo, 2014).

3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las industrias procesadoras de crustáceos se generan aproximadamente 300 toneladas de desechos. En Nicaragua, estas industrias se ubican en la zona del pacifico (Escorcía et al., 1970), uno de los grandes problemas que enfrentan es la cantidad de desechos de los crustáceos que constituyen la materia prima principal, y que como resultado de sus funciones operativas, el 10% del producto cae al piso como: cabezas de camarones, colas y camarones enteros (Lalaleo, 2010), estos son desechados sin ningún tratamiento previo, y sí no son removidos antes de que entren al drenaje se convierte en un contaminante el cual llega a descargarse en el agua de zonas cerca de ríos o mares, pudiendo alcanzarse los 100 mg/l incluso más de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), por otro lado, los niveles de solidos suspendidos totales (SST) pueden alcanzar los 100ppm o más (Lalaleo, 2010).

En Nicaragua no existe un sistema de tratamiento específico para estos residuos, así como un mecanismo que permita su disposición final de una manera adecuada.

4 JUSTIFICACION

Existen métodos que permiten tratar los residuos de crustáceos para poder ser utilizados como materia prima en diversas aplicaciones. El aprovechamiento de los desechos que generan las industrias procesadoras de crustáceos ha captado el interés por lograr reducir la contaminación ambiental, para lo cual, los residuos son sometidos a tratamientos previos para obtener nuevos materiales con bajo costo de inversión. (Díaz, 2007).

Es importante destacar que el quitosano es un polímero abundante en la naturaleza después de la celulosa y se ha obtenido desde la década de 1950, se han dado diversas extracciones para la obtención de estos polímeros como agentes reductores, tratamientos ácidos-alcalinos, y procesos biotecnológicos (Lalaleo, 2010.).

El quitosano es obtenido a partir de la quitina por medio de desacetilación con NaOH actualmente desempeña un papel primordial en diversos campos como en la industria alimenticia surge como espesante, gelificante y emulsificantes, en el área química para tratamiento de aguas residuales cromadas y para captar metales pesados, en la agricultura como regulador de crecimientos, resistencias contra patógenos de plantas y por último en el campo de la medicina ayuda en la regeneración del tejido óseo, preparación de implantes en la piel (Mármol et al., 2011).

El presente trabajo tiene como objetivo realizar una propuesta de planta piloto para la extracción de quitosano a partir de desechos de camarones, como una alternativa para reducir la contaminación ambiental que causan los desechos de crustáceos.

5 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es la factibilidad del escalamiento a nivel de planta piloto del proceso de extracción de quitosano a partir de cascaras de camarones?

6 OBJETIVOS

6.1 OBJETIVO GENERAL

- ✓ Llevar a cabo el escalamiento a nivel de planta piloto del proceso de extracción de quitosano a partir de cascara de camarones.

6.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Realizar la extracción de quitosano a escala de laboratorio a partir de cascara de camarones utilizando dos métodos diferentes, caracterizarlo por espectroscopia FTIR.
- ✓ Seleccionar el método de obtención apropiado, establecer la ubicación de la planta piloto.
- ✓ Llevar a cabo el balance de masa del proceso de obtención de quitosano y dimensionar los equipos para el proceso de escalamiento a nivel de planta piloto.
- ✓ Efectuar el análisis de la planeación sistemática de la distribución de la planta y diseñar la planta piloto.
- ✓ Estimar el costo de inversión para el montaje de la planta piloto

7 MARCO TEÓRICO

7.1 Escalamiento

Escalar es el proceso mediante el cual se desarrollan reglas y criterios de asignación numérica que determinan las unidades de medida significativas para escalar una operación u objeto de un tamaño dado a otro tamaño más grande o pequeño, (Anaya & Pedroza, 2008).

Escalar un proceso o equipo significa convertirlo de su escala de investigación (laboratorio o piloto) a una escala industrial (producción).

7.1.1 Métodos de escalada

Los métodos de escala más utilizados para operaciones unitarias son:

- ✓ Fuerza bruta
- ✓ Basado en modelos
- ✓ Empírico
- ✓ Modelo empírico-híbrido

7.1.1.1 Modelo de escala de fuerza bruta

Este método se basa en el principio de que la planta piloto es una versión a menor escala de la escala comercial; por lo tanto, los factores de escala críticos se mantienen en ambas escalas. Este tipo de escalado se aplica típicamente en industrias donde los modelos de todos los componentes cinéticos no están disponibles, (Muñoz Equihua, 2016).

7.1.1.2 Método basado en modelos

En este método, los modelos predicen el efecto del escalado en el comportamiento de las operaciones unitarias. Estos modelos contienen los efectos de parámetros físicos, químicos e hidrodinámicos, (Muñoz Equihua, 2016)

7.1.1.3 Escalado empírico

En el escalado empírico se realizan diferentes números de escalas, normalmente entre 3 y 4; cada uno de ellos con sus nombres específico, banco de pruebas, miniplanta, planta piloto, desarrollo de negocio y planta de demostración. En cada una de las escalas se evalúa el comportamiento de los parámetros medidos, tales como velocidad de agitación, tiempo de residencia, pH, aditivos químicos, temperatura; entre otros, que se ajustan para lograr el comportamiento deseado (Muñoz Equihua, 2016).

7.1.1.4 Escalamiento empírico-híbrido

Es una versión híbrida del método de escalado empírico en el que se realizan modelado y simulación para interpretar los resultados del modelo empírico y para simular y optimizar el siguiente nivel de escalado. En el siguiente nivel de escala, los resultados se utilizan para validar o ajustar el modelo. El modelo ajustado se utiliza en el diseño de la siguiente etapa. De esta manera, se aumentan las posibilidades de éxito, (Muñoz Equihua, 2016).

7.1.1.5 Escalada directa

En el escalado directo, un nuevo proyecto a escala comercial se diseña, integra y lanza directamente sin desarrollo ni investigación previos. En este método, las posibilidades de fracaso del proyecto son considerables; para un proceso complejo este no es un buen método, (Muñoz Equihua, 2016).

7.2 Plantas piloto

Una Planta Piloto se define como un proceso compuesto por piezas específicas ensambladas que funcionan como un armónico en el maíz para reproducir, a escala, los procesos de producción. Los fenómenos simples o complejos son de interés para la ingeniería química involucrada en el proceso, permitiendo el análisis de las interacciones presentes en las operaciones tales como termodinámica, flujo de fluidos, transferencias de masa y energía, reacciones químicas, biotecnología, etc. control de procesos, entre otros, (Anaya & Pedroza, 2008).

El uso de plantas de procesamiento a escala impulsa los siguientes objetivos principales:

- ✓ Predecir el comportamiento de una planta a nivel industrial, al operar la planta piloto en condiciones similares a las esperadas. En este caso, los datos obtenidos sirvieron de base para el diseño de la planta industrial.
- ✓ El estudio del comportamiento de las instalaciones industriales dejadas construidas, o de la planta piloto es una respuesta y estará sujeto a las condiciones de operación previstas para la instalación industrial. En este caso, se denomina planta piloto al modelo y su función principal es mostrar los efectos de los cambios en las condiciones de operación de manera más rápida y económica que en la planta original.

7.2.1 Alcances técnicos

La planta piloto es parte fundamental en el desarrollo de nuevas tecnologías y la realización de estudios, nuevos conocimientos y criterios técnicos que permitan la optimización, control, portabilidad, seguridad, rentabilidad, etc., de los procesos, equipos y energías productivas, (Anaya & Pedroza, 2008).

La planta piloto le permite experimentar económica y eficientemente con el comportamiento de escalado de:

- ✓ Condiciones de funcionamiento.
- ✓ Parámetros de diseño.
- ✓ Materiales de construcción.
- ✓ Operaciones unitarias.
- ✓ Impurezas.
- ✓ Corrosión.
- ✓ Procedimientos.
- ✓ Temas laborales.
- ✓ Temas ambientales.

7.3 Principios de similitud

El principio de similitud se refiere a la relación que existe entre los sistemas físicos y su tamaño, siendo fundamental en el escalamiento de los procesos físicos y químicos. Los sistemas físicos se caracterizan generalmente por tres cualidades: tamaño, forma y composición. Las tres variables son independientes; por ejemplo, dos objetos pueden ser de diferente tamaño, pero tener la misma forma y composición, (Muñoz Equihua, 2016).

El principio de similitud está relacionado con el concepto de forma porque es independiente del tamaño y la composición. El concepto de forma aplicado en estos sistemas no solo involucra las proporciones geométricas de sus miembros, sino también

cuestiones como: patrones de flujo en fluidos, gradientes de temperatura, perfiles de concentración versus tiempo, etc. Dentro de la ingeniería química, son de interés cuatro tipos de similaridades:

- ✓ similaridad geométrica
- ✓ similaridad mecánica
- ✓ similaridad térmica
- ✓ similaridad química

Cada tipo de similaridad es necesaria para realizar el escalado de cualquier sistema: Por ejemplo, para realizar una similaridad química completa, es necesario tener en cuenta las similaridades geométricas, mecánicas y térmicas, (Muñoz Equihua, 2016).

7.4 Generalidades del camarón

Caridea (Caridea) pertenece al orden de los crustáceos marinos o crustáceos de agua dulce, comúnmente conocidos como gamba blanca, gamba blanca o gamba de mar. Varían en tamaño de 10 a 15 mm de largo, tienen patas pequeñas, los bordes de sus mandíbulas son rápidos, el cuerpo es compacto, la cola es muy larga comparada con el cuerpo, la coraza poco consistente y de color grisáceo. Son relativamente fáciles de encontrar en todo el mundo, tanto en agua dulce como salada. Son mucho más pequeños que las gambas y los langostinos. (Lalaleo, 2010)

Los camarones son un alimento privilegiado se ha dado investigaciones donde explican que los niveles de colesterol en muchos mariscos, incluidos los camarones, son significativamente bajos. Los camarones casi no contienen grasa y, lo que es más importante, no contienen grasas saturadas, lo que aumenta los niveles de colesterol en la sangre. Los subproductos generados por la industria camaronera se pueden dividir en sólidos y líquidos. (Lalaleo, 2010).

En general, el rendimiento de subproductos, cuando el camarón está en forma de cola sin cáscara, está entre el 35 y el 45% del peso total del camarón las conchas y caparazones de muchos crustáceos, incluidos los camarones, contienen proteínas,

lípidos y pigmentos. (Mauricio et al., 2011). En la **Figura 1**, se muestra la imagen de las cascaras de camarón.



Figura 1. Cascara de camarón (Clúster Camarón, 2022)

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, (Mauricio et al., 2011).

7.4.1 Cultivo de camarón

El cultivo de camarón a nivel mundial ha cobrado mayor importancia como complemento a la producción pesquera a medida que esta última alcanza su máxima sustentabilidad. La fuerte demanda del mercado internacional ha impulsado la producción mundial, para el año 2001 se registró una producción de tres millones de toneladas métricas por un valor aproximado de 12 mil millones de dólares, (Escorcía et al., 1970).

La camaronicultura en Nicaragua es una actividad que se generó en las décadas de los 60 y 70 en el país. En 1988, la FAO realizó el primer inventario de suelo potencial en la costa del Pacífico de Nicaragua. Se ha identificado un área total de 39.250

hectáreas para cultivo de camarón en la región del Pacífico y 28.150 hectáreas cerca de Puerto Morazán en el Estero.

En Nicaragua, la distribución de larvas silvestres se encuentra en todos los esteros desde El Velero, pasando por Padre Ramos, hasta Estero Real (Colindres et al., 2015).

7.5 Quitina

La quitina es el compuesto orgánico más abundante en el planeta después de la celulosa y realiza funciones similares de defensa y resistencia en animales inferiores y hongos. Es uno de los componentes principales del exoesqueleto (caparazón) de los artrópodos (arácnidos, crustáceos, insectos) y algunos otros animales (quetas de anélidos, perisarco de cnidarios), paredes celulares de hongos, alga (Mármol et al., 2011)..

La quitina es un polisacárido lineal nitrogenado, de origen natural, blanco, duro y cristalino. Es un polisacárido versátil formado por el azúcar N-acetilglucosamina, unida mediante enlaces β -1.4, (Mauricio et al., 2011) su nombre sistemático de la quitina es β (1-4)-2-acetamido-2-desoxi-D-glucosa es completamente insoluble en agua o en medio ácido fue aislado por primera vez por Braconnot en 1811, a partir de hongos superiores y por su origen la denominó "fungina" (Velásquez, 2006)

Aunque La primera persona que consiguió describir correctamente su estructura química fue Albert Hofmann, en 1929, (Berghoff, 2011)

La quitina al ser tratada mediante una reacción de desacetilación que elimine al menos un 50% de sus grupos acetilo se convierte en quitosano β (1-4)-2-acetamido-2-desoxi-D-glucosa y β (1-4)-2-amino-2-desoxi-D-glucosa, el cual posee propiedades de tales como biocompatibilidad, biodegradabilidad, toxicidad nula, entre otras. Cuando el grado de desacetilación alcanza el 100%, el polímero se conoce como quitano (Lalaleo, 2010)

Actualmente la fuente principal de quitosano a nivel industrial lo constituye la quitina, la cual mediante un proceso de desacetilación química o enzimática ha permitido producirlo a gran escala, (Lalaleo, 2010)

A continuación, en la **Figura 2** se muestran las estructura de la quitina, quitosano y quitano.

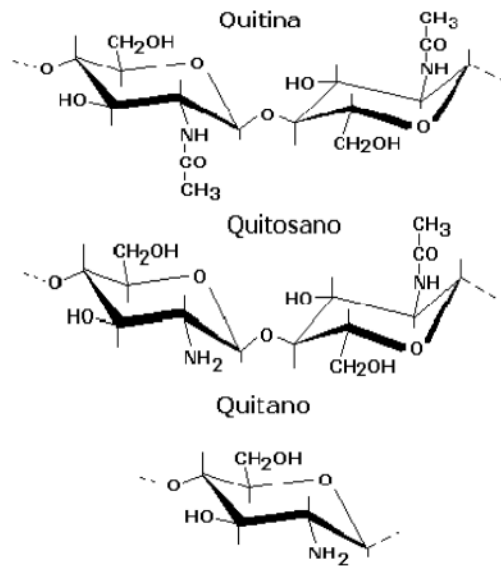


Figura 2. Estructuras químicas de la unidad repetitiva de la quitina, quitosano y quitano. (Lalaleo Córdova, 2010)

La quitina es un sólido blanco con alta resistencia mecánica y química. Es un polímero lineal de alto peso molecular de la clase de los polisacáridos, (Mauricio et al., 2011)

La quitina tiene una estructura cristalina altamente ordenada. Se encontraron tres formas polimórficas, α -, β - y γ -quitina, que difieren en la disposición de las cadenas en las regiones cristalinas. En la quitina α las cadenas son antiparalelas, en la quitina β son paralelas y en la quitina γ hay dos cadenas arriba y una abajo. La forma que parece más estable es la α -quitina (David et al., 2014).

Es un material altamente insoluble en agua y en la mayoría de los solventes orgánicos debido a los enlaces de hidrógeno que presenta la molécula. Sin embargo, es posible disolverlo en soluciones de sales neutras, en medio ácido y en solventes orgánicos. La quitina se disuelve en ácido clorhídrico concentrado (HCl), ácido sulfúrico (H₂SO₄) y ácido fosfórico (H₃PO₄), produciéndose al mismo tiempo reacciones de hidrólisis. En el

caso del ácido sulfúrico, también se producen reacciones de sulfatación (David et al., 2014).

Cuando se somete a la acción de un medio alcalino altamente concentrado (NaOH o KOH 50%) a temperaturas superiores de 60°C, se produce la reacción de desacetilación, esta reacción consiste en la pérdida del residuo acetilo del grupo amido del carbono 2, quedando un grupo amino en esta posición el producto de reacción es quitosano y tiene propiedades significativamente diferentes a las de quitina original. (Mármol et al., 2011)

En la **Figura 3** se muestra la reacción para la obtención de quitosano a partir de quitina.

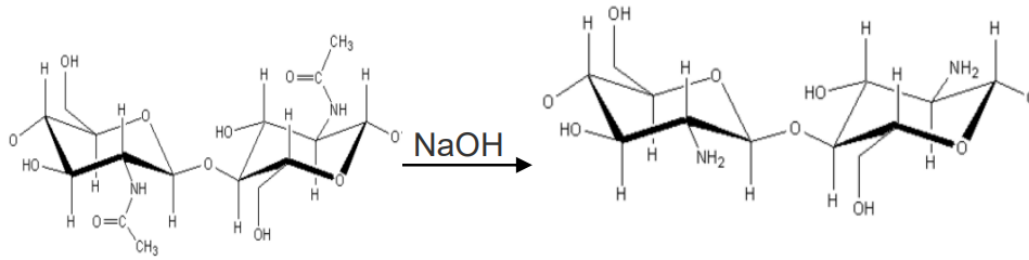


Figura 3. Reacción de desacetilación química de quitina con hidróxido de sodio para producir quitosano (David et al., 2014)

7.5.1 Organismos con quitina

Los principales organismos de los cuales se extrae la quitina son: las paredes celulares de los hongos, exoesqueleto de crustáceos, en la estructura interna de los invertebrados, alas de insectos, artrópodos, algas pero la principal fuente de exoesqueletos proviene de los desechos de la industria camaronera, representando millones de toneladas de basura a nivel mundial, (Mármol et al., 2011)

La quitina representa el 14-27% y el 13-15% en crustáceos, está estrechamente asociada con proteínas, sales inorgánicas como el carbonato de calcio y lípidos incluidos los pigmentos, por lo que el aislamiento abarca varios pasos de purificación, (Escobar Sierra et al., 2013).

Las conchas de almejas y ostras contienen cantidades significativas de quitina. Sin embargo, los rendimientos de polímero son bajos y el contenido mineral es muy alto en ambos. Contienen 6 y 4% de quitina y 90 y 85% de ceniza, respectivamente. La pluma de calamar es, de hecho, la única fuente significativa de quitina β -polimórfica, ya que los crustáceos contienen exclusivamente α -quitina, (Mauricio et al., 2011).

7.6 Quitosano

En el año 1859 se obtuvo por primera vez quitosano por Rougt, realizaba un tratamiento a la quitina, con una solución de hidróxido de potasio (KOH), a diferencia de la quitina inicial, era soluble en ácidos orgánicos, la llamó quitina modificada, en 1894, Hoppe – Seyler, lo nombró quitosano, (Lopez, 2014).

El quitosano se puede encontrar de forma natural en las paredes celulares de algunas plantas y hongos (por ejemplo, en el *Mucorrouxii*). pero la fuente más importante de quitosano a nivel industrial, lo constituye la quitina, la cual mediante un proceso de desacetilación química o enzimática, ha permitido producirlo a gran escala (David et al., 2014).

Es un polisacárido lineal compuesto de cadenas distribuidas aleatoriamente de β - (1-4) D-glucosamina (unidades desacetiladas) y N-acetil-D-glucosamina (unidad acetilada). Se obtiene por desacetilación de la quitina, se encuentra en estado natural en las paredes celulares de algunos hongos, sin embargo su principal fuente de producción es la hidrólisis de la quitina en medio alcalino, usualmente soluciones de hidróxido de sodio o de potasio a altas temperaturas (Velásquez, 2006).

7.6.1 Propiedades del quitosano

La quitina y el quitosano combinan propiedades fisicoquímicas, como la capacidad de formar sistemas tipos hidrogeles, micro y nano partículas, con propiedades biológicas

como la bio y muco- adhesividad. El quitosano es degradado por varias enzimas, entre ellas las quitinasas y la lisozima presente en superficies mucosas y en suero humano, así como por enzimas gástricas como la papaína, pepsina y lipasa A (Lopez, 2014).

Las dos propiedades fisicoquímicas más importantes del quitosano son el grado de desacetilación y el peso molecular; el grado de desacetilación es un parámetro importante al momento de realizar la caracterización a este polímero, debido a que influye en la biodegradabilidad, solubilidad en soluciones ácidas, hinchamiento en agua, actividad inmunológica, bioactividad y biocompatibilidad.

7.7 Obtención de quitina

Para aislar la quitina del exoesqueleto de crustáceos, se requiere un proceso de desmineralización en ácido diluido y desproteización en solución de base caliente. Algunos métodos incluyen una etapa de blanqueo de la quitina extraída, por extracción con solvente u oxidación de los pigmentos restantes. Estos métodos generalmente usan grandes cantidades de agua y energía y, a menudo, producen desechos corrosivos,(Lopez, 2014)

Existen dos métodos para extraer la quitina, el químico y el biológico en el primero se utilizan ácidos y álcalis en altas concentraciones en altas temperaturas. Este procedimiento incluye el método industrial, que consiste en procesos químicos de hidrólisis de proteínas y remoción de materiales inorgánicos, y el método tradicional, que consiste en molienda mecánica, desmineralización (MS) con ácidos fuertes y remoción de proteínas, desproteización (DP) con álcali de 90°-100°C.

En general, los procesos para la obtención de quitina se llevan a cabo mediante los siguientes pasos consecutivos: acondicionamiento de la materia prima (descongelación, lavado y molienda), extracción de la proteína (desproteización), eliminación de impurezas inorgánicas (desmineralización), blanqueo, (despigmentación).

Descongelación y Lavado: se descongela el material para luego lavarse y separar residuos como plásticos, basura y proteínas.

Molienda: Se muele el material con el fin de reducir el tamaño y así asegurar una buena desproteínización en el siguiente paso el producto se seca y se pesa.

Desproteínización: En este paso, se agrega NaOH al 10% al material molido este paso se da para separar las proteínas del sólido, la mezcla se agita durante 1 h a temperatura ambiente se filtra y se separa el sólidos de la solución restante se lava con agua destilada para eliminar las trazas de NaOH.

Desmineralización: El sólido se trata con una solución de HCl 2N para eliminar los minerales de calcio y magnesio y se deja reposar a temperatura ambiente durante 12 horas para asegurar la eliminación de los componentes inorgánicos el líquido se separa del sólido y se almacena para su posterior procesamiento.

Blanqueo: El sólido obtenido en el paso anterior se trata con una solución de NaClO 0.32% se agita durante 1 hora para eliminar los pigmentos que da la cascara del crustáceo se separa el sólido y se lava con agua destilada.

Secado: El sólido obtenido en la etapa de blanqueo se coloca en bandejas de aluminio y se coloca en un horno hasta que el material esté completamente seco a una temperatura entre 60° y 80°C,(Vasquez & Vidal, 2011).

7.8 Obtención de quitosano

La principal reacción para la desacetilación de la quitina es la hidrólisis de las funciones químicas de la acetamida para generar el polímero desacetilado, el quitosano se puede obtener por procesos químicos o enzimáticos,(Lalaleo, 2010) se debe tomar en cuenta las condiciones de la reacción específicas ya que puede depender de varios factores, como el material de partida, pretratamiento y grado de desacetilación deseado.

7.8.1 Método químico

Se puede hacer de dos formas, homogénea y heterogénea.

Desacetilación homogénea: Consiste en que la quitina se suspende en álcali y la suspensión se enfría con hielo para disolver la quitina en la solución. Luego se somete a desacetilación a temperaturas cercanas a la temperatura ambiente durante largos períodos de tiempo, (Berghoff, 2011)

Desacetilación heterogénea: Consiste en la dispersión de moléculas de quitina en una solución alcalina caliente, generalmente hidróxido de sodio. Las condiciones en las que se produce la desacetilación heterogénea pueden reducir la longitud de la cadena, por lo que el tratamiento alcalino debe repetirse varias veces en periodos cortos de tiempo, aislando el producto en cada etapa. Para reducir la pérdida de peso molecular del polímero, es ventajosa la ausencia de oxígeno o la presencia de un antioxidante para evitar su despolimerización, (Berghoff, 2011)

7.9 Caracterización del Quitosano

Tanto la composición de las cadenas de quitosano como sus dimensiones varían en función del material de partida y del rigor del método de obtención.

la caracterización de este polímero se examina por varios parámetros como método espectrofotométrico (IR), que cuantifica el grado de desacetilación, solubilidad, peso molecular, potenciometría, contenido de humedad, contenido de cenizas, proteína total, cristalinidad, determinación de contenido de insolubles.

7.9.1 Metodología espectrofotométrica (IR).

La espectroscopia infrarroja se basa en la interacción de la radiación infrarroja con la materia por absorción, emisión o reflexión. De esta manera, los espectrofotómetros de infrarrojos (IR) se utilizan ampliamente para identificar productos químicos con ciertos grupos funcionales. Aquí podrá ponerse en contacto con una gran cantidad de

proveedores que cumplirán con los requisitos de su laboratorio o su empresa (Hernández et al., 2009).

Uno de los métodos más utilizados para la identificación de quitina y quitosano es la identificación por espectrofotometría infrarroja (IR). Tras el análisis de estos compuestos por espectroscopia IR, es posible identificar principalmente el grupo amido y carbonilo. Para la quitina, las vibraciones de estiramiento del grupo NH tienen dos frecuencias moderadamente fuerte, (Ramírez Castro et al., 2013).

Dados los espectros de muestras sólidas, estas bandas se observaron en un rango de 3500 a 3180 cm^{-1} debido a los puentes de hidrógeno; 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, por lo que se examina en el estado sólido. Mientras que para el quitosano, las bandas de intensidad media correspondientes a las vibraciones de tensión del NH ubicadas en la región de 3500-3300 cm^{-1} y la banda de absorción media a fuerte correspondiente a las vibraciones de tensión del grupo amino en un rango de frecuencia entre 1640 y 1500 cm^{-1} (Mauricio et al., 2011).

7.9.2 Valoración potenciométrica

Consiste en un solvente de quitosano en exceso de ácido clorhídrico HCl conocido y se titula con NaOH, se ajusta un valor de pH dependiente del volumen de NaOH, que se basa en los siguientes puntos de inflexión, la diferencia de volumen entre los dos puntos corresponde al ácido consumido por la protonación de los grupos amina y permite determinar el grado de desacetilación, (Hernández et al., 2009).

7.9.3 pH

Una medida del grado de acidez o alcalinidad de una sustancia o solución. El pH se mide en una escala de 0 a 14. En esta escala, un valor de pH de 7 es neutral, lo que significa que la sustancia o solución no es ni ácida ni alcalina. Un pH por debajo de 7 significa que es más ácido y un pH por encima de 7 significa que es más alcalino, (Sánchez-Guadalupe et al., 2017).

7.10 Aplicaciones del quitosano

El quitosano se ha convertido en objeto de estudio de muchos investigadores y aunque solo se disuelve en ciertos disolventes se le han encontrado varias aplicaciones. Uno de ellos bueno no es el mejor, se usa para hacer columnas cromatográficas.

También se utiliza en la inmovilización de enzimas para la industria alimenticia, útil en la clarificación de jugos de frutas y el procesamiento de la leche, (Nacional et al., 2013).

Se usa en el tratamiento de contaminantes industriales, incluidos los desechos líquidos radiactivos de bajo nivel, y como adsorbente para complejos de tiosulfato de plata y algunos actínidos, (Mármol et al., 2011).

En aplicaciones médicas y farmacéuticas, donde se utiliza en forma de fibra o película, para la fabricación de material de vendaje, la liberación controlada de fármacos y la aceleración de la cicatrización de heridas, (Berghoff, 2011)

Las aplicaciones industriales del quitosano incluyen su uso como ingrediente en productos cosméticos relacionados con el cuidado del cabello y la piel, pastas dentales y enjuagues bucales, debido a sus propiedades fungicidas y fungistáticas; Las aplicaciones en el tratamiento de aguas se deben a la naturaleza catiónica del quitosano, siendo utilizado como agente floculante, quelante, adsorción de proteínas, compuestos orgánicos, metales pesados y otras aplicaciones relacionadas con la industria textil y papelera, donde se utiliza como pasta de papel como así como para acabado de papel

reciclado, textiles higiénicos para dar estética, repelente de suciedad, decoloración de efluentes textiles, hilados y fibras,(Tafur & Quevedo, 2014).

En la agricultura como agente antifúngico que acelera el crecimiento de semillas,(Mármol et al., 2011).

En la industria alimenticia, complementos alimenticios, así como agente emulsionante y antioxidante y para la conservación de alimentos,(López, 2014), productos del deterioro microbiano (Ramírez et al., 2010)

8 DISEÑO METODOLÓGICO

8.1 Materiales y reactivos

8.1.1 Reactivos

Tabla 1. Reactivos utilizados para la obtención de quitosano a escala de laboratorio

Nombre	Formula	Casa comercial
Ácido clorhídrico 12.4 M	HCl	Honeywell Fluka™
Hidróxido de sodio 50 %	NaOH	Fisher Chemical™
Quitosano	$(C_6H_{11}NO_4)_n$	Spectrum™ Chemical
Bromuro de potasio IR	KBr	Spectrum™ Chemical
Éter	C_6H_{14}	Fisher Chemical™
Acetona grado IR	C_3H_6O	Fisher Chemical™

8.1.2 Preparación de reactivos utilizados para la obtención de Quitosano por el método de Agulló et al.

Tabla 2. Cantidades de reactivos utilizados para la preparación de las disoluciones según el método de Agulló et al.

Reactivo	Cantidad de reactivo	Volumen de disolución	Concentración
Éter	35 g	702 ml	15 % (v/v)
Acetona	80 ml	526.5 ml	75 % (v/v)
HCl 12.40 M	104.83 ml	1000 ml	1.3 M
NaOH	50 g	1000 ml	5 % (m/v)
NaOH	250 g	500 ml	50 % (m/v)

8.1.3 Preparación de reactivos utilizados para la obtención de Quitosano por el método de Escobar *et al.*

Tabla 3. Cantidades de reactivos utilizados para la preparación de las disoluciones según el método de Escobar et al.

Reactivo	Cantidad de reactivo	Volumen de disolución	Concentración
NaOH	35 g	1000 ml	3.5 % (m/v)
HCl 12.40 M	80 ml	500 ml	2 N
NaOH	10 g	500 ml	2 % (v/v)
NaOH	300 g	500 ml	60 % (m/v)

8.1.4 Cristalería

Tabla 4. Cristalería utilizada para la obtención de quitosano a escala de laboratorio

Cristalería	Capacidad	Cantidad
Beaker	2000ml	2
Beaker	1000ml	2
Beaker	100ml	2
probeta	100ml	2
Embudo de separación	No aplica	2
Varillas de vidrios	No aplica	2
Frascos auto claves para almacenar muestras	20ml	4

8.1.5 Materiales

Tabla 5. Materiales utilizados para la obtención de quitosano a escala de laboratorio

Materiales	Cantidad
Termómetro	2
Espátulas Metálicas	2
Agitador magnético	2

8.1.6 Equipos

Tabla 6. Equipos utilizados para la obtención y caracterización de quitosano a escala de laboratorio

Equipos	Cantidad
PanCHA de calentamiento y agitación.	2
Campana extractora de gases	1
Balanza electrónica o digital	2
Espectrofotómetro FTIR, Modelo: Alpha Marca: Bruker, Software: OPUS	1

8.1.7 Materia prima y su preparación

Los desechos de camarones fueron suministrados por la empresa LANOGOSTINOS DE CENTROAMÉRICA S.A, ubicada en Ranchería, Chinandega, km 149 carretera al Guasaule, 2 km Oeste. Los desechos comprenden la cabeza y la cola del camarón.

Se partieron los desechos de camarones tomando 140 gramos y procediendo a lavar con agua destilada o libre de cloro, con el propósito de retirar la materia orgánica adherida, se secó en una estufa a 40°C por 2 horas y finalmente se trituraron y tamizaron hasta obtener tamaños de partículas entre 0,8 mm y 1,5 mm.

8.2 Métodos de extracción

8.2.1 Método A: Extracción de quitina para la obtención de quitosano por el método de Agulló *et al.*, (2004)

La composición de los desechos de los crustáceos es variable con respecto a las proporciones de proteínas, sales de calcio, quitina y cantidades mínimas de grasa y otros compuestos. El aislamiento de la quitina comprende tres operaciones básicas:

1. Decoloración
2. Desproteínización
3. Desmineralización

8.2.1.1 Extracción de quitina

8.2.1.1.1 Decoloración

1. La harina obtenida, se sometió a un proceso de decoloración o despigmentación química, relación 1:10 (expresada en kg de harina por L de disolvente).
2. 100 g de harina de langostino en un beaker, adicionar los disolventes en proporciones de (15% éter, 75% acetona y 10% agua) y mezcla a un proceso de agitación continua por 2 horas a temperatura ambiente.
3. Lavar el producto obtenido por filtración, con agua destilada y secar con estufa eléctrica a 65°C por 2 horas para posteriormente pesar.

8.2.1.1.2 Desproteínización

1. El productor anterior se coloca en un beaker con una solución de NaOH 5 % (p/v) en relación de 1:10 (expresada en kg de sólido por L de solución) con agitación constante por un tiempo de 2 horas y media, a una temperatura de 80°C.
2. Por filtración se hace el lavado del producto obtenido con agua destilada , Se coloca en estufa para eliminar rastros de humedad y se pesa el productor final

8.2.1.1.3 Desmineralización

1. Someter el productora anterior a desmineralización con Ácido Clorhídrico 1.3 M en relación de 1:10 (expresada en kg de sólido por L de solución), por 3 horas a temperatura ambiente y agitación constante.
2. Pasado el tiempo se procede a filtrar y lavar con agua destilada, el producto obtenido se seca en estufa a 65°C por 4 horas, para posteriormente pesar.

8.2.1.2 Obtención de quitosano

8.2.1.2.1 Desacetilación de quitina

1. De la quitina obtenida en la extracción, se coloca en un beaker y añadir una solución de NaOH al 50% p/v en relación de 1:15 (expresada en kg de sólido por L de solución), la mezcla se mantiene en agitación constante por 4 horas, a temperatura de 90°C.
2. Por medio de la reacción química dada en el proceso anterior se obtiene un producto de biopolímero quitosano, lavando con agua destilada, y se colocarlo en una estufa para eliminar la humedad para luego registrar su peso.

8.2.2 Método B: Extracción de quitina para la obtención quitosano por el método de Escobar *et. al*, (2013).

8.2.2.1 Desproteínicación.

Se tomaron 140 g de harina de los desechos de camarón, se adicionó NaOH 3.5% en una relación sólido-líquido (1:10) manteniendo una temperatura de 95° C y se agitó durante 3 horas. Luego se filtró y se neutralizó con agua desionizada.

8.2.2.2 Desmineralización.

Adicionar HCl 2N con una relación de solido-liquido (1:5), se agitó a temperatura ambiente (aproximadamente 36°C), durante 2 horas, esto nos ayuda a remover carbonatos de calcio en los caparazones, se filtró nuevamente y se lavó con agua desionizada.

8.2.2.3 Purificación.

Adicionar NaOH 2% con una relación solido: liquido (1:5) con una temperatura de 100° C durante 1 hora, seguidamente se filtró, secó a 80 °C durante 30 minutos, este paso es muy importante ya que se obtendrá quitina libre de carbonato de calcio.

8.2.2.4 Obtención de quitosano

8.2.2.4.1 Desacetilación de Quitina

Se adicionó NaOH 60% en relación solido-liquido (1:10), con agitación constante a una temperatura de 100° C durante 1 hora, se filtró, lavó y secó a 80° C, durante 30 minutos.

8.2.3 Caracterización del quitosano.

1. Se pesó la cantidad de muestra requerida, se colocó en un mortero de ágata y se molió, hasta obtener un tamaño de partículas fino para disminuir la dispersión del haz de luz.
2. Se adicionó el haluro KBr y se mezcló nuevamente con el pistilo. La mezcla obtenida es homogénea y de poca humedad.
3. Se toma una muestra de 5mg de KBr y el 5% de la muestra a analizar
4. Se transfirió la mezcla a la pastilladora procurando que quedara uniforme.
5. Se ejerció la presión adecuada para formar la pastilla.

6. Prensar la mezcla durante un minuto de 18 a 20,000 lb/plg².
7. Seguidamente se llevó a cabo la obtención de los espectros FTIR del compuesto obtenido. Registrando los espectros en el rango de 400 cm⁻¹ a 4000 cm⁻¹.

Se tomó en cuenta lo siguiente:

- La concentración de la muestra en el KBr puede ser de 0.1 a 0.5 %. Generalmente la mezcla de 3 mg de muestra en 100 a 200 mg de KBr es adecuada. Si el espectro presenta bandas pequeñas, incrementar el grosor de la pastilla con el uso de cantidades más grandes de la mezcla, esto es mejor que aumentar la concentración.
- Si las bandas son demasiado grandes, seccionar la tableta y a una porción de esta adicionar más KBr. No intentar preparar una tableta adicionando más polvo o mezcla, esto no es conveniente, pulverice la tableta y vuelva a presionar.
- El dado y el mortero solamente pueden ser limpiados con acetona, NO lavar con agua y jabón

8.3 Técnica de diseño de escalamiento a planta piloto

Para elaborar una propuesta, es imprescindible dimensionar el tamaño de los equipos. Para ello, se toma como base el procesamiento que de mayor rendimiento de quitosano.

Dentro del diseño se han considerado lo siguiente:

- ✓ Obtención de quitosano a escala de laboratorio empleando dos métodos
- ✓ Caracterización del producto principal por medio de FTIR
- ✓ Selección del método de obtención de quitosano
- ✓ Localización de la planta piloto
- ✓ Balance de masa del proceso.
- ✓ Dimensionamiento de los equipos.

- ✓ Análisis de la planeación sistemática de la distribución de la planta (S.L.P, por sus siglas en inglés de Systematic Layout Planning)
- ✓ Diseño de la planta piloto.

9 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1 Obtención de quitosano a escala de laboratorio

El procedimiento de extracción y obtención del quitosano, a partir de exoesqueletos de camarones, se llevó a cabo a escala de laboratorio empleando dos métodos propuestos por dos autores. Para fines de este trabajo hemos denominado los métodos de la siguiente manera:

- a) **Método A:** “Método de Agulló *et al.*”.
- b) **Método B:** “Método de Escobar *et al.*”.

9.1.1 “Método A” o “Método de Agulló”.

De manera general se muestra el procedimiento seguido a escala de laboratorio en la **Figura 4**.

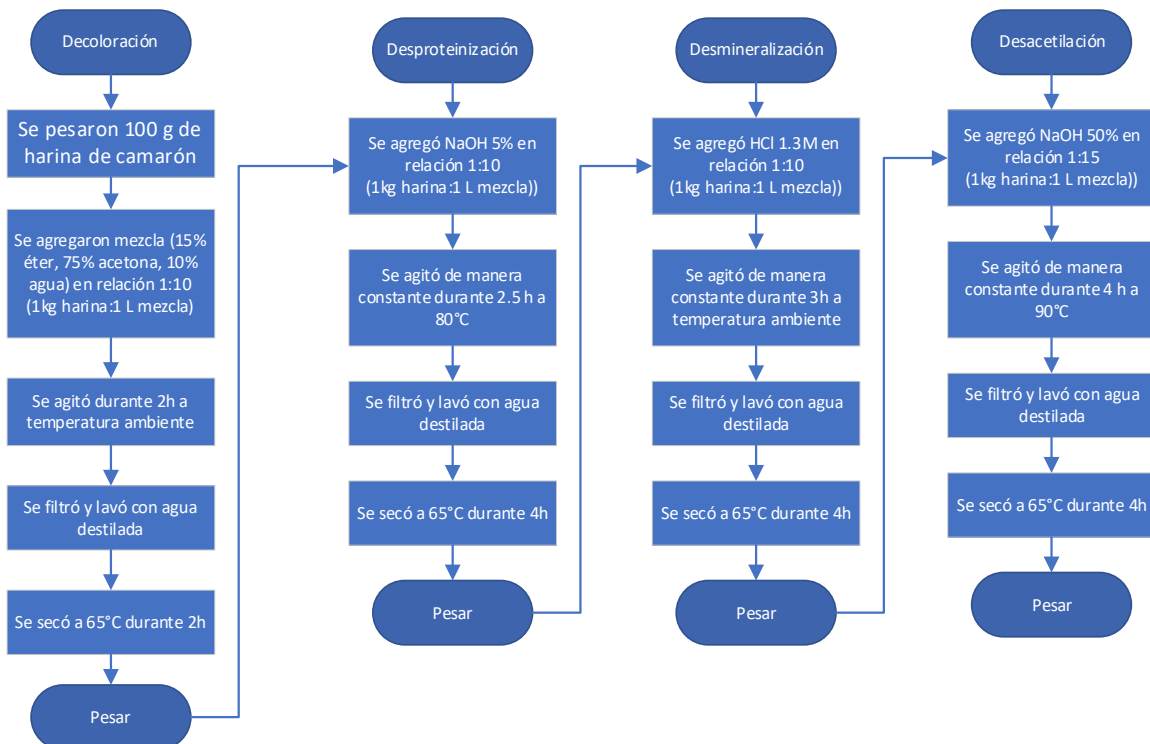


Figura 4. Diagrama de flujo del procedimiento seguido por medio del Método A

El procedimiento se llevó a cabo por duplicado, los resultados obtenidos se muestran a continuación en la **Tabla 7**.

Tabla 7. Resultados de la obtención de quitosano por medio del método A

Etapas	Datos		
	Réplica 1	Replica 2	Promedio
Materia prima (harina de camarón)	70.2 g	41.6 g	55.9
Decoloración	65.2 g	31.6 g	48.4
Desproteínización	45.0 g	22.6 g	33.8
Desmineralización (Quitina)	31.3 g	13.6 g	22.5
Desacetilación (Quitosano)	6.9 g	7.2 g	7.05
Rendimiento (%R)	22 %	52.9 %	37%

El rendimiento porcentual del quitosano obtenido fue calculado por medio de la **Ecuación 1**

$$\%R = \frac{m_{Quitosano}}{m_{Quitina}} \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

%R: es el Rendimiento porcentual

$m_{Quitina}$: es la masa obtenida de quitina en gramos

$m_{Quitosano}$: es la masa obtenida de quitosano en gramos

100: constante para expresar en porcentaje

Como se puede apreciar en la **Tabla 7**, los resultados obtenidos del rendimiento son bastante diferente en ambas réplicas. El promedio calculado del rendimiento para la obtención del quitosano es de 37.0 %

9.1.2 “Método B” o “Método de Escobar”.

De manera general se muestra el procedimiento seguido a escala de laboratorio en la **Figura 5**.

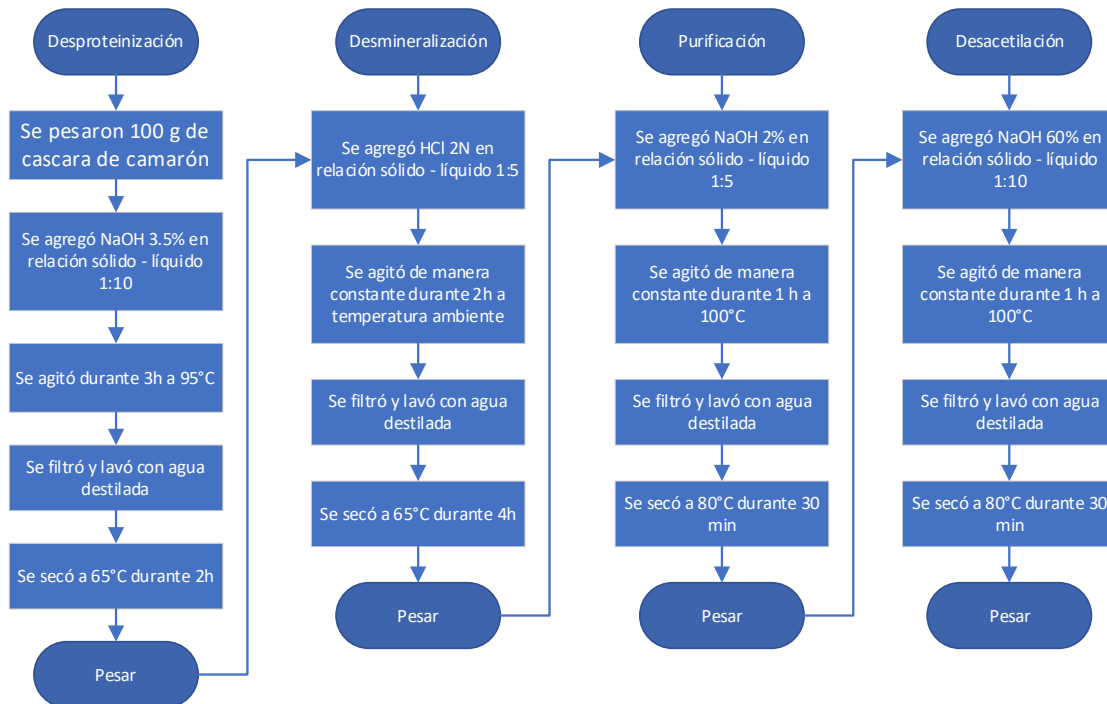


Figura 5. Diagrama de flujo del procedimiento seguido por medio del Método B

El procedimiento se llevó a cabo por duplicado, los resultados obtenidos se muestran a continuación en la **Tabla 8**.

El rendimiento obtenido para el quitosano fue calculado por medio de la **Ecuación 1**.

Como se puede apreciar en la **Tabla 8**, los valores del rendimiento obtenido para ambas réplicas no son muy diferentes, el valor promedio para el rendimiento de la producción del quitosano a escala de laboratorio es de 52.0 %. Este valor es bastante alto en comparación con el rendimiento del 37.0 %, obtenido por el Método A.

Por lo antes expuesto vamos a seleccionar el “Método B para realizar el escalamiento a planta piloto del proceso de producción de quitosano.

Tabla 8. Resultados de la obtención de quitosano por medio del método B

Etapas	Datos		
	Réplica 1	Replica 2	Promedio
Materia prima (Cascara de camarón)	82.3 g	90.6g	86.5
Desproteínización	63.3 g	81.6g	72.5
Desmineralización	42.3 g	72.6g	57.5
Purificación (Quitina)	20.3 g	42.6g	31.5
Desacetilación (Quitosano)	10.7 g	21.6g	16.2
Rendimiento (%R)	53.0 %	51.0 %	52.0 %

9.2 Caracterización el producto obtenido utilizando espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR).

Con el propósito de confirmar que el producto obtenido por ambos métodos efectivamente se trata del quitosano, se llevó a cabo la caracterización del producto obtenido a escala de laboratorio, para esto, primeramente, se obtuvo y analizó el espectro FTIR (espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier) de un estándar de quitosano. Seguidamente se obtuvieron y analizaron los espectros FTIR de las muestras de quitosano obtenidas a escala de laboratorio.

El quitosano es un polisacárido el cual tiene varias bandas de absorción características en el espectro FTIR, en la **Figura 6**, se pueden observar las tensiones de los diferentes grupos presentes en el quitosano, luego de su análisis espectral se asignaron de la siguiente manera:

3434 cm^{-1} : Tensión del grupo -OH

3266 cm^{-1} : Tensión del grupo N-H

3106 cm^{-1} y 2884: Tensión del grupo C-H

1649 cm^{-1} : Tensión de la Amida I (NH)

1562 cm^{-1} : Tensión del doblaje del grupo $-\text{NH}_2$ (estos grupos están presentes en la estructura del quitosano y en la quitina no aparece)

1316 cm^{-1} : Tensión de la amida III

1145 cm^{-1} : Tensión de enlaces C-O-C.

1073 y 1023 cm^{-1} : Tensión de vibraciones del esqueleto propias de su estructura piranosa.

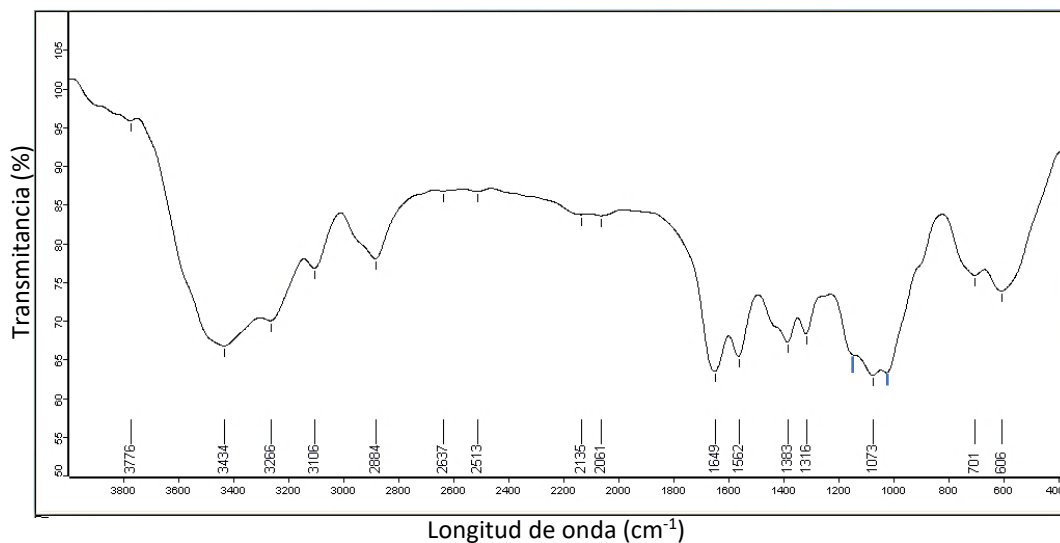


Figura 6. Espectro del estándar de quitosano

El espectro de la **Figura 6**, fue utilizado como espectro de referencia, y sus bandas de absorción se utilizaron para identificar y caracterizar el quitosano obtenido a escala de laboratorio.

Como se puede apreciar en la **Figura 7**, se observan las tensiones características del quitosano obtenido por medio del método A, en las longitudes de onda de 3422 cm^{-1} : Tensión del grupo $-\text{OH}$, 3266 cm^{-1} : Tensión del grupo N-H , 3095 cm^{-1} y 2911: Tensión del grupo C-H , 1646 cm^{-1} : Tensión de la Amida I (NH), 1575 cm^{-1} : Tensión del doblaje del grupo $-\text{NH}_2$ (estos grupos están presentes en la estructura del quitosano y en la quitina no aparece), 1319 cm^{-1} : Tensión de la amida III, 1155 cm^{-1} : Tensión de enlaces C-O-C., finalmente en 1100 y 1000 cm^{-1} : Tensión de vibraciones del esqueleto propias de su estructura piranosa.

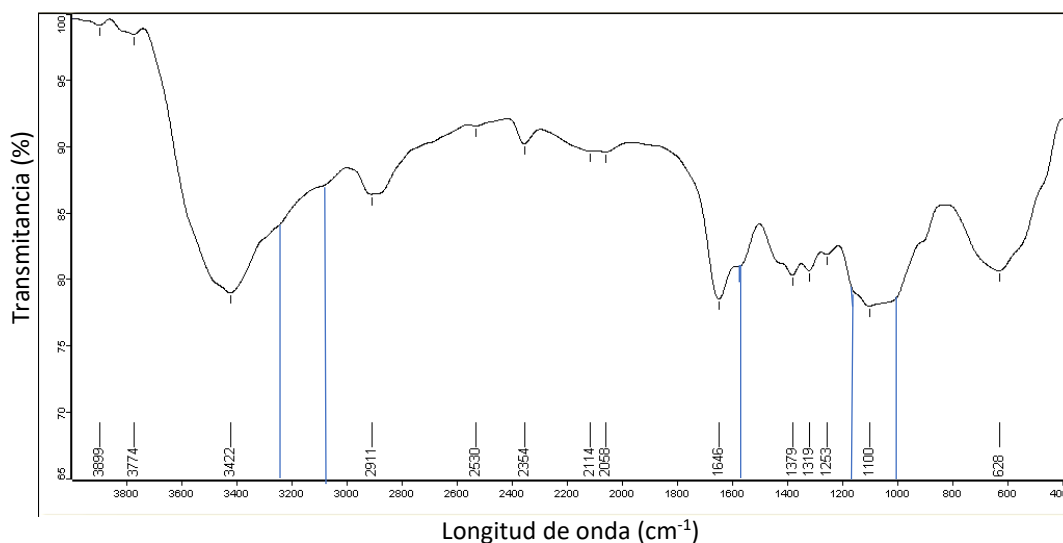


Figura 7- Espectro del quitosano obtenido mediante el método A

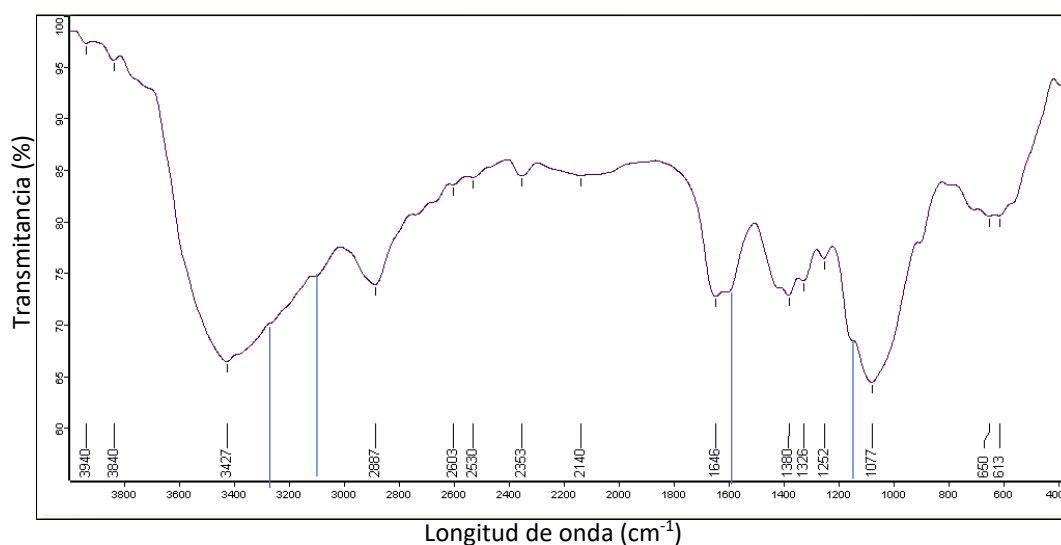


Figura 8. Espectro del quitosano obtenido por medio del método B

Como se puede observar en la **Figura 8**, se aprecian las tensiones características del quitosano obtenido por medio del método B, en las longitudes de onda de 3427 cm^{-1} : Tensión del grupo -OH, 3275 cm^{-1} : Tensión del grupo N-H, 3100 cm^{-1} y 2887: Tensión del grupo C-H, 1646 cm^{-1} : Tensión de la Amida I (NH), 1595 cm^{-1} : Tensión del doblaje del grupo -NH₂ (estos grupos están presentes en la estructura del quitosano y en la quitina no aparece), 1326 cm^{-1} : Tensión de la amida III, 1155 cm^{-1} : Tensión de enlaces C-O-C., y en 1077 cm^{-1} : Tensión de vibraciones del esqueleto propias de su estructura piranosa.

9.3 Selección del método de extracción y obtención de quitosano

Como se ha descrito en los acápites 9.1 y 9.2, el mejor rendimiento de quitosano obtenido a escala de laboratorio se encontró al utilizar el “Método B o Método de Escobar, *et al*”, por tal motivo se ha seleccionado este método para realizar el escalamiento a nivel de planta piloto del proceso de extracción y obtención de quitosano. Por otro lado se confirmó mediante espectroscopía FTIR de que el compuesto obtenido efectivamente se trata del quitosano.

9.4 Localización de la planta piloto

Debido a que los desechos de camarones para las pruebas a escala de laboratorio, fueron suministrados por la empresa LANOGOSTINOS DE CENTROAMÉRICA S.A, ubicada en Ranchería, Chinandega, km 149 carretera al Guasaule, 2 km Oeste. Se decidió que se podría proponer a la empresa la ubicación de la planta piloto en sus instalaciones, esto facilitaría la alimentación con materia prima a la planta. Posteriormente, en el futuro, la empresa podría optar por hacer un escalamiento a nivel industrial. En la **Figura 9**, se muestra la posible ubicación de la planta piloto y su localización en el país.



Figura 9. Localización de la planta piloto para producción de quitosano

9.5 Balance de masa

Para el escalamiento se tomó como base de cálculo la producción de 10 kg de Quitosano, tomando en consideración los resultados obtenidos a escala de laboratorio que se muestran en la **Tabla 8**, correspondientes al método B, se llevó a cabo el escalamiento de las cantidades a nivel de planta piloto, como se muestra en la **Tabla 9**.

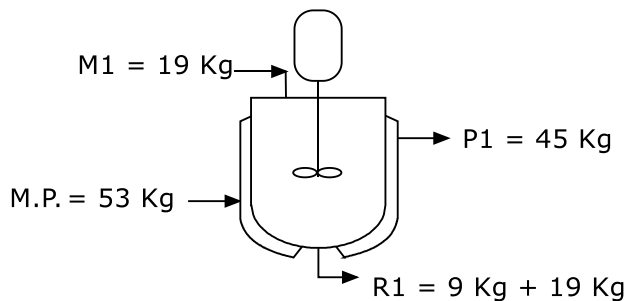
Tabla 9. Escalamiento de las etapas de producción de quitosano, escala de laboratorio-escala planta piloto

Etapas	Escala de Laboratorio		Escala Planta Piloto			
	Masa (Kg)	Volumen (L)	Masa (Kg)	Volumen (L)	Densidad (Kg/L)	Kg
1	0.0865	0.864 (NaOH 3.5%)	53	530 (NaOH 3.5%)	0.035 (NaOH 3.5%)	19 (NaOH 3.5%)
2	0.0725	0.362 (HCl 2N)	45	225 (HCl 2N)	0.072 (HCl 2N)	16 (HCl 2N)
3	0.0575	0.287 (NaOH 2%)	35	175 (NaOH 2%)	0.020 (NaOH 2%)	3 (NaOH 2%)
4	0.0315	0.313 (NaOH 60%)	19	189 (NaOH 60%)	0.600 (NaOH 60%)	113 (NaOH 60%)
5	0.0162		10			

Nota: 1: Materia prima (Cascara de camarón), 2: Desproteínización, 3: Desmineralización, 4: Purificación (Quitina). 5: Desacetilación (Quitosano)

posteriormente se realizó el balance de masa a como se muestra a continuación:

9.5.1 Desproteínización (Reactor 1)



Donde:

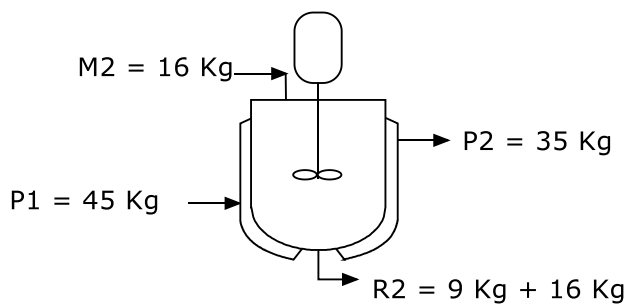
M.P.= Materia prima

M1: Masa de NaOH 3.5%

P1: Producto del proceso 1

R1: Residuos del proceso 1

9.5.2 Desmineralización (Reactor 2)



Donde:

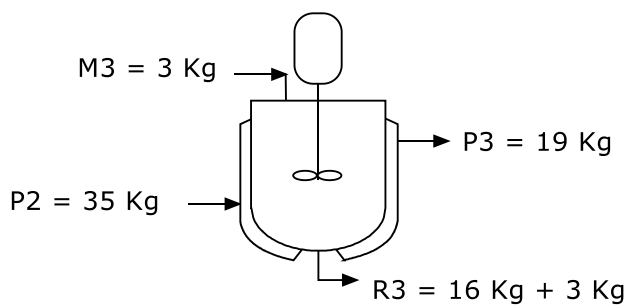
P1: Producto en proceso 1

M2: Masa de HCl 2N

P2: Producto del proceso 2

R2: Residuos del proceso 2

9.5.3 Purificación (Reactor 3)



Donde:

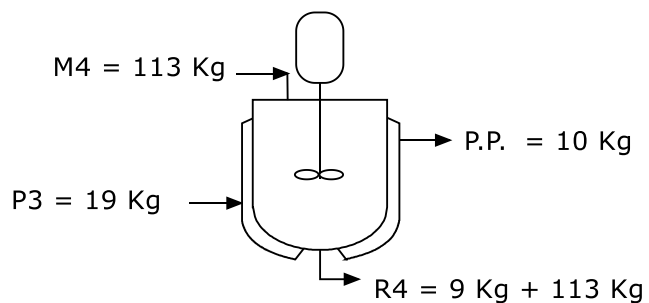
P2: Producto del proceso 2

M3: Masa de NaOH 2%

P3: Producto del proceso 3 (Quitina)

R3: Residuos del proceso 3

9.5.4 Desacetilación (Reactor 4)



Donde:

P3: Producto del proceso 3

M4: Masa de NaOH 60%

P.P.: Producto Principal (Quitosano)

R4: Residuos del proceso 4

9.6 Dimensionamiento de los equipos

Para llevar a cabo el escalamiento se empleó el principio de similaridad, el cual se refiere a la idea de que un modelo o sistema físico se puede escalar en tamaño sin cambiar sus propiedades fundamentales y su comportamiento. Esto significa que si se cambia el tamaño de un objeto manteniendo las proporciones entre sus componentes, su comportamiento seguirá siendo el mismo. El principio de similaridad se aplicó al proceso de obtención de quitosano de la siguiente manera:

9.6.1 Reactores

A nivel de laboratorio se utilizó un beaker con capacidad de 1200 ml (1.2 L), en la extracción y obtención de quitosano. En la etapa que más volumen se utiliza corresponde a la etapa de desproteínización, ya que el beaker contiene tanto la materia prima (86.5 g) como el volumen de NaOH 3.5%. (865 ml), ocupando en su conjunto un volumen total de 1000 mL, quedando libres 200 ml, lo cual es suficiente para facilitar la agitación adecuada durante el tiempo de mezclado de 3 horas a una temperatura de 95°C.

De acuerdo a lo antes mencionado, se realizó el escalamiento para determinar el volumen total del reactor (ver **Tabla 10**).

Tabla 10. Dimensionamiento del tanque reactor

Materia prima (Kg)	Volumen de reactivo (L)	Volumen total ocupado (L)	volumen de recipiente (L)
0.0865	0.865	1	1.2
53	530	617	741

El equipo para llevar a cabo el proceso debe tener un volumen mínimo de 741 L, considerando el suficiente espacio para permitir la agitación de la mezcla sin que haya

un rebalse. De acuerdo al proceso y los reactivos que se utilizan se pueden considerar un tanque reactor de acero inoxidable o de plástico. Considerando los costos y que además, es un proceso a nivel de planta piloto se recomienda un tanque de plástico. En el mercado local el tanque con volumen aproximado al calculado es el de 750 L. por lo cual, se propone utilizar este para los propósitos antes mencionados.

Debido a que los volúmenes empleados en las etapas siguientes del proceso de obtención de quitosano son menores al de la primera etapa, se ha tomado como referencia el tanque reactor descrito en esta primera etapa de desproteínización, pudiendo utilizar para las etapas siguientes, reactores de igual capacidad.

9.6.2 Tanques de almacenamiento de reactivos

En el proceso de producción de quitosano se requiere la adición de cuatro tanques de almacenamiento de cada reactivo (NaOH 3.5%, HCl 2N, NaOH 2% y NaOH 60%). En la **Tabla 9** se pueden observar los volúmenes de cada uno de los reactivos a utilizar en cada una de las etapas. De acuerdo con los cálculos realizados las capacidades de cada tanques serán: 750 L para el NaOH 3.5%, de 250 L para el HCl 2N, dos tanques más de 250 L, para el NaOH 2% y NaOH 60%, respectivamente.

9.6.3 Tanques de almacenamiento de agua

Es necesario contar con un tanque para el almacenamiento y distribución a agua, tanto para la preparación de reactivos como para el procedimiento de lavado. Tomando en cuenta la cantidad total de reactivos y la cantidad de agua destilada necesaria para realizar el lavado durante la filtración, el tanque tendrá una capacidad de 5000 L. Además se dispondrá de una bomba eléctrica de 0.5 HP, para el transporte del agua a los tanques de almacenamiento de reactivos y para abastecer de agua destilada el tanque reactor para el lavado del material.

9.6.4 Tanques de tratamiento de desechos líquidos

Los desechos líquidos que provienen de las etapas de producción se colectarán en un tanque de polietileno de 5000 litros, en el cual se llevará a cabo la neutralización de los efluentes antes de ser desechados al drenaje.

9.6.5 Otros equipos menores

En todas las etapas de producción, desde la recepción de materia prima hasta la obtención del quitosano, se hace necesaria la utilización de otros equipos menores, como el uso de una balanza para pesar las cantidades de materia prima y el uso de bombas eléctricas para el bombeo de líquidos. Por lo cual utilizaremos una balanza con capacidad máxima de 100 kg y cuatro bombas eléctricas de 0.5 HP. A demás para la interconexión de todo el sistema se deben considerar el empleo de cables eléctricos, paneles y breakers, y otros materiales tales como tubos PVC, tubos T, codos, válvulas, etc. Los cuales se describen con mayor detalle en la sección de estudio de costo de inversión.

9.7 Análisis de la planeación sistemática de la distribución en planta (S.L.P.)

Con el objetivo de determinar las relaciones entre cada una de las actividades de la planta piloto, se realizó el diagrama relacional de las actividades, la aplicación de este método permitió diseñar la distribución del proceso de producción de quitosano de manera óptima, donde es altamente reducido el tiempo de transporte de materia prima, reactivos, productos en proceso y producto terminado; así como la distancia recorrida por éstos. Los resultados de este análisis se representan en la tabla o diagrama de Relaciones (**Figura 10**), en la que quedan reflejadas las actividades y sus relaciones mutuas. Además, se evaluó la importancia de la proximidad entre las actividades, apoyándose sobre una codificación apropiada. La escala de valores para la proximidad de las actividades se indica por medio de letras, y las relaciones se establecen por medio de líneas, a como se establece en la **Tabla 11**.

Tabla 11. Valores de proximidad codificados y relaciones de líneas

Relación	Calificación de cercanía	Color de líneas
Absolutamente necesaria	A	Rojo
Especialmente importante	E	Azul
Importante	I	Verde
Ordinario	O	Naranja
No importante	U	Negro discontinuo
No deseable	X	Ninguna

Los motivos de la proximidad de las distintas actividades que se colocan en la parte inferior de cada celda del diagrama de relaciones y se indican mediante una codificación numérica a como se muestra en la **Tabla 12**

Tabla 12. Motivos de la proximidad entre actividades

Motivos de la proximidad	Codificación
Secuencia de flujo de trabajo	1
Por abastecimiento	2
Por necesidad de residuos generados	3
Por cambios en la etapa del proceso	4
Por seguridad	5
No es necesario/no guarda relación con las actividades	6

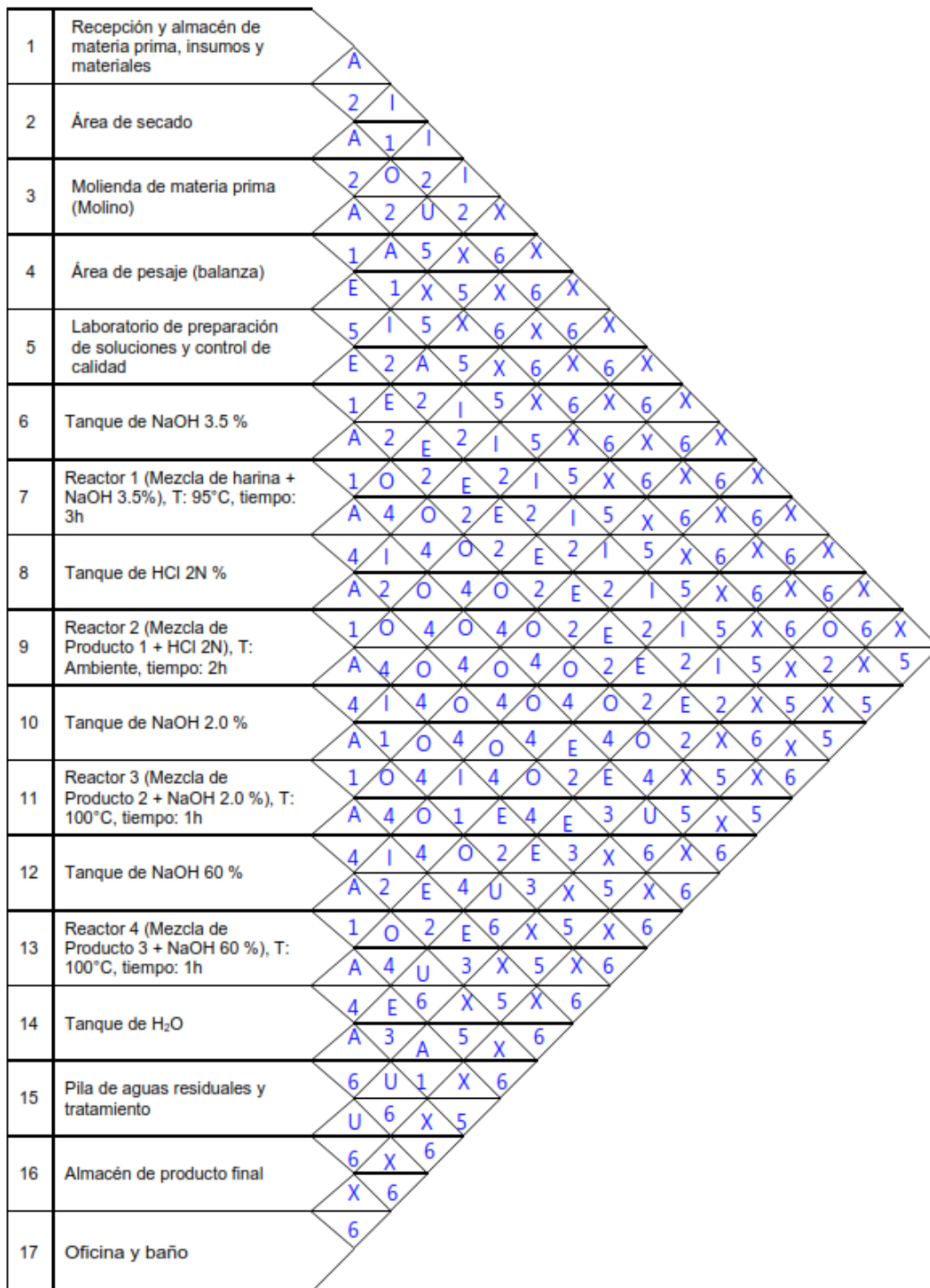


Figura 10. Diagrama relacional de las actividades

El resumen del Diagrama Relacional, en el cual muestran las actividades relacionadas de acuerdo a los valores de proximidad; se muestra en le **Tabla 13**.

Tabla 13. Resumen del diagrama relacional

Calificación de cercanía	Motivos de la proximidad	Relaciones
A	1	(3,4); (6,7); (8,9); (10,11); (12,13);
	2	(1,2); (2,3);
	4	(7,8); (9,10); (11,12); (13,14);
	6	(14,15)
E	1	(5,6);
	2	(5,7); (11, 14); (5,9); (5,10); (9, 14); (5,11); (5,12); (7,14); (5,13); (5,14); (5,15)
	3	(13,15); (5,8); (11, 15); (9, 15); (8,15); (7, 15);
	5	(4,5)
I	1	(1,3); (9,11); (9,13);
	2	(4,6); (7, 9); (11,13); (1,4); (1,5); (4,8); (4,9); (4,10); (4,11); (4,12); (4,13); (4,14); (4,15)
O	2	(2,4); (2,16)
	4	(6,8); (8,10); (10,12); (12, 14); (6,9); (7,10); (8,11); (9,12); (10,13); (6,10); (7,11); (8,12); (10,14); (6,11); (7,12); (8,13); (8,12); (7,13); (8,14); (6,13); (6, 14); (6,15)
U	5	(2,5);
	6	(15,16); (14,16); (12,15); (10,15); (7,16)
X	5	(3,6); (2,6); (3,7); (12,16); (13,17); (3,8); (11,16); (3,9); (10,16); (3,10); (9,16); (3,11); (8,16); (3,12); (3,13); (6,16); (3,14); (5,16); (3,15); (5,17); (3,16); (3,17); (2,17); (1,17)
	6	(16,17); (15,17); (14,17); (1,6); (2,7); (12,17); (1,7); (2,8); (11,17); (1,8); (2,9); (10,17); (1,9); (2,10); (9,17); (1,10); (2,11); (8,17); (1,11); (2,12); (7,17); (1,12); (2,13); (6,17); (1,13); (2,14); (4,16); (1,14); (2,15); (4,17); (1,15); (1, 16)

En las **Tablas 11 y 12**, se encuentran establecidos los significados de las letras de calificación de cercanía y de los valores numéricos de los motivos de proximidad.

El resumen del diagrama relacional, muestra las actividades relacionadas de acuerdo a los valores de proximidad; éste permite elaborar el diagrama relacional de hilos (**Figura 11**), el cual es el primer bosquejo de la distribución de planta piloto.

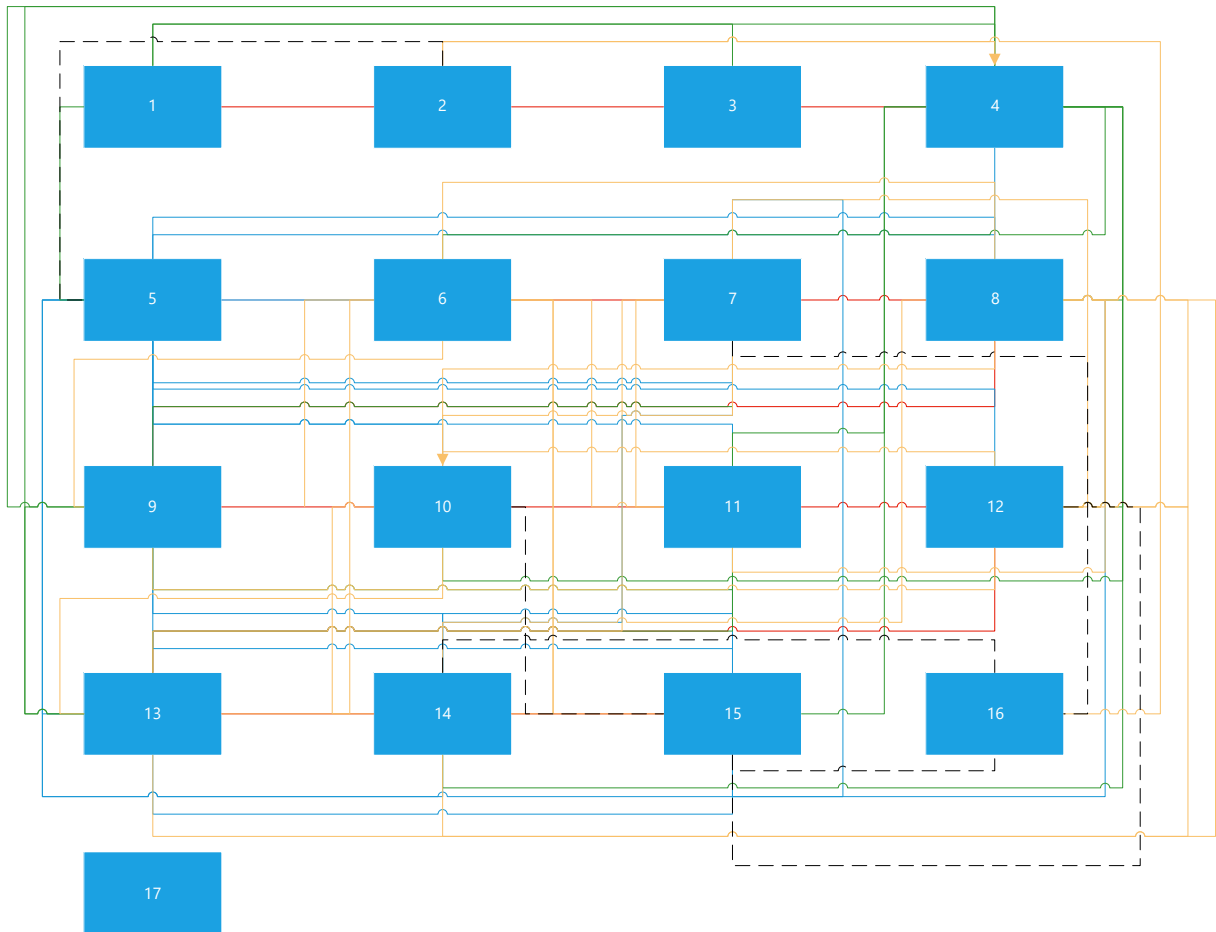


Figura 11. Diagrama relacional de hilos del proceso de producción de Qitosano

Como resultado del diagrama relacional de las actividades y su resumen, así como del diagrama relacional de hilos, se obtuvo la distribución que tendría la planta piloto para la producción de qitosano. A continuación, en la **Figura 12** se muestra el diseño simplificado de la distribución de la planta piloto.

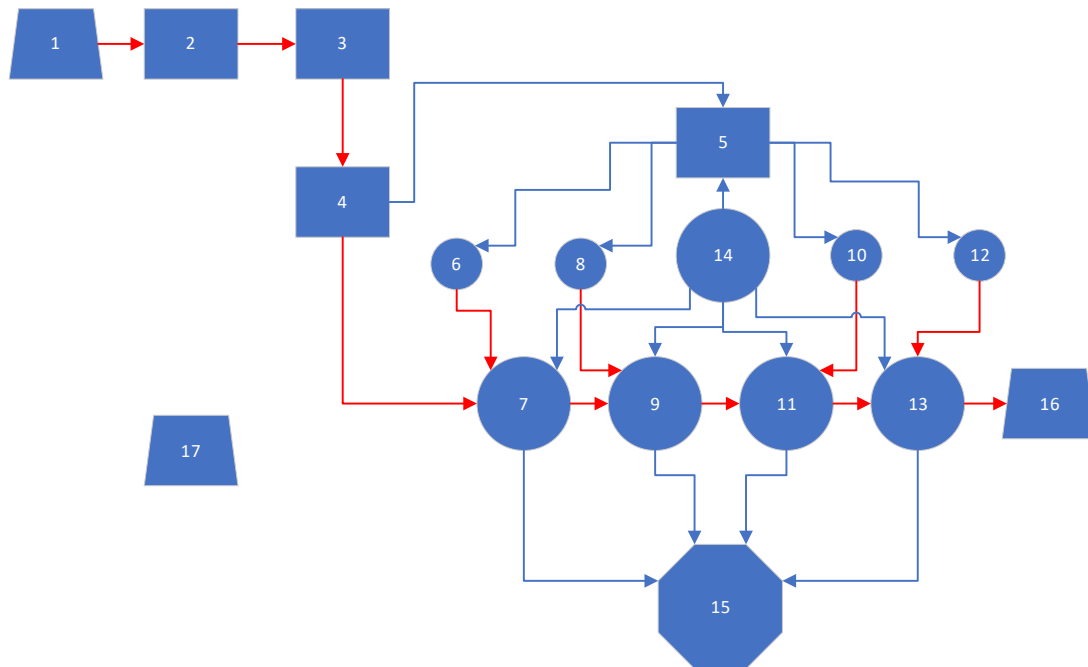


Figura 12. Diseño simplificado de la distribución de la planta piloto

9.8 Proceso tecnológico de producción de quitosano.

A continuación, se describe todo el proceso tecnológico de extracción de quitosona utilizando como materia prima caparazones o cascara de camarón. Lo cual incluye la recepción y pretratamiento de la materia prima hasta la obtención y almacenamiento del Quitosano como producto final.

9.8.1 Preparación de reactivos

Los reactivos son preparados por personal del laboratorio, directamente en los tanques de almacenamientos de reactivos, al agua necesaria para realizar la dilución de éstos proviene del tanque de almacenamiento de agua destilada. A continuación, en la **Tabla**

14, se detallan las cantidades de reactivos y agua destilada necesarias para preparar NaOH 3.5%, HCl 2N, NaOH 2% y NaOH 60%.

Tabla 14. Preparación de reactivos utilizados en el proceso de producción de Quitosano

Reactivo	Cantidad de reactivo	Volumen de disolución	Concentración
NaOH	18.55 Kg	530 L	3.5 % (m/v)
HCl	673.19 L	225 L	2 N
NaOH	3.50 Kg	175 L	2 % (v/v)
NaOH	113.40 Kg	189 L	60 % (m/v)

9.8.2 Obtención, lavado y pesaje de materia prima

La materia prima será obtenida de la empresa LANOGOSTINOS DE CENTROAMÉRICA S.A, ubicada en Ranchería, Chinandega, km 149 carretera al Guasaule, 2 km Oeste. La materia prima consiste de desechos de camarones los cuales comprenden la cabeza y la cola del camarón.

Una vez que la materia prima llega a las instalaciones de la planta, se procede a lavar con agua destilada o agua libre de cloro, con el propósito de retirar la materia orgánica adherida, seguidamente se secará, pudiendo ser secada al aire libre (mediante radiación solar) durante 8 horas o en una estufa a 40°C por 2 horas, a continuación, será triturada y tamizada hasta obtener tamaños de partículas entre 0,8 mm y 1,5 mm.

La materia prima seca será almacenada dentro de bolsas plásticas, colocadas de forma manual sobre la balanza de capacidad máxima 100 kg y pesadas hasta obtener la cantidad necesaria para alimentar el primer tanque reactor (53 kg).

9.8.3 Diagrama de flujo

A continuación, en la **Figura 13**, se muestra el diagrama de flujo del proceso obtención de 10 Kg de Quitosano a partir de 53 kg de caparazones o cascara de camarón.

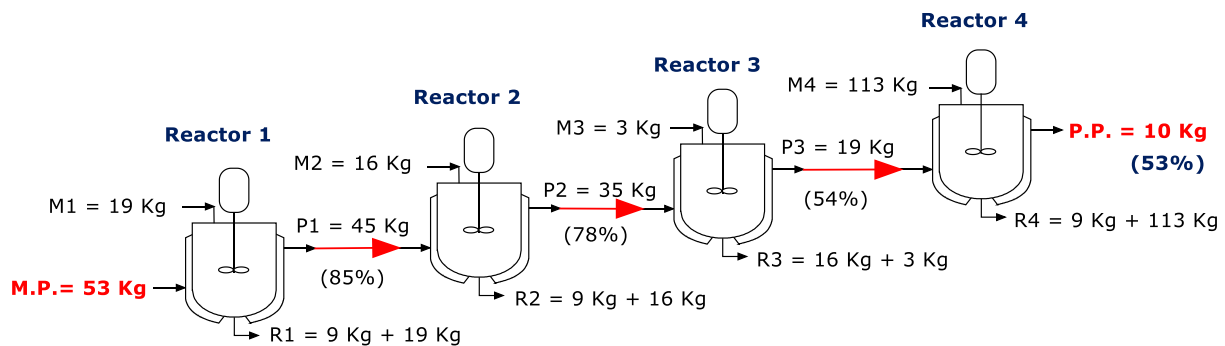


Figura 13. Diagrama de flujo del proceso de obtención de Quitosano a partir de cáscaras de camarón

A como se muestra en la **Figura 13**, el proceso de obtención de quitosano consta de cuatro etapas, para lo cual se ha empleado un reactor por cada una. Estas etapas consisten de:

En el reactor 1 se lleva a cabo desproteinización de la materia prima, en el cual se agrega NaOH 3.5 % con agitación constante durante 3h a una temperatura de 95°C, seguidamente en el reactor 2, se efectúa la desmineralización, para lo que se adiciona HCl 2N con agitación constante durante 2h a una temperatura de 36°C, a continuación en el reactor 3, se realiza la purificación, por medio de la adición de NaOH 2 % con agitación constante durante 1h a una temperatura de 100°C en el cual ya se encuentra extraída la quitina, y finalmente tenemos el reactor 4, en el cual ocurre la desacetilación de la quitina, para obtener el quitosano, para lo que se requiere agregar NaOH 60 % con agitación constante durante 1h a una temperatura de 100°C. En cada etapa se realiza un procedimiento de filtración, con lavados empleando agua destilada, en le etapa del reactor 2, se realizan los lavados hasta obtener un pH neutro, en el resto de las etapas se realizan únicamente 3 lavados. El sólido obtenido en cada etapa es secado y pesado. El producto del proceso obtenido en la etapa 1, alimenta al reactor 2, el producto obtenido

en la etapa 2, alimenta al reactor 3, y el producto del reactor 3, alimenta al reactor 4, en el cual se obtiene el quitosano.

Durante cada etapa tiene lugar a la generación de efluentes los cuales son básicos, estos son recogidos en un tanque de recolecta de desechos para su posterior tratamiento. y disposición final. El producto principal obtenido, el cual consiste del Quitosano es secado a 80°C y pesado para su almacenamiento. En la **Figura 14**, se muestra el diseño de la planta piloto para la obtención de quitosano a partir de cáscaras de camarón.

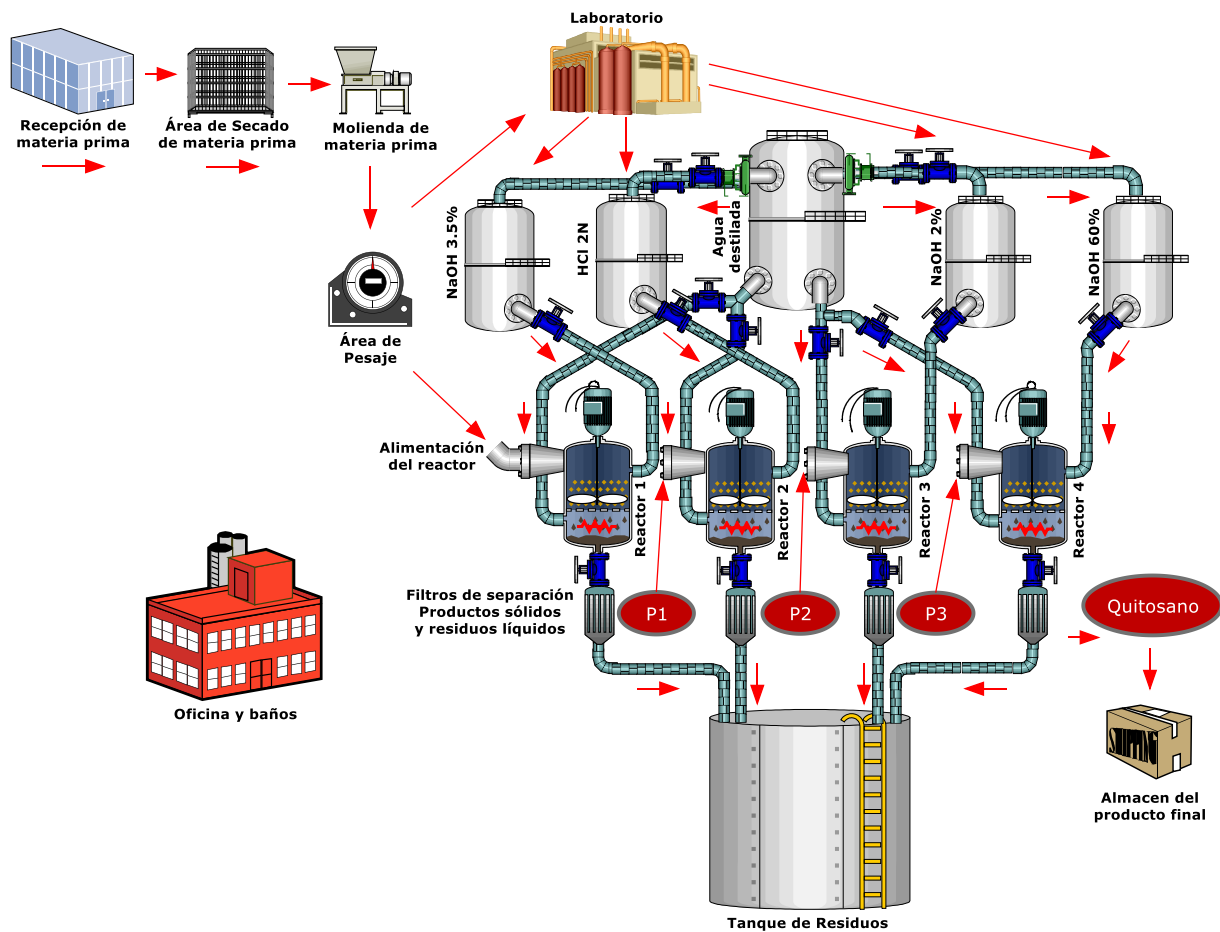


Figura 14. Diseño de la Planta Piloto para producción de Quitosano

9.9 Costo de inversión para el montaje de la planta piloto

9.9.1 Costos de Reactivos

Se realizó el estudio de costo del consumo de reactivos requerido para la producción de 10 Kg de Quitosano. A continuación, en la **Tabla 15**, se muestra en detalle el costo de la cantidad de cada reactivo a utilizar.

Tabla 15. Costo de reactivos necesarios para producir 10 Kg de Quitosano

Reactivos	Concentración	Cantidad a consumir	Precio en US \$
NaOH	3.5 % (m/v)	18.55 Kg	790.23
HCl	2 N	673.19 L	17,272.64
NaOH	2 % (v/v)	3.50 Kg	149.10
NaOH	60 % (m/v)	113.40 Kg	4,830.00
		Sub total	23,041.97

Precio tomado de: <https://www.fishersci.com>

9.9.2 Costos de tanques, equipos y accesorios

A continuación, en la **Tabla 16**, se muestran los precios de los tanques, equipos y accesorios que como mínimo se requieren para el montaje de la planta piloto,

Tabla 16. Costo de tanques, equipos y accesorios

Descripción	Capacidad	Precio unit. US\$	Cantidad	Precio en US \$
Tanque	5000 L	1,263.25	2	2,526.50
Tanque	750 L	236.50	2	473.00
Tanque	250 L	489.43	3	1,468.29
Bascula Ohaus	100 Kg	1,378.00	1	1,378.00
Mezclador eléctrico	2600W	916.00	4	3,664.00
Bomba centrífuga	½HP	101.98	4	407.93
Molino SPEX	100 g	25,850.00	1	25,850.00
Válvula	¼"	4.46	16	71.39
Tubos"	¼"	5.13	11	56.42
Tee ¼"	¼"	0.38	24	9.19
Tarro de pega PVC	-	1.90	10	18.95
Teflón	½"	0.27	5	1.36
Breaker	1x20 Amp	4.74	2	9.48
Alambre sólido	#12 rojo	0.21	10	2.13
Alambre sólido	#12 blanco	0.21	10	2.13
Tubo conduit	½ "	0.33	5	1.66
Unión conduit	½ "	0.07	5	0.36
Curvas conduit	½ "	0.08	10	0.82
Conector conduit	½"	0.07	6	0.43
Caja 4x4 Emp.	-	0.40	2	0.81
Tapa caja 4x4	-	0.31	2	0.62
Subtotal				35,943.45

Precios tomados de: <https://www.fishersci.com>, <https://www.sinsa.com.ni/>, y ferreterías del mercado local

9.9.3 Costo mínimo de inversión aproximado para el montaje de la planta piloto

En la **Tabla 17** se muestra un resumen de los costos de los materiales y accesorios, sistema eléctrico, equipos mayores y menores, mano de obra, para el montaje de la planta piloto

Tabla 17. Costo aproximado para el montaje y funcionamiento de la planta piloto

Ítem	Descripción	P/Total (USD)
1	Reactivos	23,041.97
2	Equipos mayores, tanques y accesorios	35,943.45
3	Mano de obra	1,500.00
Total		60,485.42

De acuerdo a la **Tabla 17**, se necesita invertir USD **60,485.42** para el montaje de la planta para la obtención de quitosano a nivel piloto. Sin embargo, a estos costos se le puede agregar un 20% por imprevistos. Cabe señalar que en este estudio de costo no se han considerado las instalaciones de la recepción, laboratorio, oficina, baño, y lugar de almacenamiento. Únicamente se ha considerado en este cálculo la inversión mínima requerida para el proceso de producción.

10 CONCLUSIONES

Se llevó a cabo de manera satisfactoria la extracción y obtención de quitosano a escala de laboratorio, por medio de dos métodos diferentes, como son el método de Escobar, *et al*, y el método de Agulló, *et al*,

El producto obtenido por ambos métodos se caracterizó mediante espectrometría FTIR, conformándose que se logró obtener el producto principal deseado. El espectro del producto obtenido presenta las bandas de absorción características del quitosano, el cual coincide con el espectro obtenido por Escobar *et al*. (2013), y Peniche *et al*. (2001).

Cuando se empleó el método de Agulló, *et al*, se obtuvo un 37 % de rendimiento para la obtención de quitosano. Sin embargo, al emplear el método de Escobar, *et al*, se obtuvo un rendimiento del 52%, el cual se encuentra próximo a los resultados obtenidos por Paz *et al* (2012), considerándose adecuado para una transformación sintética exitosa. Por lo cual se seleccionó el método de Escobar, *et al*, para el escalamiento a nivel de planta piloto.

La localización de la planta piloto en las propias instalaciones de la industria generadora de la materia prima es clave para disminuir los costos de transporte de la misma hasta la planta piloto.

El balance de masa permitió estimar tanto las entradas requeridas para obtener el producto principal deseado, así como el estimado de residuos generados, lo que facilitará su posterior tratamiento y disposición final.

El escalamiento del proceso de extracción y obtención de quitosano a nivel de planta piloto se realizó en base a la obtención de 10 Kg del producto principal deseado. dimensionando los equipos, por medio del escalamiento de los equipos utilizados a nivel de laboratorio, la parte medular del proceso consta de cuatro reactores, en los cuales se

Lleva a cabo la desproteínización, desmineralización, purificación y desacetilación, etapas necesarias para la obtención del quitosano.

El análisis de la planeación sistemática de la distribución en planta, permitió determinar las necesidades de aproximación de una actividad con otra, del proceso de producción de quitosano, y de esta manera tener un diseño preliminar de la planta piloto.

El establecimiento del proceso tecnológico y el diseño de la planta piloto, permite tener una visión más aproximada de la planta y de esta manera tener una guía de trabajo para el posterior montaje y evaluación del proceso de producción.

En base a la distribución y diseño propuesto de la planta piloto se logró determinar un aproximado del costo de inversión requerido para el montaje de la planta piloto, encontrándose que se requieren aproximadamente una inversión inicial mínima de USD 60,485.42, la cual se podría amortizar en un mediano plazo a partir de que la planta entre en operación. En función de los resultados obtenidos a escala piloto, se podría optar por realizar un nuevo escalado a nivel industrial. Por lo cual se puede afirmar que el escalamiento a nivel de planta piloto es factible.

11 RECOMENDACIONES

Llevar a cabo un estudio de optimización de los métodos empleados en el presente trabajo, con el objetivo de determinar las variables adecuadas que permitan obtener un mejor rendimiento del proceso de obtención de quitosano.

Ensayar otros métodos para la obtención de quitosano a escala de laboratorio, evaluar su rendimiento, realizar el escalamiento a nivel de planta piloto, y estimar el costo de inversión para terminar si resulta ser más factible que la planta piloto propuesta en el presente trabajo.

12 BIBLIOGRAFIA

- Escorcía, D., Hernández, D., Sánchez, M., & Benevente, M. (1970). Diseño y montaje de una planta piloto para la extracción de quitina y proteínas. *Nexo Revista Científica*, 22(2), 45–55. <https://doi.org/10.5377/nexo.v22i2.42>.
- Polevoda, B., & Sherman, F. (2003). N-terminal Acetyltransferases and Sequence Requirements for N-terminal Acetylation of Eukaryotic Proteins. *Journal of Molecular Biology*, 325(4), 595-622. [https://doi.org/10.1016/S0022-2836\(02\)01269-X](https://doi.org/10.1016/S0022-2836(02)01269-X).
- Agulló, E., Mato, R., & Goycoolea, F. (2004). Quitina y Quitosano: obtención, caracterización y aplicaciones. *Programa CYTED, CIAD, AC, Fondo Editorial de La Pontificia Universidad Católica Del Perú, Perú., January 2016*, 101–154.
- Velásquez, C. L. (2006). Quitina y quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro. 1(2), 15.
- Díaz, L. (2007). Nuevo método para la obtención de quitina. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 25(0378–0524), 35–41.
- Paz N., Fernández M., Darío O., Nogueira N., García C., Pérez D., Tobella J., Montes de Oca Y., Díaz D., (2012) “Optimización del proceso de obtención de quitosano derivada de la quitina de langosta”. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. Volumen 13(3), Páginas 103 – 116.
- Anaya, A., & Pedroza, H. (2008). núms.1-2,1999 31 *Tecnol. Ciencia Ed. (IMIQ)*, 23(1), 31–39.
- Escorcía, D., Hernández, D., Sánchez, M., & Benevente, M. (2009). Diseño y montaje de una planta piloto para la extracción de quitina y proteínas. *Nexo Revista Científica*, 22(2), 45–55. <https://doi.org/10.5377/nexo.v22i2.42>.

H Hernández, C., E Águila, A., O Flores, A., E L Viveros, N., & E Ramos, C. (2009). Obtención y caracterización de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón. *Superficies y Vacío*, 22(3), 57–60

Lalaleo Córdova, L. P. (2010). *Desarrollo de un método para la obtención de Quitosano a partir de caparazones de camarón (Penaeus vannamei), utilizando un agente reductor químico* [Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería Bioquímica]. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/1093>.

Ramírez, M., Rodríguez, A., Alfonso, L., Peniche, C., Experimental, E., Nacional, I., & Agrícolas, D. C. (2010). *BA002704RV262-269.pdf*. 27, 8. Nacional, U., San, M. D. E., & Bioquímica, E. A. P. D. E. F. Y. (2013). *Inmovilización enzimática de lipasa mediante el agente quitosano obtenido del exoesqueleto de cangrejo cancer setosus*.

Ministry of Health, R. of I. (2011). No Title p . Phys. Rev. E.

Berghoff, C. F. (2011). *Desarrollo y caracterización de matrices compuestas quitosano/polímero sintético para regeneración de tejido óseo* [Tesis, Universidad Nacional de La Plata]. <https://doi.org/10.35537/10915/2769>

Mármol, Z., Páez, G., Rincón, M., Araujo, K., & Aiello, C. (2011). Chitin and Chitosan friendly polymer . A review of their applications. *Revista Tcnocientifica URU*, August 2016, 53–58.

Mauricio, C., Wilfredo, M., & Mauricio, M. (2011). No Title p [universidad de cartegena]. In *Phys. Rev. E*. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7130/1/LUZARDO-BUIATRIA-2017.pdf>

Lorduy, M. C., Bolívar, W. M., & Marzola, M. M. (2011). *Diseño de un proceso económico y competitivo para la extracción de quitina y producción de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón*.

<https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/132/TRABAJO%20FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Nacional, U., San, M. D. E., & Bioquímica, E. A. P. D. E. F. Y. (2013). *Inmovilización enzimática de lipasa mediante el agente quitosano obtenido del exoesqueleto de cangrejo cancer setosus*.

Escobar Sierra, D., Ossa Orozco, C., & Alexander Ospina, W. (2013). Optimización de un protocolo de extracción de quitina y quitosano desde caparazones de crustáceos. *Scientia et Technica*, 18(1), 260–266. <https://doi.org/10.22517/23447214.7555>

Ramírez Castro, A. M., Escobar Sierra, D. M., & Vergara Castrillón, N. A. (2013). Determinación de la relación entre el porcentaje del grupo amino y el grado de desacetilación del quitosano. *Revista de Ciencias*, 18(1), 73–88. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcien/v18n1/v18n1a06.pdf>.

David, M., Lira, P., Antonio, L., & Hernández, A. (2014). *Universidad nacional de ingeniería facultad de ingeniería química ingeniería química*. uiversidad de ingieneria.

Lopez, P. (2014). *obtencion de quitosano a partir de desechos de exoesqueleto d camaron titi(xiphopenaeus riveti) para eldesarro de la pelicula polimerica plastificadas con glicerina*. santiago de cali.

Tafur, L., & Quevedo, R. (2014). *Alternativa para el tratamiento de aguas residuales cromadas con quitosano extraído del exoesqueleto de camaron* [Universidad del Tolima].

<http://dx.doi.org/10.1016/j.biochi.2015.03.025><http://dx.doi.org/10.1038/nature10402><http://dx.doi.org/10.1038/nature21059><http://journal.stainkudus.ac.id/index.php/equilibrium/article/view/1268/1127><http://dx.doi.org/10.1038/nrmicro2577><http://>

Calvache, P. F. L. (2014). *Obtención de quitosano a partir de desechos del exoesqueleto de camarón tití (xiphopenaeus riveti) para el desarrollo de películas poliméricas*

plastificadas con glicerina [Universidad de San Buenaventura - Cali]. http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/bitstream/10819/3127/1/Obtencion_quitosano_desechos_lopez_2014.pdf.

Palma Lira, M. D., & Ampié Hernández, L. A. (2014). *Remoción de cobre y zinc de soluciones acuosas usando columnas empacadas con quitosano* [Other, Universidad Nacional de Ingeniería]. <https://ribuni.uni.edu.ni/1157/>

Peniche C., Argüelles W., Gallardo A., Elvira C., San Román J., (2001) “Quitosano: Un polisacárido natural biodegradable y biocompatible con la aplicaciones en biotecnología y biomedicina”. *Revista de plásticos modernos*, volumen 81, número 535, páginas 81 – 90.

Concepción, L., Tutores, B., & Chong, L. (2019). *exoesqueletos de crustáceos* Academic Department of Chemical Engineering Technological proposal to produce chitin and chitosan from.

Regalado, V., Cerros, K., & Rodriguez, W. (2021). No. UNAN-LEON.

Camaron.ebizar.com (2022). *Camaron sin desperdicio: champú de cáscaras de camarón Clúster Camarón* [en línea] Disponible en: <https://camaron.ebizar.com/camaron-sin-desperdicio-champu-de-cascaras-de-camaron/> [Consultado el 11 de agosto de 2022].

Colindres, E., Mongradon, Y., & Sayda, A. (2015). *Ingeniería en Alimentos UNAN-León* 2015.

Muñoz Equihua, E. S. (2016). Escalamiento del proceso de obtención de fructooligosacáridos a partir de jugo de caña mediante síntesis enzimática con células permeabilizadas de *Candida apicola*. *Centro de Investigación y Asistencia En Tecnología y Diseño Del Estado de Jalisco,A.C.*, 9(17), 117. https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/384/1/Eduardo_Sharii_Muñoz_Equihua.pdf

- Nacional, U., San, M. D. E., & Bioquímica, E. A. P. D. E. F. Y. (2013). Inmovilización enzimática de lipasa mediante el agente quitosano obtenido del exoesqueleto de cangrejo *cancer setosus*.
- Ramírez Castro, A. M., Escobar Sierra, D. M., & Vergara Castrillón, N. A. (2013). Determinación de la relación entre el porcentaje del grupo amino y el grado de desacetilación del quitosano. *Revista de Ciencias*, 18(1), 73–88.
- Ramírez, M., Rodríguez, A., Alfonso, L., Peniche, C., Experimental, E., Nacional, I., & Agrícolas, D. C. (2010). BA002704RV262-269.pdf. 27, 8.
- Sánchez-Guadalupe, Martínez-Reyna, Rosario, M., SaldívarJorge, Sánchez-Isabel, & López-Cervantes. (2017). Síntesis de hidrogeles de quitosano a partir de cáscara de camarón para ensayos de adsorción de cobre. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(Special Issue 1), 93–98.
<https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp02.09>
- Taquez, L., & Vargas, G. (2018). Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente Bogotá, Colombia 2018. universidad abierta y a distancia -UNAD.
- Vasquez, J., & Vidal, M. (2011). Caracterización y alternativa de uso de una película biodegradable de quitosano a partir de la extracción de quitina de langostino (*Pleuroncodes planipes*) para la industria de alimentos. 151.
- Velásquez, C. L. (2006). Quitina y quitosano : materiales del pasado para el presente y el futuro. 1(2), 15–21.

13 ANEXOS

13.1 Imágenes de la obtención de quitosano a escala de laboratorio

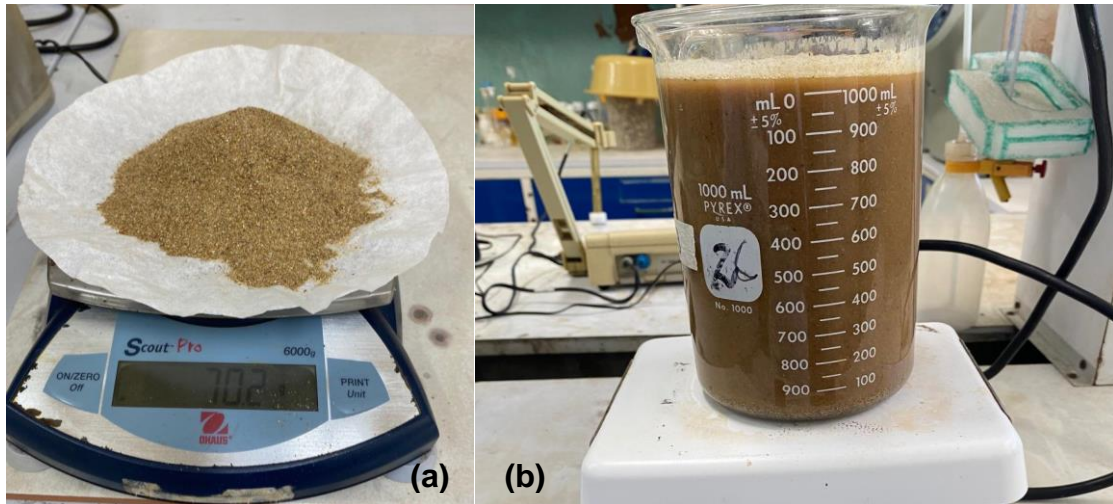


Figura 15. (a) Despigmentación, (b) Desmineralización