



# GASTRONOMÍA

**Tesis previa a la obtención del título de Magister en  
Gastronomía con mención en Gestión e Innovación**

**AUTOR:** Pedro Arturo Badillo Arévalo

**TUTOR:** Mgt. David Rodolfo Guambi Espinosa

**Aprovechamiento de cáscaras de camarón generadas en establecimientos de  
A&B de Riobamba para la obtención de quitosana bajo un enfoque de  
economía circular**

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,  
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL  
TRABAJO DE TÍTULACIÓN**

Yo, Pedro Arturo Badillo Arévalo declaro ser autor del Trabajo de Investigación con el título “Aprovechamiento de cáscaras de camarón generadas en establecimientos de A&B de Riobamba para la obtención de quitosana bajo un enfoque de economía circular”, como requisito para optar al grado de **Magister en Gastronomía con mención en Gestión e Innovación** y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Internacional del Ecuador, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UIDE).

Los usuarios del RDI-UIDE podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Internacional del Ecuador no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Internacional del Ecuador, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito, a los 24 días del mes de marzo del 2025, firmo conforme:

Autor: Pedro Arturo Badillo Arévalo

Firma:  Firmado electrónicamente por:  
**PEDRO ARTURO  
BADILLO AREVALO**  
Validar únicamente con FirmasCC

Número de Cédula: 060293331-9

Dirección: Oswaldo Guayasamín y Emilio Colina Mz A Casa 11, Riobamba.

Correo Electrónico: [pebadilloar@uide.edu.ec](mailto:pebadilloar@uide.edu.ec)

Teléfono: 098 495 0642

## APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “**APROVECHAMIENTO DE CÁSCARAS DE CAMARÓN GENERADAS EN ESTABLECIMIENTOS DE A&B DE RIOBAMBA PARA LA OBTENCIÓN DE QUITOSANA BAJO UN ENFOQUE DE ECONOMÍA CIRCULAR**”, presentado por Pedro Arturo Badillo Arévalo para optar por el Título **Magister en Gastronomía con mención en Gestión e Innovación**.

### CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Tribunal Examinador que se designe.

Quito, 24 de marzo del 2025.



.....

Mgt. David Rodolfo Guambi Espinosa

## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declara que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Master en Gastronomía con mención en Gestión e Innovación, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

Quito, 24 de marzo del 2025.



Pedro Arturo Badillo Arévalo

060293331-9

## APROBACIÓN TRIBUNAL

El trabajo de Titulación, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: “APROVECHAMIENTO DE CÁSCARAS DE CAMARÓN GENERADAS EN ESTABLECIMIENTOS DE A&B DE RIOBAMBA PARA LA OBTENCIÓN DE QUITOSANA BAJO UN ENFOQUE DE ECONOMÍA CIRCULAR”, previo a la obtención del Título de Maestría en Gastronomía con mención en Gestión e Innovación, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de titulación.

Quito, 24 de marzo del 2025.



.....  
Mgtr. David Rodolfo Guambi Espinosa.

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

Francisco Javier Mena Galarraga  
C.I. 1707785455

.....  
Mgtr. Francisco Javier Mena Galarraga.

**VOCAL**



.....  
Mgtr. Santiago Alberto Coronel Sempertegui.

**VOCAL**

El siguiente trabajo académico va dedicada a mis papás Rubén Badillo y Nelly Arévalo, doy gracias a Dios por su apoyo cada día, en cada proyecto personal y académico, espero que esta alegría se sume al triunfo que obtuvimos en el 2020 cuando no me pudieron acompañar. Para mis hermanas y mis sobrinos que esta tesis sirva como modelo a seguir para prepararnos todos los días. Al resto de mi familia en especial a mis Abuelitas Elbita (+) desde cielo y Ercelinda muchas gracias por las bendiciones en cada viaje, si se logró.

Y para finalizar, que este trabajo de investigación sirva como motivación para mis estudiantes de la Carrera de Gastronomía de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en mi Riobamba querida para que sigan sus sueños y se tracen metas muy altas.

**Dedicatoria**

Mi agradecimiento a Dios por cada día de vida, cada viaje a la ciudad de Quito y por escucharme en esos momentos de dudas, cada paso a servido para llegar a estos momentos felices, para mi Papá Rubén y Mamá Nelly muchas gracias por su paciencia y animo a seguir todos los días con cada uno de mis proyectos ambiciosos.

Sigo adelante todas las mañanas gracias a mis Padrinos Carlitos y Magnolita, Dios permita tenerles a mi lado para disfrutar de más alegrías.

Mis últimas palabras de agradecimiento van dirigidas a las autoridades de la Universidad Internacional del Ecuador, a la Carrera de Gastronomía con su Coordinador a la cabeza el Chef Diego Albán, al Programa de Posgrado a cargo del desarrollo de la Maestría con su Coordinador él Chef David Rodolfo Guambi Espinosa, sigan adelante con ese afán de conocimiento para los jóvenes y talentosos cocineros ecuatorianos.

**Agradecimiento**

## Índice de contenidos

<b>Resumen</b> .....	<b>xi</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>xii</b>
Introducción.....	1
<b>Importancia</b> .....	<b>2</b>
<b>Actualidad</b> .....	<b>4</b>
<b>Justificación</b> .....	<b>4</b>
Macro contexto.....	4
Meso contexto .....	5
Micro contexto .....	5
Antecedentes .....	5
<b>Planteamiento del problema</b> .....	<b>6</b>
<b>Alcance</b> .....	<b>7</b>
<b>Árbol de problemas</b> .....	<b>8</b>
<b>Objetivos</b> .....	<b>8</b>
Objetivo General .....	8
Objetivos Específicos .....	8
Capítulo I.....	9
Marco teórico.....	9
<b>Introducción a los residuos sólidos en la industria de alimentos y bebidas</b> .....	<b>9</b>
Definición y clasificación de los residuos sólidos generados en la industria de alimentos y bebidas .....	9
Tipos de residuos específicos generados en los establecimientos de A&B, con énfasis en los derivados de la cáscara de camarón .....	10
<b>Quitina y quitosana: propiedades y aplicaciones</b> .....	<b>11</b>
Técnicas de extracción de quitosana a partir de los residuos de cáscaras de crustáceos .....	13
Aplicaciones industriales de la quitosana.....	15
<b>Economía circular en la gestión de residuos sólidos</b> .....	<b>17</b>
Definición de economía circular y su aplicación en la industria de alimentos y bebidas .....	17
Desafíos y oportunidades en la implementación de la economía circular .....	18

Beneficios del modelo de economía circular en la reducción de residuos, la reutilización de materiales y el reciclaje .....	19
Principios de la economía circular aplicados a la valorización de residuos orgánicos .	21
Beneficios sociales y económicos de la valorización de residuos a través de la economía circular .....	24
Capítulo II.....	28
<b>Obtención y caracterización de la quitosana.....</b>	<b>28</b>
Equipos usados en la obtención de quitina y quitosana .....	29
Materiales .....	30
Identificación de grupos funcionales.....	39
Microscopía electrónica de barrido .....	39
<b>Análisis de factibilidad .....</b>	<b>40</b>
Capítulo III .....	41
<b>Sistema de recolección de cáscaras de camarón .....</b>	<b>41</b>
<b>Caracterización de la quitosana .....</b>	<b>42</b>
Identificación de grupos funcionales.....	42
Microscopía electrónica de barrido (SEM) .....	47
<b>Análisis de factibilidad .....</b>	<b>50</b>
Conclusiones.....	60
Recomendaciones .....	61
Bibliografía.....	62

## Índice de cuadros

<b>Cuadro N° 1.</b> Tipo de residuos generados en establecimientos de A&B de la ciudad de Riobamba.....	11
<b>Cuadro N° 2.</b> Consumo de camarón en las marisquerías de mayor volumen de ventas del cantón de Riobamba .....	51
<b>Cuadro N° 3.</b> Costos estimados del consumo de electricidad para la obtención de quitosana.....	52
<b>Cuadro N° 4.</b> Costos de reactivos, insumos y electricidad para la obtención de la quitosana a partir de cáscaras de camarón .....	53

## Índice de gráficos

<b>Gráfico N° 1.</b> Árbol de problemas .....	8
<b>Gráfico N° 2.</b> Procesamiento de cáscaras de camarón .....	28
<b>Gráfico N° 3.</b> Desproteínización de las cáscaras de camarón tamizadas .....	32
<b>Gráfico N° 4.</b> Polvo de cáscaras de camarón obtenido mediante secado a 50 °C, molienda y tamizado. ....	33
<b>Gráfico N° 5.</b> Inicio de la desproteínización .....	33
<b>Gráfico N° 6.</b> Desmineralización para la obtención de la quitina .....	34
<b>Gráfico N° 7.</b> Obtención de la quitosana por desacetilación .....	35
<b>Gráfico N° 8.</b> Filtración a vacío con kitasato .....	36
<b>Gráfico N° 9.</b> Muestras en el agitador .....	36
<b>Gráfico N° 10.</b> Muestras tras 24 horas de reposo .....	37
<b>Gráfico N° 11.</b> Residuo de la filtración .....	37
<b>Gráfico N° 12.</b> Filtrado .....	38
<b>Gráfico N° 13.</b> Determinación de pH .....	38
<b>Gráfico N° 14.</b> Secado en estufa .....	39
<b>Gráfico N° 15.</b> Espectro FTIR de la quitosana tratamiento 1 .....	43
<b>Gráfico N° 16.</b> Espectro FTIR de la quitosana tratamiento 2 .....	44
<b>Gráfico N° 17.</b> Espectro FTIR de la quitosana tratamiento 3 .....	45
<b>Gráfico N° 18.</b> Microscopía electrónica de barrido tratamiento 1 .....	48
<b>Gráfico N° 19.</b> Microscopía electrónica de barrido tratamiento 2 .....	49
<b>Gráfico N° 20.</b> Microscopía electrónica de barrido tratamiento 3 .....	49

## Resumen

La economía circular es un modelo sostenible que optimiza recursos mediante la reducción, reutilización, reciclaje y regeneración, fomentando un ciclo productivo eficiente y ambientalmente responsable. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo, aprovechar las cáscaras de camarón generadas en establecimientos de A&B de Riobamba para la obtención de quitosana dentro de un modelo de economía circular. Para esto, se realizó un estudio discriminativo en establecimientos de A&B de Riobamba, seleccionados por criterios como ubicación en barrios residenciales urbanos y disposición para clasificar residuos. Se recolectaron 5,44 kg de cáscaras de camarón, que fueron procesadas mediante limpieza, secado y molienda para la obtención de quitosana. El procedimiento incluyó desmineralización con HCl, desproteínización con NaOH, decoloración con NaClO y desacetilación con NaOH al 50 %. Se aplicaron técnicas de análisis como FTIR y SEM para caracterizar las propiedades químicas y estructurales del producto. Además, se evaluó la viabilidad técnica y económica de un sistema de producción local, analizando etapas del proceso, costos de inversión, generación de empleo, mejora en la gestión de residuos y reducción del impacto ambiental. Un análisis de riesgos permitió identificar barreras y establecer estrategias de mitigación para garantizar la sostenibilidad del proyecto. Se diseñó un sistema eficiente y sostenible para la recolección y limpieza de cáscaras de camarón en establecimientos de A&B, garantizando la calidad de la materia prima, reduciendo la carga orgánica y fomentando buenas prácticas de gestión de residuos en el sector gastronómico local. Se establecieron las condiciones óptimas para su conversión a quitosana, obteniendo un producto con propiedades adecuadas para aplicaciones industriales. La incorporación de esta producción en un modelo de economía circular demostró ser técnica y económicamente viable, ofreciendo una reducción potencial de residuos orgánicos enviados a vertederos y un impacto positivo en la sostenibilidad económica y ambiental de la región.

**Palabras clave:** economía circular, quitosana, residuos orgánicos, sostenibilidad, análisis FTIR, viabilidad económica.

## Abstract

The circular economy is a sustainable model that optimizes resources through reduction, reuse, recycling, and regeneration, fostering an efficient and environmentally responsible production cycle. In this context, the present research aimed to utilize shrimp shells generated in food and beverage (F&B) establishments in Riobamba for the production of chitosan within a circular economy model. A discriminative study was conducted in F&B establishments in Riobamba, selected based on criteria such as location in urban residential neighborhoods and willingness to separate waste. A total of 5.44 kg of shrimp shells were collected and processed through cleaning, drying, and grinding to obtain chitosan. The procedure included demineralization with HCl, deproteinization with NaOH, decolorization with NaClO, and deacetylation with 50% NaOH. Analytical techniques such as FTIR and SEM were applied to characterize the chemical and structural properties of the product. Additionally, the technical and economic feasibility of a local production system was evaluated, analyzing process stages, investment costs, job creation, waste management improvements, and environmental impact reduction. A risk analysis identified potential barriers and mitigation strategies to ensure the project's sustainability. An efficient and sustainable system was designed for the collection and cleaning of shrimp shells in F&B establishments, ensuring the quality of the raw material, reducing organic waste, and promoting good waste management practices in the local gastronomic sector. Optimal conditions for conversion into chitosan were established, yielding a product with properties suitable for industrial applications. Incorporating this production within a circular economy model proved to be technically and economically viable, offering a potential reduction in organic waste sent to landfills and a positive impact on the economic and environmental sustainability of the region.

**Keywords:** circular economy, chitosan, organic waste, sustainability, FTIR analysis, economic feasibility.

## **Introducción**

La Agenda de Desarrollo Sostenible 2030, en su Objetivo 1, establece la meta de “lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles”. Dentro de las metas de este objetivo, se destaca la reducción del impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades hacia el año 2030, con especial énfasis en la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo (ODS, 2022).

Los residuos sólidos se han convertido en una preocupación global en las ciudades, especialmente por los efectos adversos que generan en la salud pública y el medio ambiente. En este contexto, la Gestión de Residuos Sólidos Municipales ocupa una posición importante en los debates internacionales sobre medio ambiente y desarrollo sostenible. Durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo en 1992, se abordaron aspectos relacionados con la gestión ambiental de los residuos sólidos, industriales y municipales, recomendando prácticas de reducción de la generación de desechos, incremento del reciclaje, reúso y disposición segura de los residuos, con el objetivo de guiar al planeta hacia un futuro más sostenible (ONU, 1997).

En la actualidad, más de la mitad de la población mundial, aproximadamente 3500 millones de personas, reside en ciudades, y se estima que esta cifra alcanzará los 5000 millones para el año 2030 (ONU, 2022). Este crecimiento urbano está estrechamente vinculado con el aumento de la generación de residuos sólidos. En Ecuador, según el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC), la población alcanzó los 17 919 198 habitantes en marzo de 2022 (INEC, 2022), lo que implica una creciente producción de residuos sólidos, cuya tendencia se incrementará conforme lo haga la población y el poder adquisitivo urbano.

La acumulación excesiva de residuos sólidos presenta desafíos para su gestión, principalmente debido a la diversidad de los desechos, los hábitos de consumo de la población, los limitados recursos económicos disponibles y la falta de conciencia ambiental. Estos factores han intensificado la problemática de la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (Raza-Carrillo & Acosta, 2022). El sector alimentario global ha experimentado un crecimiento exponencial, impulsado por el aumento de la demanda poblacional y los cambios en los patrones alimentarios. No obstante, este auge ha traído consigo la generación de grandes cantidades de residuos, que constituyen uno de los principales retos en la gestión ambiental.

La ciudad de Riobamba no escapa a este fenómeno. Su industria alimentaria, que representa un importante motor económico local, plantea preocupaciones relacionadas con el impacto ambiental derivado de la gestión de los residuos generados. Es esencial comprender la magnitud y las características de estos residuos para desarrollar estrategias de gestión sostenible que mitiguen los efectos negativos sobre el medio ambiente, la salud pública y el bienestar de la comunidad.

Este estudio tuvo como objetivo aprovechar las cáscaras de camarón generadas en establecimientos de A&B de Riobamba para la obtención de quitosana dentro de un modelo de economía circular. Se busca obtener una visión integral de la huella medioambiental del sector alimentario local a través de la identificación de los tipos y volúmenes de residuos, además de analizar su composición para determinar qué componentes pueden ser reciclados, compostados o tratados de forma alternativa.

En América Latina y El Caribe, predomina un enfoque de manejo de residuos centrado en la “recolección y disposición final”, dejando de lado la valorización, reciclaje y tratamiento adecuado de los residuos, así como la disposición final sanitaria (Sáez & Urdaneta, 2014). En Ecuador, se producen diariamente 12671 toneladas de residuos sólidos, de los cuales solo el 13,5 % se recolecta y recupera de manera diferenciada. Tradicionalmente, la gestión municipal de residuos ha estado orientada a su eliminación en vertederos, dejando sin tratar una gran parte de los residuos generados (Ferronato & Torretta, 2019). Actualmente, el 50,5 % de los residuos sólidos urbanos se disponen en rellenos sanitarios, el 31,4 % en celdas emergentes y el 18,2 % en botaderos.

### **Importancia**

Esta investigación tiene una gran importancia a nivel local y global, dado su enfoque hacia la valorización de residuos orgánicos generados en la industria alimentaria. Los residuos provenientes de cáscaras de camarón pueden ser aprovechados para la obtención de quitosana, un biopolímero con múltiples aplicaciones industriales, especialmente en los sectores alimentario, farmacéutico y cosmético. Este estudio contribuye a la reducción de residuos sólidos, un desafío global que afecta la salud pública y el medio ambiente, al promover su reutilización de manera sostenible.

El enfoque de economía circular permite cerrar el ciclo de producción al convertir residuos en recursos útiles, lo que implica un uso más eficiente de los materiales y una disminución

de la dependencia de recursos naturales no renovables. La quitosana obtenida a partir de los residuos de cáscaras de camarón representa una alternativa ecológica y económica que, además de reducir la cantidad de desechos generados en los establecimientos de A&B de Riobamba, genera un valor agregado a partir de un material que normalmente sería descartado. Esto está alineado con los principios de sostenibilidad, que buscan un equilibrio entre el crecimiento económico, la reducción del impacto ambiental y el bienestar social.

A nivel económico, la obtención de quitosana de los residuos de cáscaras de camarón puede generar nuevas oportunidades de negocio en la región. La valorización de estos residuos podría promover el desarrollo de pequeñas empresas o cooperativas dedicadas a la producción y comercialización de quitosana, impulsando la economía local y fomentando el empleo en sectores verdes. Al mismo tiempo, la incorporación de esta práctica en los establecimientos de A&B contribuiría a la competitividad de dichos negocios, al responder a las crecientes demandas de los consumidores por productos más sostenibles y responsables con el medio ambiente.

En el ámbito científico, esta tesis tiene un alto potencial para aportar al conocimiento sobre la valorización de residuos orgánicos en la industria alimentaria, particularmente en el contexto ecuatoriano. La investigación permitirá identificar los parámetros óptimos para la obtención de quitosana, evaluando la viabilidad técnica y económica del proceso en los establecimientos locales. Este conocimiento podría ser replicable en otras ciudades o regiones con características similares, ampliando las posibilidades de implementación de este modelo en otros sectores productivos que generen residuos orgánicos, como la industria pesquera o agrícola.

El valor ambiental de este trabajo radica en la economía circular, al centrarse en la reutilización de materiales, es una estrategia para reducir la contaminación, el uso de recursos y la huella ecológica de las actividades humanas. El proyecto responde a las demandas actuales de sostenibilidad y economía circular, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). La quitosana, derivada de residuos de camarón, reduce la contaminación y ofrece soluciones innovadoras en sectores estratégicos como la alimentación y la medicina. La implementación en Riobamba destacará como un modelo replicable en otras regiones.

## **Actualidad**

El empleo de residuos con visión de economía circular se inserta en un contexto global donde la valorización de residuos orgánicos es una prioridad. La quitosana, derivada de la quitina presente en las cáscaras de camarón, es reconocida por sus propiedades biodegradables y su amplia gama de aplicaciones en sectores como el farmacéutico, alimentario y cosmético.

El desarrollo de esta investigación aborda una problemática actual, ofreciendo una solución sostenible y económicamente viable para la gestión de residuos en la industria de alimentos y bebidas de Riobamba. Al integrar la obtención de quitosana con una visión de economía circular, se promueve la sostenibilidad ambiental, el desarrollo económico local y el avance científico en el aprovechamiento de residuos orgánicos.

## **Justificación**

La necesidad de abordar la gestión sostenible de los residuos generados en la industria alimentaria local sustenta el desarrollo de esta investigación. La ciudad de Riobamba, al igual que otras regiones de Ecuador, enfrenta el desafío de manejar adecuadamente los desechos orgánicos, especialmente aquellos derivados de la cáscara de camarón, que son comúnmente desechados sin un aprovechamiento significativo en la Gastronomía. La valorización de estos residuos mediante la obtención de quitosana ofrece una solución efectiva para reducir la acumulación de desechos y minimizar su impacto ambiental.

## **Macro contexto**

En el ámbito global, la acumulación de residuos sólidos es un desafío crítico para la sostenibilidad. Según las metas establecidas por la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, la reducción del impacto ambiental de los residuos es una prioridad. Los desechos orgánicos representan una proporción significativa de los residuos generados a nivel mundial, y su gestión inadecuada contribuye al cambio climático y a la degradación ambiental. La economía circular, que busca reutilizar los materiales y minimizar los desechos, ofrece una solución innovadora para mitigar estos impactos. En este contexto, la valorización de residuos de cáscaras de camarón mediante la producción de quitosana promueve la sostenibilidad e impulsa prácticas industriales responsables y resilientes.

### **Meso contexto**

En el nivel regional, Ecuador enfrenta importantes retos en la gestión de residuos sólidos. Según estadísticas nacionales, gran parte de los desechos orgánicos generados en las ciudades no se reutiliza ni valoriza, lo que representa una oportunidad perdida para el desarrollo económico y ambiental. La ciudad de Riobamba, con su vibrante industria gastronómica y su enfoque en platos costeros que generan grandes cantidades de residuos de camarón, ofrece un escenario ideal para implementar estrategias de economía circular. Este proyecto se alinea con las políticas nacionales de sostenibilidad y puede servir como modelo para otras regiones con características similares en cuanto a generación de residuos y actividad económica.

### **Micro contexto**

De acuerdo a un proyecto de investigación desarrollado por la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo los establecimientos de A&B en Riobamba generan cantidades significativas de residuos de cáscaras de camarón que, actualmente, se descartan como basura. Este manejo ineficiente contribuye a la contaminación y también representa un desperdicio de recursos que podrían transformarse en productos de alto valor, como la quitosana. La implementación de un sistema para recolectar y procesar estos residuos generaría beneficios inmediatos para los establecimientos, incluyendo la reducción de costos de disposición de desechos, el acceso a nuevos mercados y el fortalecimiento de su imagen como negocios sostenibles. Además, se fomentaría la conciencia ambiental entre los propietarios y clientes, impulsando una cultura de sostenibilidad en la comunidad local.

La implementación de una visión de economía circular en la obtención de quitosana a partir de estos residuos ofrece múltiples beneficios. Al reutilizar desechos orgánicos, se disminuye la necesidad de recursos naturales y se reduce la generación de residuos, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental. Además, la producción de quitosana a partir de residuos de cáscaras de camarón puede generar nuevas oportunidades económicas en la región, fomentando el desarrollo de industrias locales y la creación de empleo en sectores verdes.

### **Antecedentes**

La quitosana es un biopolímero derivado de la quitina, el segundo polisacárido más abundante en la naturaleza después de la celulosa. Se encuentra principalmente en los exoesqueletos de crustáceos como los camarones, insectos y paredes celulares de hongos. La

obtención de quitosana a partir de residuos de cáscaras de camarón ha sido objeto de diversos estudios debido a sus múltiples aplicaciones en industrias como la alimentaria, médica, agrícola y farmacéutica.

Kandile et al. (2018) obtuvieron quitosana a partir de cáscaras de camarón mediante desproteínización, desmineralización y desacetilación, obteniendo un producto de alta pureza con propiedades biocompatibles, adecuado para aplicaciones en la liberación controlada de fármacos. Se evaluó la quitosana extraída de cáscaras de camarón, destacando propiedades como solubilidad, formación de geles y biocompatibilidad, lo que la hace útil en la industria alimentaria y como material biomédico (Abourehab et al., 2022).

Hartal et al. (2024) optimizaron el proceso de extracción de quitosana para su uso como floculante en el tratamiento de aguas residuales, mostrando una alta eficacia en la remoción de contaminantes, mientras que Ovalle et al. (2023) aplicaron procesos similares en Sinaloa, México, para obtener quitosana con propiedades industriales. Villegas et al. (2024) exploraron su uso en la fabricación de papel biodegradable, evaluando propiedades como grado de desacetilación y humectabilidad.

Hernández et al. (2009) demostraron que la quitosana obtenida de exoesqueletos de camarón desechados podía competir en calidad con productos comerciales. Por su parte, Varun et al. (2017) caracterizaron quitosana y sus oligómeros mediante FT-IR y confirmaron su actividad antimicrobiana contra patógenos intestinales, destacando su potencial como aditivo alimentario.

Hosney et al. (2022) analizaron el impacto de diversas variables en la extracción de quitosana, proporcionando información para optimizar procesos industriales. Anumanla et al. (2023) destacaron la aplicación de quitosana en tratamientos de aguas residuales, enfocándose en su capacidad antioxidante y para eliminar contaminantes. Divya et al. (2014) desarrollaron un método sencillo para extraer quitosana de alta pureza, confirmando su idoneidad para diversas aplicaciones industriales y biomédicas.

### **Planteamiento del problema**

Los establecimientos de A&B en la ciudad de Riobamba genera una considerable cantidad de residuos orgánicos, especialmente cáscaras de camarones. Estos desechos, ricos en quitina, suelen ser descartados sin un aprovechamiento significativo, lo que contribuye a la

acumulación de residuos y a la contaminación ambiental. La falta de gestión de estos residuos representa un desafío para la sostenibilidad y la economía circular en la región.

La implementación de prácticas de economía circular en la gestión de residuos orgánicos promueve la sostenibilidad y la eficiencia en el uso de recursos. En Ecuador, la Estrategia Nacional de Economía Circular Inclusiva refleja el compromiso con un modelo que prioriza la eficiencia en el uso de recursos, la reducción de residuos y la promoción de la reutilización y el reciclaje de materiales. Sin embargo, la adopción de este modelo enfrenta desafíos, como la falta de infraestructura, la necesidad de capacitación técnica y la sensibilización de los actores involucrados.

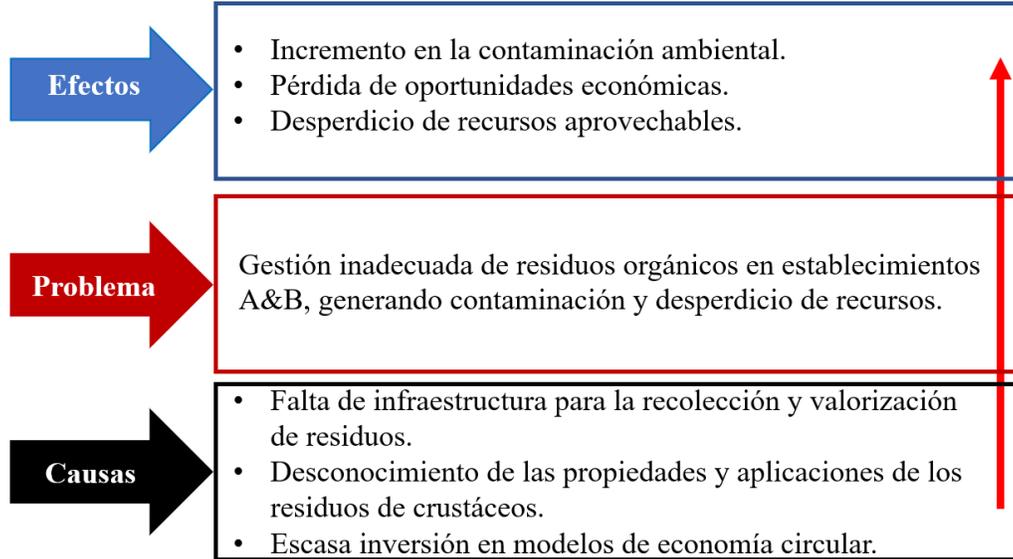
La valorización de residuos de cáscaras de camarón mediante la obtención de quitosana presenta una oportunidad para los establecimientos de alimentos y bebidas en Riobamba. Este proceso contribuiría a la reducción de residuos y la contaminación, además podría generar nuevos productos con valor agregado, fomentando la innovación y la competitividad en el sector. No obstante, es necesario superar barreras técnicas y económicas, como la inversión en equipos adecuados y la capacitación del personal, para implementar con éxito este proceso.

### **Alcance**

La investigación se enfoca en la valorización de los residuos orgánicos provenientes de los establecimientos de A&B de Riobamba. En particular, busca transformar las cáscaras de camarón en quitosana, un biopolímero con múltiples aplicaciones industriales y alto valor agregado. En primer lugar, se propondrá una metodología para la recolección y limpieza de las cáscaras de camarón generadas en establecimientos que ofrecen cocina costeña. Este proceso garantizará la calidad de la materia prima necesaria para las etapas posteriores de extracción, abordando las particularidades de los residuos generados localmente.

Además, se evaluarán las condiciones óptimas para la obtención de quitosana, centrándose en los procesos de desproteínización, desmineralización y desacetilación. La investigación analizará la viabilidad técnica, económica y ambiental de incorporar la producción de quitosana dentro de un modelo de economía circular. Este estudio contribuirá a la reducción de la contaminación como al fomento de prácticas responsables en el manejo de residuos, promoviendo un modelo económico innovador y sostenible para Riobamba.

## Árbol de problemas



**Gráfico N° 1. Árbol de problemas.**

**Fuente:** El autor.

### **Objetivos**

#### **Objetivo General**

Aprovechar las cáscaras de camarón generadas en establecimientos de A&B de Riobamba para la obtención de quitosana dentro de un modelo de economía circular.

#### **Objetivos Específicos**

- Proponer una metodología para la recolección y limpieza de cáscaras de camarón obtenidas de los establecimientos que ofertan comida de la costa.
- Evaluar las condiciones de obtención de la quitosana a partir de las cáscaras de camarón generadas en establecimientos de cocina costeña de Riobamba.
- Analizar la factibilidad de la obtención de quitosana dentro de un modelo de economía circular para la sostenibilidad local de Riobamba.

## **Capítulo I.**

### **Marco teórico**

#### **Introducción a los residuos sólidos en la industria de alimentos y bebidas**

#### **Definición y clasificación de los residuos sólidos generados en la industria de alimentos y bebidas**

Los residuos sólidos son materiales que, una vez alcanzada su utilidad, son descartados como desechos. En el contexto de la industria de alimentos y bebidas, estos residuos abarcan una amplia variedad de materiales resultantes de los procesos de producción, transformación, distribución, consumo y manejo de productos alimentarios (Kibria et al., 2023). Los residuos generados en esta industria incluyen tanto los desechos orgánicos, como los inorgánicos, y pueden tener un impacto significativo en el medio ambiente si no se gestionan adecuadamente.

#### **Clasificación de los residuos sólidos en la industria de alimentos y bebidas**

Los residuos generados en la industria de alimentos y bebidas pueden clasificarse en orgánicos, inorgánicos, peligrosos y electrónicos, cada uno con características específicas y desafíos particulares para su manejo (Ayilara et al., 2020). Los residuos orgánicos, provenientes de ingredientes alimenticios o productos, incluyen restos no consumidos como frutas, vegetales y carnes no aptas para el consumo, así como cáscaras, tallos y semillas de frutas y vegetales (Kumar et al., 2020). También abarcan residuos de productos animales, como huesos, pieles y restos de pescado, y desechos de la industria de bebidas, como el bagazo de caña, pulpas de frutas y residuos de cereales. Por otro lado, los residuos inorgánicos, compuestos por materiales no biológicos como plásticos, metales y vidrios, incluyen envases, empaques, utensilios, piezas de maquinaria y materiales contaminantes asociados a procesos de limpieza o mantenimiento (Liu et al., 2023).

En menor proporción, pero con mayor riesgo, se encuentran los residuos peligrosos, como sustancias químicas utilizadas en limpieza y conservación, y residuos biológicos contaminados con patógenos. Además, la obsolescencia de equipos electrónicos, como computadoras y maquinaria automatizada, genera residuos electrónicos que deben ser gestionados para evitar impactos negativos en el medio ambiente (Moyen & Archodoulaki, 2023). La acumulación de estos residuos puede causar contaminación del aire, suelo y agua,

además de contribuir al cambio climático por la liberación de gases de efecto invernadero provenientes de residuos orgánicos en descomposición.

La gestión adecuada de los residuos en esta industria mitiga su impacto ambiental. Estrategias basadas en los principios de reducción, reutilización y reciclaje para minimizar los efectos negativos y promover la sostenibilidad. La adopción de prácticas de economía circular, que permiten reutilizar los residuos como materia prima en otros procesos, constituye una herramienta para reducir el volumen de desechos, maximizar su valor y fomentar un enfoque más responsable con el medio ambiente (Yang et al., 2023).

### **Tipos de residuos específicos generados en los establecimientos de A&B, con énfasis en los derivados de la cáscara de camarón**

En los establecimientos de A&B se generan diversos tipos de residuos que varían según las actividades realizadas y los productos manejados. Entre los residuos más comunes se encuentran los orgánicos, como restos de alimentos no consumidos, recortes de vegetales y frutas, y subproductos derivados del procesamiento de alimentos (Lins et al., 2021). Un grupo significativo son los residuos de cáscaras de camarón, generados en grandes cantidades en restaurantes especializados en mariscos y en la industria alimentaria relacionada (Santos et al., 2020). Estas cáscaras, que incluyen restos de camarones, langostas, cangrejos y otros crustáceos, contienen compuestos de alto valor como la quitina, un polisacárido con aplicaciones en la industria farmacéutica, cosmética y agrícola.

La gestión de estos residuos presenta tanto desafíos como oportunidades. Su descomposición puede generar malos olores y atraer plagas, lo que hace necesario un manejo adecuado para evitar problemas sanitarios. Sin embargo, también representan una fuente de recursos aprovechables si se implementan tecnologías para su valorización. El procesamiento de cáscaras de crustáceos permite la obtención de productos como quitina, quitosana y compuestos bioactivos (Abubakar et al., 2022), que pueden ser utilizados en la fabricación de fertilizantes, alimentos funcionales y bioplásticos, promoviendo la sostenibilidad en la gestión de residuos. Por lo tanto, los establecimientos de A&B tienen un papel protagónico en la implementación de prácticas que reduzcan la generación de residuos y fomenten su reutilización como insumos para nuevas aplicaciones.

En los establecimientos de A&B también se generan otros residuos que no son orgánicos, como se muestra en el Cuadro N° 1. Los residuos reciclables comprenden una diversidad de

materiales, tales como papel, plásticos de distintas tipologías, textiles, metales, vidrio y envases multicapa tipo Tetra Pak. Por su parte, los residuos descartables incluyen productos de un solo uso, como vajilla desechable (platos, vasos y cubiertos), envases para alimentos de consumo inmediato y residuos sanitarios.

*Cuadro N° 1. Tipo de residuos generados en establecimientos de A&B de la ciudad de Riobamba*

<b>Tipo de residuo</b>	<b>Masa (kg)</b>	<b>Porcentaje</b>
Orgánicos	315,29	60,52
Descartables (Otros)	152,53	29,28
Reciclables	53,12	10,20
Total	520,94	100

**Elaborado por: El autor.**

En los establecimientos del sector de alimentos y bebidas, la generación de residuos orgánicos representa el mayor porcentaje (60,52%), seguidos por los residuos descartables con un 29,28% y los residuos reciclables con un 10,20%.

### **Quitina y quitosana: propiedades y aplicaciones**

#### **Definición y características de la quitina y la quitosana**

La quitina es un biopolímero natural que se encuentra predominantemente en los exoesqueletos de los artrópodos (como insectos y crustáceos), en las paredes celulares de los hongos y en algunos crustáceos marinos. Su estructura está compuesta por unidades de N-acetilglucosamina unidas por enlaces  $\beta(1\rightarrow4)$  (Jiménez-Gómez & Cecilia, 2020), lo que le confiere una alta resistencia mecánica y propiedades de biocompatibilidad y biodegradabilidad (Pang et al., 2017). Es uno de los polímeros naturales más abundantes en la naturaleza, solo superado por la celulosa (Piekarska et al., 2023). La quitina es un material que posee diversas aplicaciones en campos como la medicina, la farmacología, la agroindustria, y especialmente en la industria alimentaria, donde se utiliza para la elaboración de envases biodegradables, tratamientos de aguas, y como componente funcional en alimentos (Elieh-Ali-Komi & Hamblin, 2016).

La quitosana es un derivado de la quitina obtenido por desacetilación, un proceso químico que elimina parte de los grupos acetilo de la quitina, aumentando su solubilidad en medios ácidos. A diferencia de la quitina, la quitosana tiene aplicaciones más amplias debido a sus

propiedades solubles y sus capacidades de adsorción (Issahaku et al., 2023). Estas incluyen su uso como biopolímero en la industria alimentaria, en la agricultura como agente antifúngico, y en la medicina, especialmente en la elaboración de cápsulas y como componente en productos de control de peso (Perera et al., 2023). En la industria de alimentos y bebidas, la quitosana ha ganado atención por sus propiedades antioxidantes, antimicrobianas y de modulación de lípidos, lo que la hace apta para mejorar la calidad de productos alimenticios y extender su vida útil.

La obtención de quitosana a partir de residuos de cáscaras de camarón se ha convertido en un área de interés debido a la abundancia de estos residuos en la industria pesquera y alimentaria, particularmente en áreas costeras y en ciudades con alta producción de mariscos, como Riobamba, Ecuador. Estos residuos, que de otro modo serían desechados, pueden transformarse en un material de alto valor mediante un proceso relativamente sencillo de desacetilación, lo que contribuye a la valorización de subproductos de la industria y reduce el impacto ambiental.

### **Propiedades físicas y químicas de la quitosana**

La quitosana es un biopolímero derivado de la quitina, un polisacárido que se encuentra en los exoesqueletos de los crustáceos, insectos y en algunos hongos. Su estructura química está conformada por unidades de N-acetilglucosamina (GlcNAc) unidas mediante enlaces  $\beta(1\rightarrow4)$ , y se obtiene a través de la desacetilación de la quitina, lo que le confiere solubilidad en soluciones ácidas. La quitosana es soluble en ácidos débiles, como el ácido acético, lo que la hace ideal para diversas aplicaciones industriales, especialmente aquellas en las que se requieren materiales con propiedades solubles en condiciones específicas (Rinaudo, 2006).

Una de las características destacadas de la quitosana es su alta capacidad de absorción y adsorción. Esto lo convierte en un excelente candidato para aplicaciones en las que la retención de líquidos, el control de liberación de fármacos y la remoción de contaminantes son esenciales (Aider, 2010). Además, la quitosana presenta una gran estabilidad térmica y una baja toxicidad, lo que amplía su utilidad en diferentes campos industriales, especialmente en la elaboración de productos alimenticios y farmacéuticos. Las propiedades físicas y químicas de la quitosana, tales como su grado de desacetilación y su masa molecular influyen en sus aplicaciones, ya que determinan sus características de solubilidad y capacidad de reacción con otros compuestos.

## **Biocompatibilidad y biodegradabilidad de la quitosana**

Una de las razones por las que la quitosana ha atraído la atención en diversas industrias es su biocompatibilidad, lo que significa que no produce respuestas tóxicas o inmunológicas cuando se utiliza en contacto con sistemas biológicos. Esto lo convierte en un material ideal para aplicaciones biomédicas, farmacéuticas y cosméticas (Morin-Crini et al., 2019). La biocompatibilidad de la quitosana es una característica esencial en su uso como material de sutura, dispositivos de liberación controlada de fármacos y como material para la ingeniería de tejidos (Dobrzyńska-Mizera et al., 2024).

La biodegradabilidad de la quitosana es otra propiedad que impulsa su adopción en diversas industrias. A diferencia de los plásticos sintéticos, que persisten en el medio ambiente durante décadas, la quitosana se descompone de manera natural por la acción de microorganismos presentes en el ambiente, lo que minimiza los efectos negativos sobre el medio ambiente. Esta propiedad lo hace adecuado para aplicaciones en la industria de envases biodegradables, donde se busca reducir la acumulación de residuos plásticos y promover el desarrollo de productos más sostenibles (Dobrzyńska-Mizera et al., 2024). En la medicina, su biodegradabilidad también se ha aprovechado para diseñar sistemas de liberación controlada de fármacos, donde la quitosana se degrada gradualmente en el cuerpo, liberando los principios activos de manera sostenida.

## **Técnicas de extracción de quitosana a partir de los residuos de cáscaras de crustáceos**

La quitosana es un biopolímero de gran interés debido a sus diversas aplicaciones en áreas como la farmacéutica, la alimentaria, la cosmética y la medicina, entre otras. Su obtención a partir de los residuos de cáscaras de crustáceos, principalmente camarones y langostinos, ofrece una forma sostenible de aprovechar los subproductos de la industria pesquera y contribuir a la economía circular (Ngasotte et al., 2023). Existen diversas técnicas para la extracción de quitosana a partir de estas cáscaras, cada una con sus particularidades en cuanto a eficiencia, costos y sostenibilidad.

### **Extracción alcalina (desmineralización y desproteínización)**

La extracción alcalina es una de las técnicas más comunes para obtener quitosana a partir de las cáscaras de crustáceos. Este proceso involucra dos etapas principales: la desmineralización y la desproteínización. En primer lugar, las cáscaras de crustáceos se tratan con una solución alcalina, generalmente hidróxido de sodio (NaOH), para eliminar los

minerales como carbonato de calcio y otros compuestos inorgánicos presentes en las cáscaras. Este paso permite la liberación de quitina, el precursor de la quitosana. Luego, se realiza la desproteínización, que consiste en la eliminación de las proteínas mediante la aplicación de una solución alcalina más fuerte, que desintegra las proteínas y permite la obtención de quitina pura (Muzzarelli, 2010).

Una vez obtenida la quitina, se realiza la desacetilación mediante tratamiento con una solución de hidróxido de sodio en concentraciones más altas para eliminar los grupos acetilo de la quitina, resultando en la formación de quitosana. Este proceso se puede ajustar para obtener quitosana con diferentes grados de desacetilación, lo que influye en sus propiedades fisicoquímicas y en sus aplicaciones potenciales (Rinaudo, 2006).

#### **Extracción ácida (desmineralización)**

La extracción ácida es otra técnica empleada para obtener quitina a partir de las cáscaras de crustáceos, especialmente para la desmineralización de las cáscaras antes de su tratamiento alcalino. En este caso, las cáscaras se sumergen en una solución ácida, como ácido clorhídrico (HCl), para disolver los minerales presentes en la cáscara, como el carbonato de calcio. Esta técnica es eficaz para remover los compuestos inorgánicos, pero no elimina las proteínas, por lo que, en algunos casos, se utiliza en combinación con una posterior extracción alcalina para asegurar la eliminación completa de las impurezas proteicas. Este método también permite preservar las propiedades estructurales de la quitina, lo que facilita su conversión a quitosana de alta calidad (Kozma et al., 2022).

#### **Extracción con solventes orgánicos**

La extracción en solventes orgánicos ha sido explorada como una alternativa más ecológica a las técnicas tradicionales. En este caso, se emplean solventes como acetonitrilo, etanol o ácido acético para realizar la desproteínización de las cáscaras de crustáceos. Los solventes orgánicos son efectivos para disolver las proteínas y otras impurezas sin necesidad de usar soluciones altamente alcalinas o ácidas, lo que hace el proceso más amigable con el medio ambiente. Después de esta etapa, el material obtenido puede ser sometido a un tratamiento alcalino para completar la desacetilación y obtener quitosana (Thambiliyagodage et al., 2023). Este método es prometedor para reducir el uso de productos químicos agresivos y mejorar la sostenibilidad del proceso.

#### **Extracción enzimática**

La extracción enzimática es una técnica más reciente que emplea enzimas específicas para descomponer las proteínas presentes en las cáscaras de crustáceos. Las enzimas proteolíticas, como las proteasas, se utilizan para hidrolizar las proteínas sin dañar la quitina. Este proceso puede realizarse en condiciones más suaves en comparación con los tratamientos alcalinos y ácidos, lo que permite la obtención de una quitosana de alta calidad sin los efectos perjudiciales de productos químicos agresivos (Rinaudo, 2006). Sin embargo, el costo de las enzimas puede ser más alto que el de los tratamientos químicos, lo que puede limitar su aplicación a gran escala. A pesar de esto, la extracción enzimática se considera una opción sostenible y ecológica para la producción de quitosana, alineándose con los principios de la economía circular.

### **Aplicaciones industriales de la quitosana**

#### **Industria alimentaria**

Chakraborty & Dutta (2022) estudiaron el uso de quitosana como conservante natural en alimentos. La quitosana mostró propiedades antimicrobianas y antioxidantes que contribuyen a extender la vida útil de productos como frutas, vegetales y productos cárnicos. Además, se evaluaron las características sensoriales y la seguridad alimentaria, concluyendo que la quitosana es un conservante prometedor en la industria alimentaria.

En un estudio se analizó el uso de recubrimientos comestibles a base de quitosana para la conservación de alimentos. Los recubrimientos de quitosana demostraron ser eficaces en la reducción de la pérdida de humedad y la mejora de la calidad sensorial de productos alimenticios (Anaya-Esparza et al., 2020).

#### **Industria farmacéutica**

Desai et al. (2023) exploraron el empleo de quitosana como un excipiente en sistemas de liberación controlada de fármacos. La quitosana permite la liberación sostenida y controlada de medicamentos, lo que mejora la eficacia terapéutica y reduce los efectos secundarios. Además, la biocompatibilidad y biodegradabilidad de la quitosana lo hacen adecuado para aplicaciones farmacéuticas.

Se utilizó la quitosana como material base para la fabricación de nanopartículas que se utilizan en la administración controlada de fármacos. Las nanopartículas de quitosana fueron evaluadas por su capacidad de encapsular y liberar medicamentos de manera controlada, lo que las hace útiles en la terapia de enfermedades crónicas (El-Kased et al., 2017).

### **Industria cosmética**

La investigación de Kulka & Sionkowska (2023) revisaron el uso de quitosana en la industria cosmética, donde se utiliza en productos como cremas, lociones y mascarillas faciales debido a sus propiedades humectantes, antioxidantes y antimicrobianas. El estudio destacó cómo la quitosana mejora la hidratación de la piel y protege contra los daños causados por los radicales libres.

Kulka & Sionkowska (2023) discutieron las aplicaciones de la quitosana en cosméticos, destacando su uso como agente hidratante y en productos antienvjecimiento. Los beneficios de la quitosana incluyen su capacidad para formar una barrera protectora sobre la piel y mejorar la absorción de ingredientes activos.

### **Industria textil**

El uso de quitosana en la industria textil para la fabricación de materiales antibacterianos, antimicrobianos y biodegradables fue evaluado por Hameed et al. (2022). La quitosana se utilizó para modificar las propiedades de los tejidos, mejorando su durabilidad y su resistencia a la contaminación microbiana, lo que la hace útil en la fabricación de textiles funcionales.

Hemmingsen et al. (2021) destacaron las propiedades mejoradas de los tejidos tratados con quitosana, como la resistencia al agua, la mejora en la suavidad y la capacidad de inhibir el crecimiento de microorganismos. Los productos textiles tratados con quitosana tienen aplicaciones en ropa deportiva, uniformes médicos y textiles para la salud.

La investigación sobre la aplicación de quitosana en diversas industrias muestra su versatilidad como biopolímero natural. En la industria alimentaria, se utiliza para conservación y recubrimientos comestibles; en la industria farmacéutica, como excipiente para la liberación controlada de fármacos; en la industria cosmética, en productos de cuidado de la piel, y en aplicaciones ambientales, para la remoción de contaminantes (Jiménez-Gómez & Cecilia, 2020). Estas investigaciones subrayan el potencial de la quitosana en la promoción de prácticas sostenibles y en la reducción del impacto ambiental, especialmente en el marco de la economía circular.

### **Aplicaciones ambientales y en la gestión de residuos**

Se evaluó el uso de quitosana como un material sostenible para la eliminación de metales pesados en aguas contaminadas. La quitosana mostró una alta capacidad de adsorción para

contaminantes como plomo y cadmio, lo que la convierte en una opción prometedora para el tratamiento de aguas residuales (Rahman, 2024).

Pal et al. (2021) evaluaron la aplicación de quitosana en la remoción de contaminantes ambientales, como tintes industriales y metales pesados. La capacidad de la quitosana para unirse a contaminantes y formar complejos sólidos la convierte en un material eficaz para la purificación de aguas y la descontaminación ambiental.

### **Economía circular en la gestión de residuos sólidos**

#### **Definición de economía circular y su aplicación en la industria de alimentos y bebidas**

La economía circular es un modelo económico que busca maximizar la reutilización, el reciclaje y la regeneración de recursos, promoviendo un ciclo continuo de producción y consumo que reduce al mínimo los residuos. En contraposición al modelo lineal tradicional de "tomar, hacer, desechar", la economía circular se enfoca en cerrar los ciclos de vida de los productos mediante la utilización correcta de los recursos, la reutilización de materiales y la minimización de residuos (Smol et al., 2024). Esta economía busca transformar los residuos en recursos valiosos, impulsando la sostenibilidad y reduciendo el impacto ambiental. En este contexto, se promueve una relación más equilibrada entre las actividades humanas y los recursos naturales, lo que resulta en la lucha contra el agotamiento de los recursos y el cambio climático (Geissdoerfer et al., 2017).

La industria de alimentos y bebidas es una de las más grandes en la economía global, pero también es una de las principales generadoras de residuos, tanto orgánicos como no orgánicos. La aplicación de los principios de la economía circular en esta industria tiene el objetivo de transformar los procesos de producción, distribución y consumo hacia prácticas más sostenibles. Esta transformación incluye la adopción de tecnologías y estrategias para reducir los residuos generados, promover la reciclabilidad de los materiales y asegurar el aprovechamiento de subproductos. Por ejemplo, el reciclaje de empaques, la reutilización de subproductos alimentarios, la gestión eficaz del agua y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero son aspectos en los cuales se implementan las estrategias circulares (Ouro-Salim et al., 2024).

Un caso práctico de aplicación de la economía circular en la industria de alimentos y bebidas es la reutilización de residuos orgánicos. Muchas empresas del sector están incorporando sistemas para transformar los residuos alimentarios en productos útiles, como

biocombustibles, fertilizantes o incluso nuevos ingredientes alimenticios. Un ejemplo de esto es la digestión anaeróbica para convertir los residuos orgánicos en biogás, que se utiliza como fuente de energía en la misma planta de producción (Bocken et al., 2016). Además, las industrias de bebidas están adoptando procesos para reciclar sus envases, contribuyendo a la reducción de plásticos y otros materiales de difícil reciclaje.

Otro aspecto de la economía circular en la industria de alimentos y bebidas es la optimización de la cadena de suministro. Esto incluye la mejora de los procesos de producción para reducir los residuos durante las etapas de manufactura y distribución. Las empresas están implementando modelos de negocio basados en la sostenibilidad, donde se optimiza el uso de los recursos a través de estrategias como la reducir, reutilizar y reciclar. De esta manera, se mejora la eficiencia operativa y se fomentan las relaciones comerciales con proveedores y consumidores que valoran la sostenibilidad (Kumar et al., 2020).

Además de los beneficios ambientales, la implementación de la economía circular en la industria alimentaria también puede generar ventajas económicas. La reducción de costos mediante la optimización de recursos, la mejora en la eficiencia energética y la utilización de residuos como insumos para nuevos productos puede llevar a una disminución de los gastos operativos y a la creación de nuevos mercados para los productos reciclados o reutilizados. La integración de la circularidad favorece la sostenibilidad y posiciona a las empresas como líderes en innovación y responsabilidad social empresarial, lo que se traduce en una ventaja competitiva a largo plazo (Murray et al., 2017).

### **Desafíos y oportunidades en la implementación de la economía circular**

Aunque la economía circular ofrece numerosos beneficios, su implementación en la industria de alimentos y bebidas presenta varios desafíos. Entre los obstáculos se encuentran la alta inversión inicial en tecnologías de reciclaje, la falta de infraestructura para gestionar residuos y la resistencia al cambio por parte de algunas empresas tradicionales (PAGE, 2023). Sin embargo, estos desafíos también abren puertas a oportunidades de innovación, ya que la adopción de nuevas tecnologías y procesos sostenibles puede generar un impacto positivo tanto en el medio ambiente como en la rentabilidad de las empresas.

La economía circular es un enfoque para hacer más sostenibles las actividades de la industria de alimentos y bebidas, permitiendo la transformación de residuos en recursos valiosos y reduciendo el impacto ambiental de las operaciones industriales. A través de la

implementación de prácticas circulares como el reciclaje de materiales, la reutilización de subproductos y la optimización de la cadena de suministro, las empresas pueden mejorar su eficiencia, reducir costos y aumentar su competitividad en el mercado global. Si bien existen desafíos en la adopción de este modelo, las oportunidades para innovar y contribuir a un futuro más sostenible son amplias (Hsieh et al., 2024).

### **Beneficios del modelo de economía circular en la reducción de residuos, la reutilización de materiales y el reciclaje**

El modelo de economía circular ofrece una serie de beneficios ambientales, económicos y sociales al transformar la forma en que las empresas y las sociedades gestionan los recursos. Este modelo promueve la reducción de residuos, la reutilización de materiales y el reciclaje, lo que resulta en una economía más sostenible y eficiente (Yang et al., 2023). A continuación, se presentan los principales beneficios asociados con la implementación de este modelo.

#### **Reducción de residuos**

Uno de los beneficios más evidentes de la economía circular es su capacidad para reducir la cantidad de residuos generados. En lugar de adoptar un enfoque lineal de "tomar, hacer, desechar", donde los productos llegan al final de su vida útil y son desechados, la economía circular busca alargar la vida útil de los productos y minimizar el desperdicio. Esto se logra mediante el diseño de productos duraderos, reparables y actualizables. Además, fomenta la optimización de recursos durante la producción, lo que reduce la generación de residuos desde las etapas iniciales del ciclo de vida de los productos (Geissdoerfer et al., 2017). La implementación de estrategias como la mejora en los procesos de producción y la adopción de tecnologías más limpias también contribuye a la disminución de residuos generados.

En términos de residuos orgánicos, la economía circular fomenta el uso de tecnologías de aprovechamiento, como el compostaje o la digestión anaeróbica, para convertir los residuos en recursos útiles, como abonos orgánicos o biogás, en lugar de enviarlos a vertederos (Murray et al., 2017). Esta práctica reduce significativamente el volumen de residuos sólidos, contribuyendo a la conservación del medio ambiente.

#### **Reutilización de materiales**

La economía circular promueve el concepto de reutilización, en el cual los productos o materiales al final de su vida útil no son simplemente desechados, sino que se reincorporan al ciclo productivo para ser reutilizados en su forma original o transformados en nuevos

productos. Este enfoque reduce la demanda de recursos naturales y limita la necesidad de extracción de materias primas, contribuyendo a la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad. La reutilización de materiales también reduce la necesidad de procesos de reciclaje más costosos y energéticamente intensivos, lo que hace que la reutilización sea una opción más eficaz y menos impactante ambientalmente (Megale et al., 2020).

En la práctica, esto implica diseñar productos con materiales que puedan ser fácilmente recuperados y reutilizados, lo cual es un principio de la economía circular basada en el diseño. Un ejemplo de esto es la industria textil, donde se han desarrollado sistemas para reutilizar ropa y textiles al final de su vida útil. En la industria de la construcción, también se ha comenzado a reutilizar materiales como el concreto y los metales, reduciendo así la demanda de nuevos recursos y reduciendo los residuos generados en los proyectos de construcción (Bocken et al., 2016).

### **Reciclaje eficiente**

El reciclaje es otro componente de la economía circular, y sus beneficios son especialmente notables en la reducción de la contaminación y la conservación de recursos naturales. El reciclaje permite que los materiales que de otro modo terminarían en vertederos o incineradoras sean procesados y transformados en nuevos productos. Esto reduce la necesidad de minar recursos naturales, lo que contribuye a la protección de los ecosistemas y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la extracción de materiales y la fabricación de productos nuevos (Ouro-Salim et al., 2024).

Además, el reciclaje genera una nueva economía circular al crear nuevos mercados para los materiales reciclados. Estos materiales reciclados pueden ser utilizados en la producción de una amplia gama de productos, desde plásticos reciclados que se utilizan en la fabricación de nuevos envases, hasta metales reciclados que se usan en la industria automotriz o de la construcción. La mejora de los procesos de reciclaje, como la separación de materiales y la mejora de las tecnologías de reciclado, ayuda a aumentar la tasa de recuperación de materiales y reduce la dependencia de los recursos vírgenes (Kumar et al., 2020).

### **Beneficios económicos y competitividad**

El modelo de economía circular ofrece beneficios ambientales y puede tener un impacto positivo en la economía. Al reducir la dependencia de recursos naturales y disminuir los costos asociados con la gestión de residuos, las empresas pueden optimizar sus procesos

productivos y reducir sus costos operativos. Además, al incorporar el reciclaje y la reutilización, las empresas pueden generar nuevos productos o servicios a partir de materiales reciclados, lo que puede abrir nuevas oportunidades de negocio y aumentar la competitividad (Bocken et al., 2016).

Además, la adopción de la economía circular puede mejorar la reputación de las empresas ante los consumidores, que cada vez valoran más la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental. Las marcas que implementan prácticas circulares pueden atraer a un público más consciente del medio ambiente, lo que se traduce en una ventaja competitiva en un mercado global que cada vez es más consciente de los problemas ambientales.

### **Impacto social y generación de empleo**

La transición hacia una economía circular también puede tener un impacto positivo en el empleo. La implementación de prácticas de reciclaje, reutilización y reducción de residuos genera nuevas oportunidades laborales en sectores como el reciclaje, el diseño de productos sostenibles y la gestión de residuos. Estas oportunidades de empleo pueden contribuir a la reducción de la pobreza y mejorar la calidad de vida de las comunidades. Asimismo, la economía circular fomenta un enfoque inclusivo que involucra a la sociedad en su conjunto en la transición hacia un modelo más sostenible, lo que puede generar un impacto social positivo a largo plazo (Lingaitiene & Burinskiene, 2024).

El modelo de economía circular es una estrategia poderosa para reducir los residuos, promover la reutilización de materiales y mejorar los procesos de reciclaje. Este enfoque beneficia al medio ambiente al reducir la presión sobre los recursos naturales y minimizar la contaminación (Yang et al., 2023), también ofrece ventajas económicas, sociales y competitivas. A medida que las empresas y gobiernos adoptan principios circulares, se espera que los beneficios de este modelo continúen expandiéndose, impulsando la creación de una economía más sostenible y resiliente.

### **Principios de la economía circular aplicados a la valorización de residuos orgánicos**

La economía circular es un modelo económico que promueve la reducción, reutilización y reciclaje de recursos con el fin de minimizar los residuos y maximizar el valor de los materiales y productos durante todo su ciclo de vida. En el caso de los residuos orgánicos, la economía circular juega un papel fundamental al transformar estos materiales, que tradicionalmente se consideran desechos, en recursos valiosos mediante procesos de

valorización. A continuación, se analizan los principios de la economía circular aplicados a la valorización de residuos orgánicos.

### **Diseño para la circularidad**

El primer principio de la economía circular es el diseño para la circularidad, que implica la creación de productos y procesos que maximicen la reutilización y el reciclaje de materiales al final de su vida útil. En el contexto de los residuos orgánicos, esto significa que los procesos de producción deben ser diseñados para facilitar la recuperación y valorización de los residuos generados. Por ejemplo, en la industria alimentaria, los residuos orgánicos como cáscaras de frutas, restos de vegetales o residuos de procesamiento de alimentos pueden ser diseñados para ser transformados en compuestos orgánicos, como compost o biogás, a través de técnicas de valorización efectiva (Kumar et al., 2020).

Además, este principio implica el uso de materias primas biodegradables y de fácil descomposición, lo que facilita su tratamiento en sistemas de gestión de residuos orgánicos. El diseño ecológico de productos, como empaques biodegradables o productos alimenticios, permite que los residuos generados se integren en los ciclos naturales, minimizando su impacto ambiental.

### **Cierre de ciclos de materiales (ciclo cerrado)**

El cierre de ciclos es otro principio de la economía circular, que se refiere a la idea de crear un ciclo cerrado en el que los productos, materiales o recursos sean continuamente reutilizados, reciclados o recuperados, evitando así la generación de residuos. En la valorización de residuos orgánicos, esto se puede lograr mediante el compostaje o la digestión anaeróbica, que permiten convertir los residuos orgánicos en productos útiles, como fertilizantes o biocombustibles. De esta forma, los residuos no terminan en vertederos, sino que se reincorporan al ciclo productivo como recursos valiosos.

Por ejemplo, los residuos orgánicos generados en la agricultura o la industria alimentaria pueden ser transformados en fertilizantes orgánicos a través del compostaje, que, a su vez, puede ser utilizado para mejorar la calidad del suelo y promover una agricultura más sostenible. Este ciclo cerrado contribuye a la reducción de la contaminación y la conservación de recursos naturales, ya que se evita la extracción de recursos como fertilizantes sintéticos (Murray et al., 2017).

### **Uso eficiente de los recursos**

Un principio de la economía circular es maximizar el uso eficiente de los recursos mediante la optimización de procesos, la mejora de la eficiencia energética y la reducción de las pérdidas de material. En la valorización de residuos orgánicos se utilizan tecnologías y procesos que transformen los residuos en productos útiles, además de utilizar la menor cantidad posible de energía y recursos. Las tecnologías de digestión anaeróbica, por ejemplo, permiten transformar residuos orgánicos en biogás y generar un subproducto valioso, el digestato, que puede ser utilizado como fertilizante (Alengebawy et al., 2024).

Además, la valoración energética de residuos orgánicos a través de procesos como la producción de biogás o bioenergía permite generar fuentes de energía renovables, que contribuyen a reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables y disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero. Así, el uso de los recursos en la valorización de residuos orgánicos favorece la creación de un sistema más sostenible y resiliente (Barasa & Olanrewaju, 2022).

### **Minimización de residuos y contaminación**

Otro principio de la economía circular que se aplica en la valorización de residuos orgánicos es la minimización de residuos y contaminación. Esto se refiere a la reducción de la cantidad de residuos generados a través de la optimización de procesos y la mejora de la eficiencia en el uso de materiales. La valorización de residuos orgánicos mediante el compostaje, la fermentación o la digestión anaeróbica reduce significativamente la cantidad de residuos orgánicos que terminan en vertederos, minimizando así la contaminación del suelo y el agua (Kumar et al., 2020).

El proceso de compostaje, por ejemplo, convierte los residuos orgánicos en abono de alta calidad y reduce las emisiones de metano, un gas de efecto invernadero, que se generaría si los residuos se descompondrían de manera anaeróbica en vertederos. Además, el uso de tecnologías limpias en la valorización de residuos orgánicos, como la digestión aeróbica o la producción de biogás a partir de residuos, contribuye a la reducción de la contaminación atmosférica y a la mejora de la calidad del aire.

### **Sostenibilidad y creación de valor**

El principio de sostenibilidad es central en la economía circular, ya que busca crear valor económico, social y ambiental a largo plazo. En la valorización de residuos orgánicos, este

principio se manifiesta en la creación de nuevas oportunidades de negocio y la generación de empleos verdes (Rosário et al., 2024). La conversión de residuos orgánicos en biocombustibles, bioproductos o fertilizantes orgánicos contribuye a la sostenibilidad ambiental y promueve la economía local y puede generar ingresos adicionales para las comunidades rurales y urbanas.

Por ejemplo, la producción de biogás a partir de residuos orgánicos reduce la dependencia de los combustibles fósiles y puede generar empleos en el sector de la energía renovable. Del mismo modo, la comercialización de productos como compost o fertilizantes orgánicos derivados de residuos alimentarios puede ofrecer oportunidades de negocio sostenible para pequeñas y medianas empresas, favoreciendo la inclusión social y la creación de valor compartido (Barasa & Olanrewaju, 2022).

La valorización de residuos orgánicos a través de los principios de la economía circular ayuda a reducir el impacto ambiental de los residuos y fomenta el uso de los recursos, promueve la creación de valor económico y contribuye a la sostenibilidad. Implementando prácticas de economía circular en la gestión de residuos orgánicos, es posible transformar lo que tradicionalmente se considera un problema ambiental en una oportunidad para el desarrollo económico y social, alineando los objetivos empresariales con los principios de sostenibilidad global.

### **Beneficios sociales y económicos de la valorización de residuos a través de la economía circular**

#### **Impacto social y económico de la valorización de residuos en las comunidades locales**

La valorización de residuos se ha convertido en una estrategia para fomentar el desarrollo sostenible en comunidades locales. Este proceso, que busca transformar los desechos en recursos útiles como energía, compost o materiales reutilizables, genera múltiples beneficios en los ámbitos social y económico (Anuardo et al., 2022). A continuación, se analizan estos impactos en detalle.

El impacto social (Iofrida et al., 2024) incluye la creación de empleo, pues con la implementación de proyectos de valorización de residuos promueve la generación de empleos directos e indirectos, desde la recolección y clasificación de residuos hasta su transformación en productos aprovechables. También fortalece la conciencia ambiental al fomentar la participación activa de la comunidad en programas de separación y reciclaje

fomenta una cultura de sostenibilidad. Las campañas educativas relacionadas con la valorización de residuos incrementan el conocimiento sobre el cuidado del medio ambiente y la importancia de la economía circular.

Mejora en la calidad de vida a través de la gestión de los residuos reduce la contaminación, mejora la salud pública y crea entornos más limpios. Esto contribuye a un mayor bienestar en las comunidades, particularmente en aquellas más vulnerables. Empodera la comunidad al involucrar las comunidades en iniciativas de valorización fortalece el tejido social, fomenta la participación ciudadana y refuerza la autoestima colectiva al transformar problemas como la acumulación de basura en oportunidades de desarrollo.

El impacto económico (Kulakovskaya et al., 2023) se refleja en la reducción de costos de disposición de residuos al valorizar los residuos, se minimiza la cantidad de desechos que deben ser gestionados en vertederos o incinerados. Esto se traduce en un ahorro significativo para las administraciones locales y empresas encargadas de la gestión de residuos. Se generan ingresos a partir de los materiales reciclados, el compost y los productos derivados de los residuos orgánicos pueden ser comercializados, proporcionando nuevas fuentes de ingresos para las comunidades y pequeños emprendedores locales. Se impulsa la economía circular con la valorización de residuos estimula la creación de cadenas de valor locales, promoviendo la innovación y el desarrollo de industrias basadas en el reciclaje y la reutilización. Facilita la atracción de inversiones, estas iniciativas de valorización de residuos suelen ser atractivas para inversores interesados en proyectos sostenibles. Esto puede traducirse en el desarrollo de infraestructuras y tecnologías que beneficien a las comunidades.

A pesar de sus beneficios, la valorización de residuos enfrenta desafíos como la necesidad de infraestructura, financiamiento inicial, y cambios en los hábitos de consumo y disposición de desechos. Sin embargo, el involucramiento activo de gobiernos, empresas y la sociedad civil puede transformar estos retos en oportunidades para fomentar un desarrollo más equitativo y sostenible.

La valorización de residuos contribuye a la sostenibilidad ambiental e impacta positivamente en la economía y el bienestar social de las comunidades locales (Abubakar et al., 2022). Al integrar este enfoque en políticas públicas y proyectos comunitarios, se promueve un modelo de desarrollo inclusivo que beneficia a las generaciones presentes y futuras.

## **Promoción de la innovación en la industria local mediante el aprovechamiento de residuo**

El sector de residuos y reciclaje es clave en la transición hacia una economía circular y sostenible, promoviendo la creación de empleo verde y generando nuevas oportunidades de negocio. Este enfoque integra prácticas sostenibles que contribuyen a la mitigación de los impactos ambientales e impulsan el desarrollo socioeconómico.

La economía circular ha transformado los modelos de negocio tradicionales, orientándolos hacia estrategias innovadoras basadas en el uso de los recursos, especialmente en el sector de residuos y reciclaje (Awan & Sroufe, 2022). Esto ha dado lugar a diversas oportunidades, como la creación de empresas especializadas en el reciclaje avanzado, impulsadas por la creciente demanda de materiales reciclados de alta calidad en industrias como la construcción, la automoción y la moda. Además, la valorización energética de residuos orgánicos mediante tecnologías como la digestión anaeróbica y la gasificación ha abierto nuevas posibilidades en la generación de biogás y electricidad, fortaleciendo el sector energético.

Los avances tecnológicos también han permitido el desarrollo de productos innovadores a partir de materiales reciclados, tales como plásticos biodegradables, textiles reciclados y materiales de construcción sostenibles. Paralelamente, el incremento en los objetivos de sostenibilidad corporativa ha estimulado la demanda de servicios de consultoría especializada en gestión de residuos, auditorías ambientales y diseño de estrategias de economía circular. La digitalización del sector ha facilitado la creación de plataformas que conectan generadores de residuos con recicladores, optimizando la logística inversa y reduciendo costos operativos, consolidándose como un componente en este modelo de negocio emergente (Alaghemandi, 2024).

El desarrollo de negocios en el sector de residuos y reciclaje tiene impactos positivos a nivel macroeconómico y ambiental. En términos económicos, fomenta el crecimiento de mercados locales, la reducción de costos de disposición final y la disminución de la dependencia de materias primas vírgenes (Rosário et al., 2024). Desde el punto de vista ambiental, contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la disminución de residuos en vertederos y la conservación de recursos naturales.

El aprovechamiento de residuos se ha consolidado como una estrategia innovadora en la industria local, abordando problemas ambientales y económicos mientras fomenta el desarrollo sostenible. Transformar los desechos en recursos valiosos impulsa la innovación tecnológica, estimula la economía circular y fortalece la competitividad empresarial (Laureti et al., 2024). Este enfoque, pilar básico de la economía circular, busca mantener el valor de los recursos mediante la reutilización, el reciclaje y la valorización de materiales. Las industrias locales pueden cerrar ciclos productivos al integrar residuos generados como insumos para nuevas aplicaciones, reduciendo la dependencia de materias primas vírgenes. La colaboración entre sectores permite intercambiar residuos como materia prima, promoviendo sistemas industriales más sostenibles.

La innovación tecnológica en este ámbito fomenta el desarrollo de biomateriales, polímeros reciclados y materiales compuestos para sectores como la construcción y la automoción. Tecnologías como la pirólisis y la digestión anaeróbica convierten residuos orgánicos en biocombustibles y energía, mientras que avances en sensores ópticos e inteligencia artificial optimizan la clasificación de desechos (Vasileiadou, 2024). El aprovechamiento de residuos abre nuevas oportunidades de negocio, como *startups* especializados en reciclaje, servicios de gestión sostenible y plataformas digitales que conectan generadores de residuos con empresas recicladoras, mejorando la logística inversa y reduciendo costos operativos.

Los beneficios para la industria local incluyen la reducción de costos al reutilizar residuos como materia prima, el acceso a mercados sostenibles y la diversificación de productos innovadores (Ibrahim et al., 2023). Además, este enfoque tiene impactos positivos en la sociedad y el medio ambiente al reducir la contaminación, fomentar la participación ciudadana en programas de reciclaje y generar empleo en actividades relacionadas con el procesamiento de residuos. Sin embargo, existen desafíos como la falta de infraestructura, financiamiento limitado y barreras regulatorias. Estos retos pueden superarse mediante inversiones en I+D, políticas públicas favorables y alianzas multisectoriales que promuevan soluciones sostenibles. Así, el aprovechamiento de residuos se posiciona como una herramienta clave para el desarrollo económico, social y ambiental en las comunidades locales.

## Capítulo II

### Obtención y caracterización de la quitosana

Se realizó una investigación discriminativa mediante observación directa en establecimientos que cumplieron con los siguientes criterios de inclusión: ubicarse en un barrio residencial urbano de Riobamba, contar con contenedores para la clasificación de residuos, participar en un programa de clasificación o estar dispuestos a clasificar, y tener conocimiento sobre la separación de residuos.

Las etapas previas a la obtención de quitina y quitosana (Gráfico N° 2) a partir de cáscaras de camarón garantizan la calidad del producto final. El proceso inició con la recolección de cáscaras de camarón durante dos días, obteniendo 5,44 kg de cáscaras de un total de 22,68 kg de camarón.



**Gráfico N° 2. Procesamiento de cáscaras de camarón a) pesado de la materia prima; b) lavado del camarón, c) patas limpias para utilizar, d) colas y patas de desechos, e) secado de las cáscaras de camarón, f) cáscaras de camarón deshidratadas y molidas.**

**Elaborado por: El autor.**

Las cáscaras se descongelaron en un lavabo con agua para separar los residuos adheridos; luego se lavaron y limpiaron. Posteriormente, se secaron en un horno a 65 °C durante 72 h y se molieron con un molino casero. Este producto se envasó en recipientes de vidrio herméticos hasta realizar la extracción de la quitina según el método de Barra et al. (2012).

### **Equipos usados en la obtención de quitina y quitosana**

Cabina de extracción de gases  
con flujo de aire para la  
preparación de las disoluciones



Bomba de vacío



Medidor de pH



Agitador



Estufa



## Materiales

Agua destilada



Papel filtro Whatman N° 1



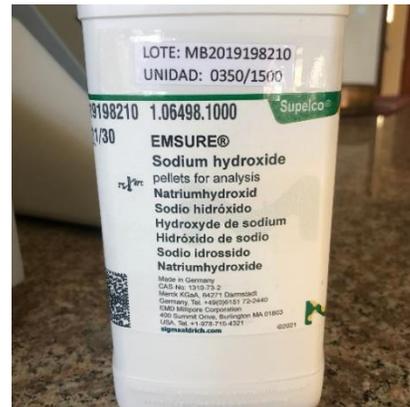
Matraz Erlenmeyer



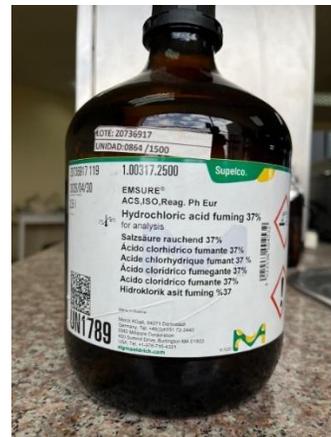
Vasos de precipitado



Hidróxido de sodio



Ácido clorhídrico fumante al 37 %



El proceso para obtener la quitosana incluyó tres fases fundamentales, desproteinización, desmineralización y desacetilación. Cada tratamiento se realizó por triplicado.

## Desproteínización

El proceso de desproteínización (Gráfico N° 3) comenzó con el secado de las cáscaras de camarón a 50 °C durante 24 horas, luego se procesó en un triturador de alimentos y se tamizó en un tamiz de 355 µm. Posteriormente, se prepararon tres tratamientos, se utilizaron tres disoluciones de HCl con concentraciones de 0,6 N (T1), 0,75 N (T2) y 1,3 N (T3). Luego se mezcló 100 g de polvo de cáscaras de camarón tamizado con la disolución de HCl correspondiente en una relación sólido-líquido de 1:10 dentro de un kitasato. Esta mezcla se colocó en un agitador a 30 °C durante 3 horas. Luego, se filtró al vacío y el residuo se lavó con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro. Finalmente, el residuo se secó en un horno a 55 °C.



Gráfico N° 3. Desproteínización de las cáscaras de camarón tamizadas.

Elaborado por: El autor.



**Gráfico N° 4. Polvo de cáscaras de camarón obtenido mediante secado a 50 °C, molienda y tamizado.**

**Elaborado por: El autor.**



**Gráfico N° 5. Inicio de la desproteinización.**

**Elaborado por: El autor.**

## Desmineralización

El proceso de desmineralización tiene como objetivo eliminar minerales presentes en la muestra. Primero, se prepararon tres disoluciones de hidróxido de sodio (NaOH) en la cámara de extracción con diferentes concentraciones: 1 % (T1), 4 % (T2) y 7 % (T3). A continuación, el procedimiento incluyó mezclar la quitina con la disolución de NaOH en un kitasato, manteniendo una relación sólido-líquido de 1:10. La mezcla se puso en un agitador durante 24 horas a 28 °C para permitir la reacción. Posteriormente, se filtró a vacío para separar los residuos sólidos del líquido. Los residuos sólidos se lavaron con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro, asegurando la eliminación completa de los reactivos y residuos no deseados. Finalmente, la muestra lavada se secó en estufa a 55 °C, completando así el proceso de desmineralización. Este procedimiento resulta en la obtención de quitina purificada como producto final.

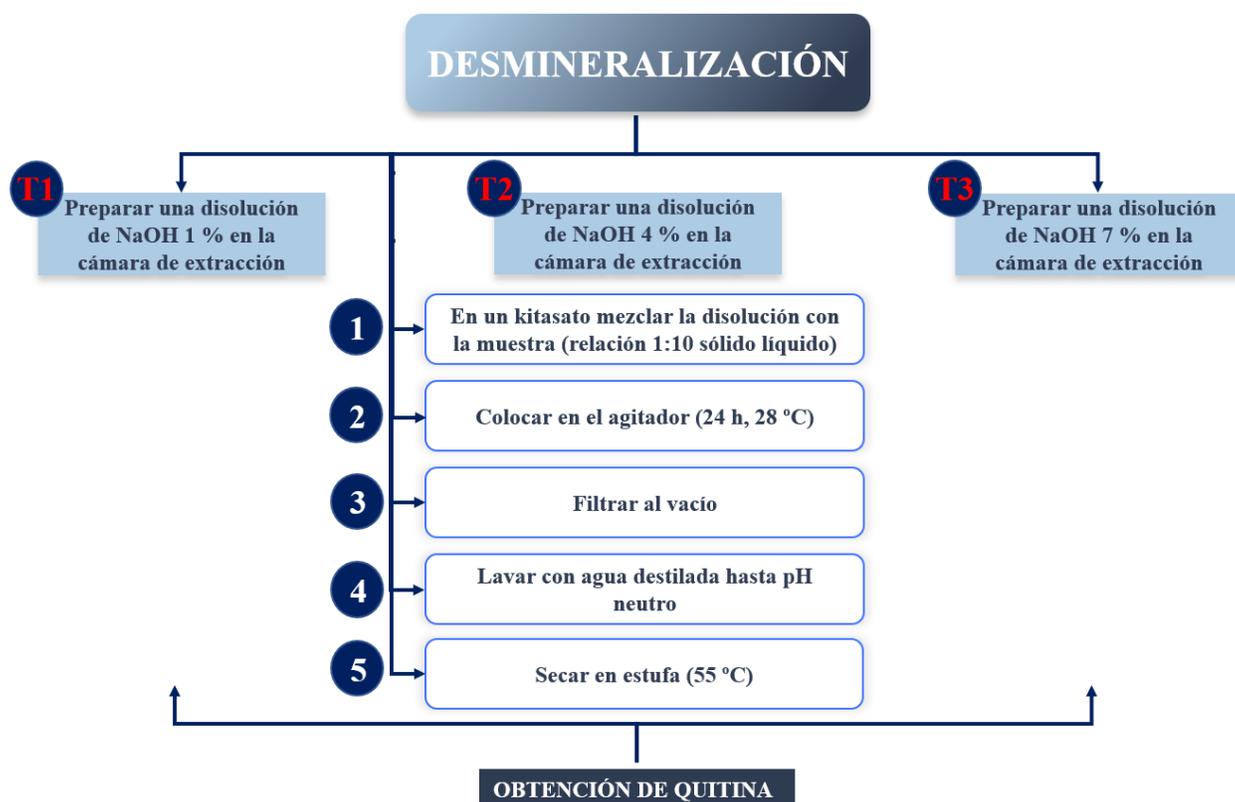


Gráfico N° 6. Desmineralización para la obtención de la quitina.

Elaborado por: El autor.

## Desacetilación

El proceso de desacetilación de la quitina se realizó para obtener quitosana. El procedimiento comenzó preparando una disolución de NaOH (hidróxido de sodio o sosa caustica) al 50 %. La quitina se mezcló con esta disolución en un kitasato, manteniendo una relación sólido-líquido de 1:4. La mezcla se agitó y se sometió a dos fases de calentamiento: la primera, durante 2 horas a 60 °C, y la segunda, durante 2 horas a 100 °C. Una vez completado este proceso, se filtró la mezcla al vacío para separar el sólido del líquido. El residuo sólido se lavó repetidamente con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro, asegurando la eliminación de cualquier residuo alcalino. Finalmente, el sólido neutralizado se secó en una estufa a 55 °C, obteniendo como producto final la quitosana.

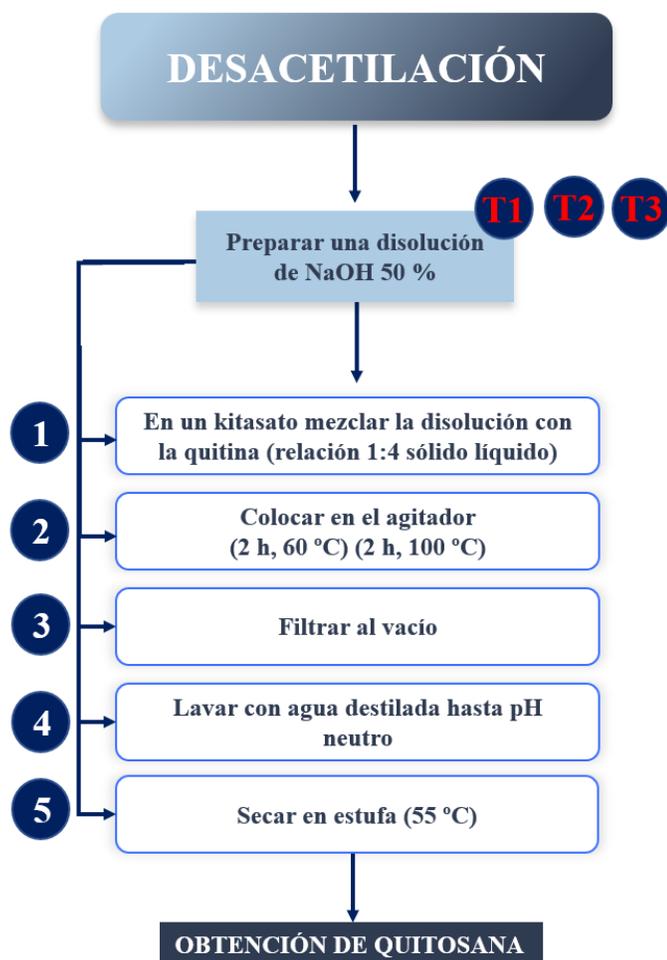
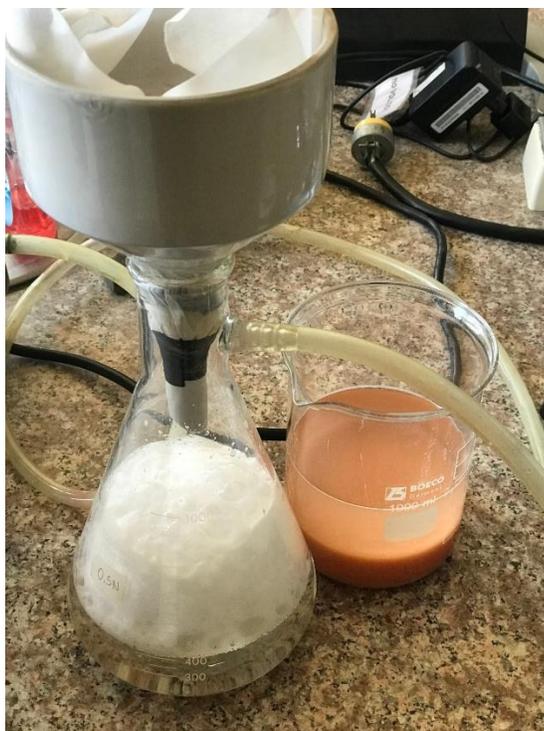


Gráfico N° 7. Obtención de la quitosana por desacetilación química de la quitina.

Elaborado por: El autor.



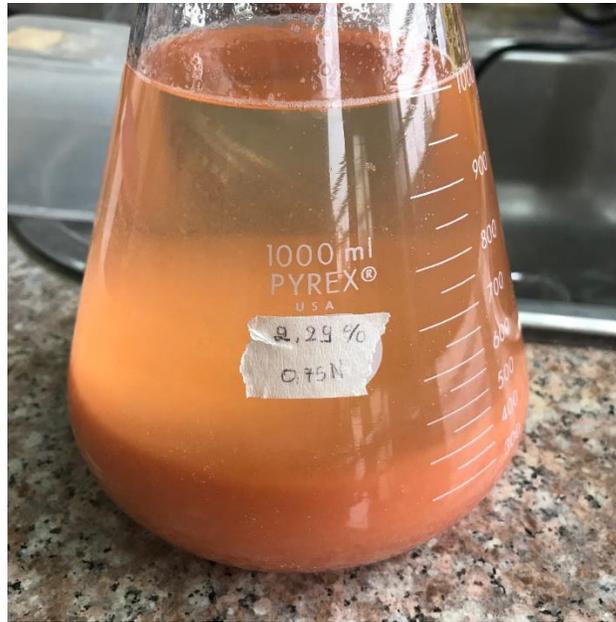
**Gráfico N° 8. Filtración a vacío con kitasato.**

**Elaborado por: El autor.**



**Gráfico N° 9. Muestras en el agitador.**

**Elaborado por: El autor.**



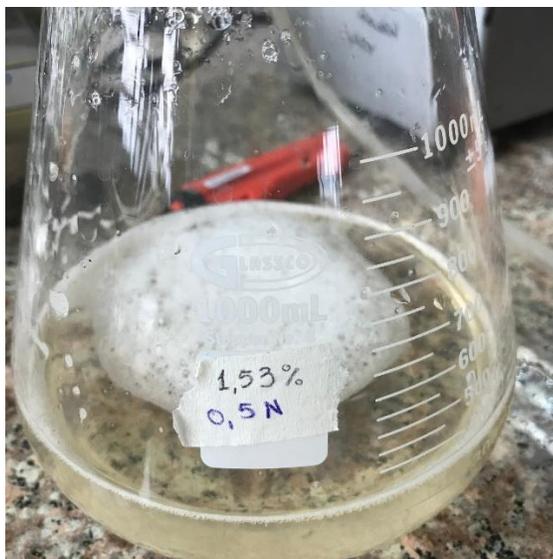
**Gráfico N° 10. Muestras tras 24 horas de reposo.**

**Elaborado por: El autor.**



**Gráfico N° 11. Residuo de la filtración.**

**Elaborado por: El autor.**



**Gráfico N° 12. Filtrado.**

**Elaborado por: El autor.**



**Gráfico N° 13. Determinación de pH.**

**Elaborado por: El autor.**



**Gráfico N° 14. Secado en estufa.**

**Elaborado por: El autor.**

### **Identificación de grupos funcionales**

La metodología para realizar es el análisis FTIR (Espectroscopia Infrarroja Transformada de Fourier) (Cheng et al., 2020) en quitosana en polvo implica preparar la muestra, asegurando su limpieza y homogeneización antes del análisis. Se pesó entre 1-2 mg de la muestra, que se secó previamente en caso necesario, y se mezcló con KBr para formar un disco. El espectrómetro FTIR se ajustó a una resolución de  $4-8\text{ cm}^{-1}$  y un rango de  $4000-400\text{ cm}^{-1}$ . Tras colocar la muestra, se realizó el análisis con múltiples escaneos, registrando las principales bandas de absorción como los grupos  $-\text{OH}$ , amida,  $\text{C}-\text{N}$  y  $\text{C}-\text{O}$ . Los resultados se compararán con los grupos los grupos funcionales característicos de la quitosana.

### **Microscopía electrónica de barrido**

La microscopía electrónica de barrido (SEM) para quitosana (Su et al., 2022) se realizó mediante la preparación de una muestra de quitosana en polvo seca y homogeneizada. La muestra se colocó sobre un soporte conductor, como un *stub*, y se cubrió con una capa delgada de oro para garantizar la conductividad eléctrica. Luego, se observó la muestra en un microscopio electrónico de barrido, donde se obtuvo una imagen de alta resolución de la

superficie y la morfología de las partículas de quitosana. Este análisis permite evaluar la textura, forma de las partículas, tamaño y cualquier posible aglomeración, proporcionando información sobre las características estructurales del material.

### **Análisis de factibilidad**

Se realizó un estudio preliminar para identificar los restaurantes de comida costeña que generan cáscaras de camarón y se estableció un sistema de recolección adecuado, que contempló la cantidad y frecuencia de las cáscaras disponibles para asegurar un suministro constante. Luego, se evaluaron las condiciones técnicas para el proceso de obtención de quitosana, analizando las etapas de limpieza, desmineralización, desacetilación y secado, para determinar la viabilidad de implementar un sistema de producción local.

Además, se realizó un análisis económico para estimar los costos de inversión inicial, además, se consideran los aspectos sociales, como la generación de empleo local y la mejora en la gestión de residuos, y los impactos ambientales, tales como la reducción de residuos orgánicos y la sostenibilidad del proyecto. Finalmente, se realizó un análisis de riesgos para identificar posibles barreras operativas, logísticas o económicas, y se establecen estrategias de mitigación para garantizar la factibilidad y viabilidad del proyecto a largo plazo.

## Capítulo III

### Sistema de recolección de cáscaras de camarón

El sistema de recolección debe ser eficiente, sostenible y adaptable a las necesidades de los establecimientos de A&B de los cuales se obtienen las cáscaras de camarón. A continuación, se presenta cada fase del sistema de recolección:

#### 1. Identificación y segmentación de establecimientos

**Identificar:** Debe realizarse un censo inicial para identificar y registrar los establecimientos generadores (restaurantes, marisquerías, procesadoras de alimentos).

**Clasificación:** Los establecimientos se deben clasificar de acuerdo al volumen de cáscaras de camarón generadas:

- Pequeños generadores: Menos de 5 kg/semana.
- Medianos generadores: Entre 5 y 20 kg/semana.
- Grandes generadores: Más de 20 kg/semana.

#### 2. Diseño de la logística de recolección

**Frecuencia de recolección:** Se deben establecer días fijos para cada tipo de establecimiento, considerando también el volumen de cáscaras de camarón generadas:

- Pequeños generadores: Recolección una vez por semana.
- Medianos y grandes generadores: La recolección debe ser de dos a tres veces por semana para evitar acumulación o deterioro de las cáscaras.

**Rutas de recolección optimizadas:** Planificar rutas que minimicen el tiempo y los costos de transporte. Dividir la ciudad en zonas según la densidad de establecimientos generadores.

**Transporte:** Utilizar vehículos equipados con contenedores sellados para prevenir derrames, olores y contaminación. Se deben implementar sistemas de refrigeración en caso de que las cáscaras deban transportarse a larga distancia o almacenarse temporalmente.

#### 3. Protocolo de separación y entrega

**Separación en el origen:** Capacitar al personal de los establecimientos para separar las cáscaras de camarón de otros residuos. Proveer contenedores exclusivos para cáscaras que sean resistentes y fáciles de lavar, con tapa hermética para evitar olores y atracción de plagas.

**Normas de limpieza inicial:** Solicitar que las cáscaras sean enjuagadas en los establecimientos antes de depositarlas en los contenedores para reducir carga orgánica y contaminación.

**Entrega al recolector:** Establecer horarios puntuales para la entrega, evitando acumulaciones prolongadas en los establecimientos.

#### **4. Gestión y almacenamiento centralizado**

**Recepción en el centro de acopio:** Diseñar un centro de acopio donde las cáscaras recolectadas sean inspeccionadas y pesadas para registrar el volumen recibido. Clasificar las cáscaras según su estado y descartar aquellas en mal estado.

**Almacenamiento temporal:** Mantener las cáscaras en cámaras refrigeradas (a 0-4 °C) para evitar la descomposición hasta que sean procesadas. Implementar un sistema FIFO (*first in, first out*) para garantizar que las cáscaras más antiguas sean procesadas primero.

#### **5. Digitalización y monitoreo del sistema**

**Sistema de registro:** Desarrollar una plataforma digital para registrar la cantidad de cáscaras recolectadas por establecimiento, las rutas de recolección y el impacto ambiental generado (reducción de residuos).

**Seguimiento de indicadores:** Medir indicadores como el volumen de cáscaras recolectadas por semana, reducción de residuos orgánicos enviados a rellenos sanitarios y eficiencia de las rutas de transporte.

#### **6. Educación y sensibilización**

**Capacitación inicial:** Realizar talleres para el personal de los establecimientos generadores, explicando los beneficios del proyecto y las buenas prácticas de manejo de residuos.

**Comunicación constante:** Proveer material informativo sobre los resultados e impactos del proyecto para motivar la participación continua.

**Reconocimiento:** Entregar certificados o insignias a los establecimientos participantes, destacándolos como aliados sostenibles.

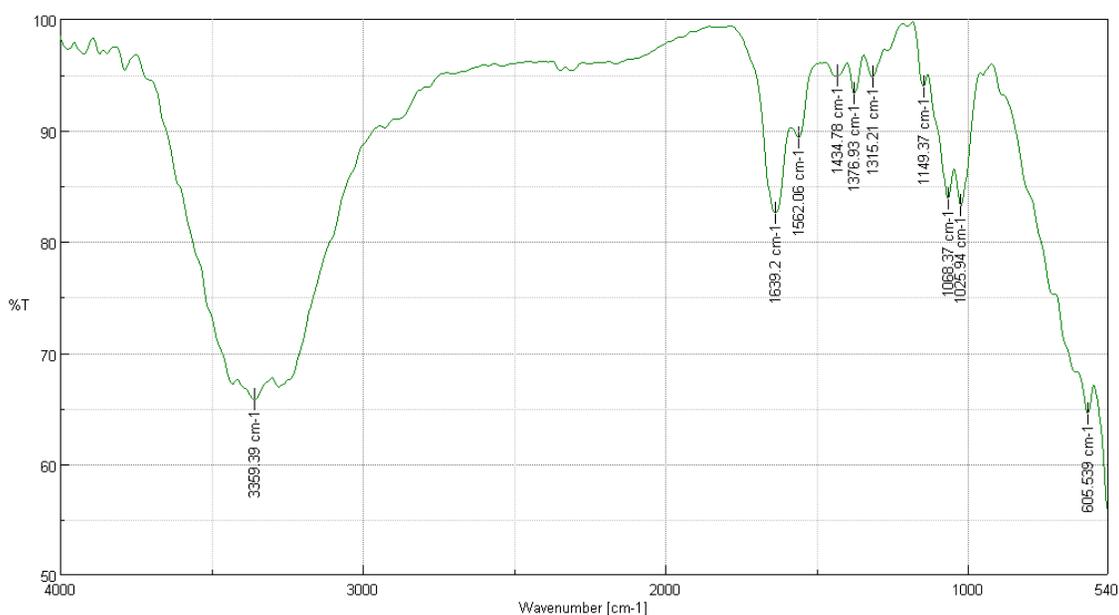
### **Caracterización de la quitosana**

#### **Identificación de grupos funcionales**

La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) es una herramienta para la caracterización de la quitosana, ya que permite identificar sus grupos funcionales y evaluar su grado de desacetilación. Estas bandas proporcionan información valiosa sobre la estructura química de la quitosana y permiten diferenciarla de su precursor, la quitina. La

presencia e intensidad de estas señales en el espectro FTIR permiten confirmar la obtención de quitosana y evaluar su pureza y grado de desacetilación.

En los espectros del tratamiento 1 (Gráfico N° 15) se identificaron varias bandas características de grupos funcionales. Destacaron las bandas en  $3359,39\text{ cm}^{-1}$  correspondientes a la vibración de estiramiento O-H (hidroxilos) o N-H (amidas o aminas), y en  $1639,2\text{ cm}^{-1}$ , atribuida al estiramiento C=O (cetonas o amidas) o a la flexión del agua absorbida. Las bandas en  $1562,06$  y  $1434,78\text{ cm}^{-1}$  pueden asociarse a vibraciones de C=C en sistemas aromáticos y deformaciones C-H, respectivamente.



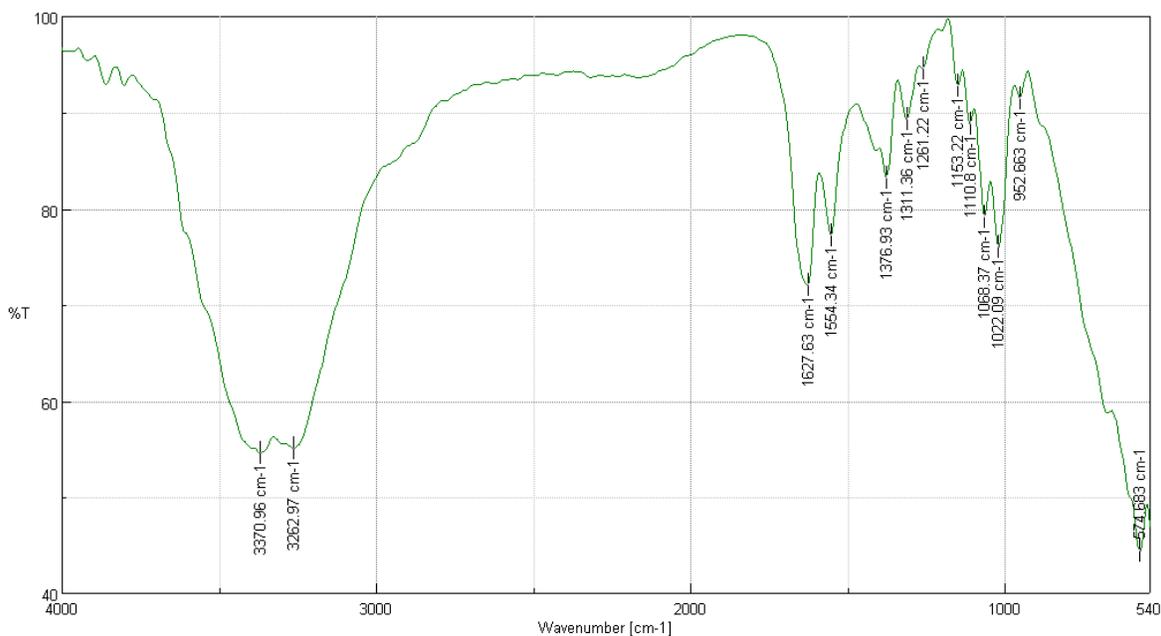
**Gráfico N° 15. Espectro FTIR de la quitosana de camarón obtenida a partir del tratamiento 1.**

**Elaborado por: El autor.**

Además, se observaron vibraciones en  $1315,21$  y  $1149,37\text{ cm}^{-1}$ , correspondientes a C-N (amina terciaria) y C-O (alcoholes o éteres), mientras que las bandas en la región baja, como  $605,54\text{ cm}^{-1}$ , indican vibraciones fuera del plano de enlaces C-H en sistemas aromáticos.

Los espectros del tratamiento 2 (Gráfico N° 16) mostraron bandas similares, pero con diferencias en intensidades y posiciones respecto a los del tratamiento 1. Se destacaron las bandas en  $3370,96$  y  $3262,97\text{ cm}^{-1}$ , asociadas a estiramientos N-H o O-H. La banda en  $1627,63\text{ cm}^{-1}$  indica un grupo carbonilo (C=O), mientras que la banda en  $1554,34\text{ cm}^{-1}$

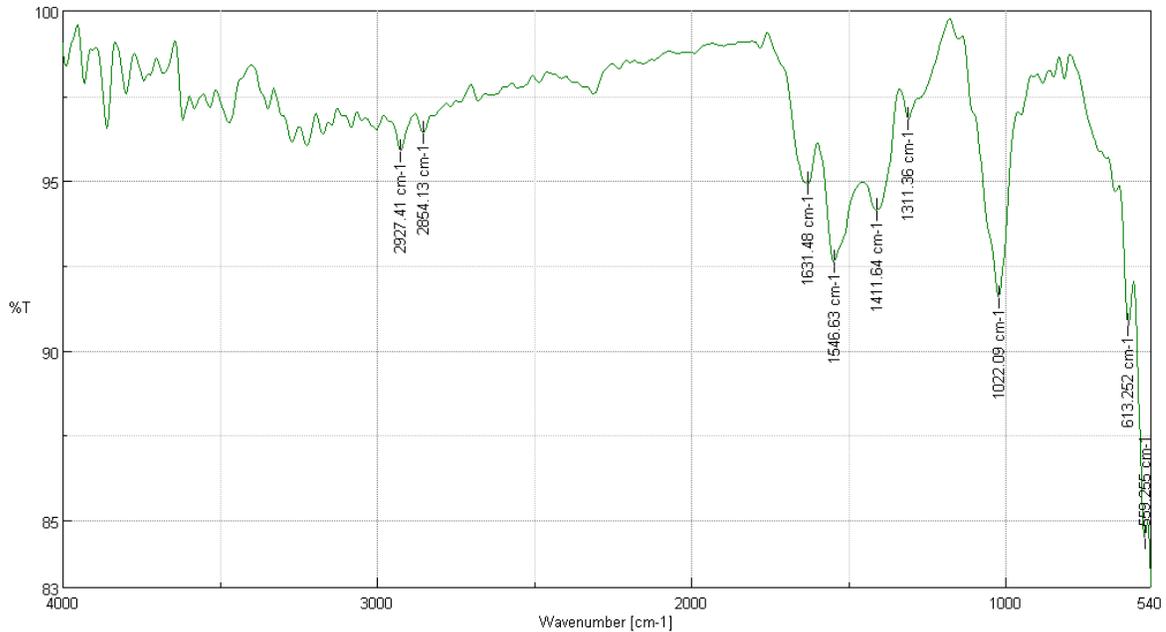
sugiere la presencia de un sistema aromático o vibraciones C-N propias de una amida. También se observan bandas en 1261,22 y 1153,22  $\text{cm}^{-1}$ , que corresponden a estiramientos C-O, y en 574,68  $\text{cm}^{-1}$ , indicativa de flexiones fuera del plano en sistemas aromáticos.



**Gráfico N° 16. Espectro FTIR de la quitosana de camarón obtenida a partir del tratamiento 2.**

**Elaborado por: El autor.**

Los espectros del tratamiento 3 (Gráfico N° 17) presentaron diferencias marcadas respecto a los dos tratamientos anteriores. Las bandas más notables se encontraron en 2927,41 y 2854,13  $\text{cm}^{-1}$ , que representan estiramientos C-H (alcanos), y en 1631,48  $\text{cm}^{-1}$ , correspondiente a un grupo carbonilo (C=O). Se observaron bandas características de deformaciones C-H en 1411,64  $\text{cm}^{-1}$ , vibraciones C-N en 1311,36  $\text{cm}^{-1}$  y estiramientos C-O en 1022,09  $\text{cm}^{-1}$ . Las bandas en la región baja, como 613,25  $\text{cm}^{-1}$ , indican la presencia de sistemas aromáticos.



**Gráfico N° 17. Espectro FTIR de la quitosana de camarón obtenida a partir del tratamiento 3.**

**Elaborado por: El autor.**

Al comparar los espectros de los tres tratamientos, se observa que los dos primeros comparten similitudes importantes, como las bandas amplias en la región de  $3300\text{ cm}^{-1}$ , correspondientes a O-H o N-H, y las señales en la región de  $1600\text{-}1500\text{ cm}^{-1}$ , relacionadas con C=O y C=C de sistemas aromáticos. Estas características sugieren la presencia de compuestos con grupos hidroxilo, carbonilo y estructuras aromáticas. Por otra parte, el espectro del tratamiento 3 muestra características diferentes, como la ausencia de una banda amplia alrededor de los  $3300\text{ cm}^{-1}$  y la aparición de bandas prominentes en  $2900\text{-}2800\text{ cm}^{-1}$ , típicas de estiramientos C-H en alcanos, lo que indica una composición química distinta, posiblemente con menos grupos polares.

Los resultados del tratamiento 3 podrían estar relacionados con las condiciones químicas empleadas durante la obtención de la quitosana a partir de quitina. Estudios han demostrado que concentraciones de HCl entre 0,5 y 1 M son efectivas para la desmineralización sin comprometer la estructura de la quitina. Sin embargo, el uso de HCl a 1,3 M durante la desmineralización pudo haber provocado una degradación de la quitina, reduciendo la cantidad de grupos funcionales como hidroxilos y carbonilos, lo que se refleja en la ausencia

de la banda amplia en  $3300\text{ cm}^{-1}$ . Asimismo, concentraciones de NaOH superiores a 0,125-2.5 M durante la desacetilación, pudieron inducir la despolimerización de la quitina y alterar su estructura química, favoreciendo la aparición de compuestos menos polares, evidenciados por las bandas en la región de  $2900\text{-}2800\text{ cm}^{-1}$ . Estos cambios sugieren que las condiciones de procesamiento tienen un papel crítico en la composición química final y en las propiedades espectroscópicas de la quitosana.

La quitosana, un polisacárido modificado derivado de la quitina, presenta bandas características en FTIR: una banda amplia en  $\sim 3400\text{ cm}^{-1}$  (vibraciones O-H y N-H), bandas en  $\sim 1650\text{ cm}^{-1}$  (C=O de amidas), y señales en  $\sim 1590\text{ cm}^{-1}$  (vibraciones N-H de aminas). Comparando con los espectros de los tres tratamientos, se podría decir que los espectros de los tratamientos 1 y 2 mostraron características similares a la quitosana, como las bandas amplias en  $\sim 3300\text{ cm}^{-1}$  y señales en  $\sim 1600\text{ cm}^{-1}$ , lo que sugiere la posible presencia de este biopolímero o de compuestos con estructuras químicas relacionadas, como derivados de polisacáridos. En cambio, el espectro del tratamiento 3 se diferenció significativamente, ya que carece de la banda amplia en  $\sim 3300\text{ cm}^{-1}$  y muestra señales propias de alcanos en  $\sim 2900\text{ cm}^{-1}$ , lo que indica que probablemente no corresponda a quitosana o compuestos similares, sino que sugiere un compuesto menos polar, posiblemente una cera o material alifático.

Las principales bandas observadas en los espectros FTIR de la quitosana incluyen aquellas en la región de  $3200\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$ , correspondientes a las vibraciones de estiramiento de los grupos hidroxilo (O-H) y amino (N-H). Estas bandas reflejan la presencia de grupos funcionales polares en la estructura de este biopolímero (Perentena et al., 2015).

En la región de  $\sim 2900\text{ cm}^{-1}$ , se observan bandas atribuidas al estiramiento de enlaces C-H, característicos de los grupos metilo y metileno presentes en la cadena polimérica (Invernizzi et al., 2018). Por otro lado, las bandas en  $1650\text{-}1660\text{ cm}^{-1}$  corresponden al estiramiento del enlace C=O de los grupos amida I, los cuales son residuos de la desacetilación parcial de la quitina. La intensidad de estas señales es una indicación del grado de desacetilación de la quitosana (Colina et al., 2014).

Otra región importante se encuentra entre  $1590\text{-}1600\text{ cm}^{-1}$ , donde se presentan bandas asociadas a las vibraciones de flexión de los grupos amino primarios (N-H), una característica distintiva de la quitosana que no se encuentra en la quitina. Además, las bandas en  $1420\text{-}$

1430  $\text{cm}^{-1}$  están relacionadas con las vibraciones de flexión de los grupos metileno ( $\text{CH}_2$ ) presentes en su estructura (Ledezma-Delgadillo et al., 2016).

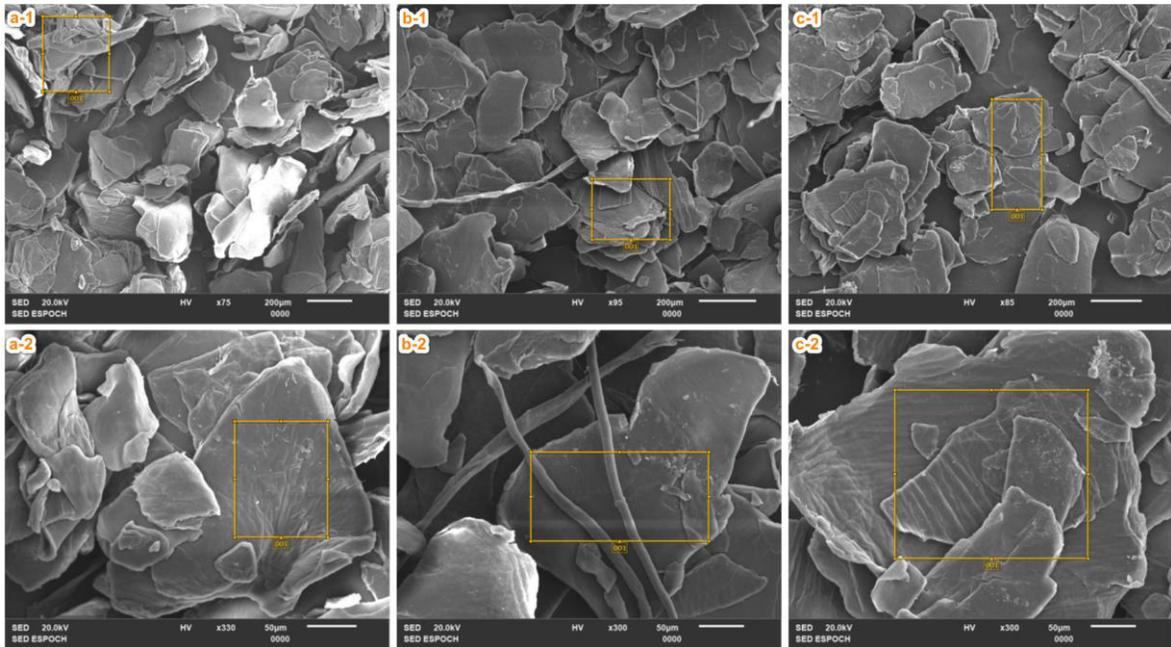
En 1380  $\text{cm}^{-1}$  se identifican bandas correspondientes a las vibraciones de flexión simétrica de los grupos metilo ( $\text{CH}_3$ ). Asimismo, en 1150-1160  $\text{cm}^{-1}$  se presenta una banda asociada al estiramiento asimétrico del enlace C-O-C del anillo glucosídico, característico de la estructura polisacáridica de la quitosana. Las bandas en 1070-1080  $\text{cm}^{-1}$  corresponden al estiramiento del enlace C-O de los alcoholes secundarios, mientras que aquellas alrededor de 890-900  $\text{cm}^{-1}$  son atribuibles a las vibraciones de flexión fuera del plano de los enlaces C-H del anillo piranósico, confirmando la estructura cíclica de este biopolímero (Ledezma-Delgadillo et al., 2016).

### **Microscopía electrónica de barrido (SEM)**

La microscopía electrónica de barrido (SEM) es una técnica para analizar la morfología y estructura de la quitosana en polvo. Diversos estudios han empleado SEM para caracterizar este biopolímero, revelando detalles sobre el tamaño de partícula, la distribución y la superficie, lo que determina sus aplicaciones en campos como la biomedicina y la ingeniería de materiales.

Las imágenes SEM de las quitosanas obtenidas a partir de cáscaras de camarón permiten analizar las diferencias en tamaño, forma y textura superficial según los diferentes tratamientos aplicados. Estas características influyen directamente en propiedades importantes como la solubilidad, haciendo que cada tratamiento sea adecuado para aplicaciones específicas.

En el tratamiento 1 (Gráfico N° 18), las imágenes revelaron superficies rugosas con fracturas marcadas y una distribución de tamaños heterogénea. Estas características reflejan una estructura altamente porosa, típica de quitosanas menos procesadas. La rugosidad y las fracturas aumentan la superficie específica, favoreciendo la interacción con solventes. Su composición elemental mostró un contenido moderado de carbono y oxígeno, lo que indica una estructura más pura y menos modificada. Estas características sugieren una alta solubilidad, particularmente en soluciones ácidas como ácido acético, ya que la porosidad y la rugosidad permiten una mayor interacción con el solvente.

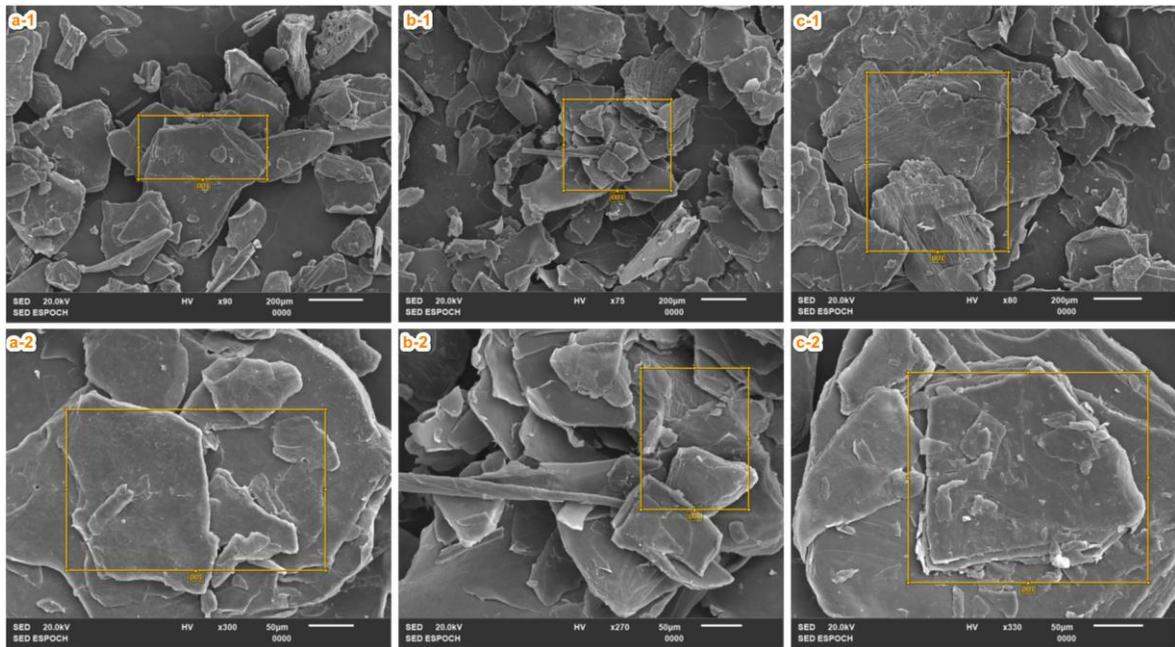


**Gráfico N° 18. Microscopía electrónica de barrido de la quitosana obtenida a partir del tratamiento 1 a (1) 200  $\mu\text{m}$  y (2) 50  $\mu\text{m}$ . Donde a, b y c, réplicas.**

**Elaborado por: El autor.**

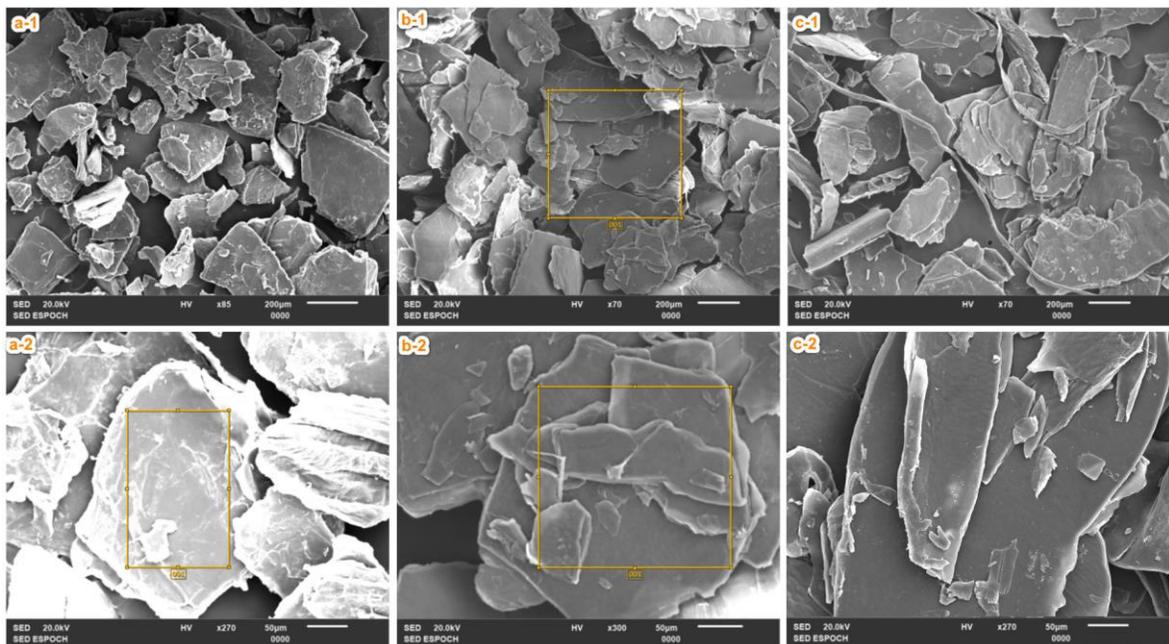
El tratamiento 2 (Gráfico N° 19) mostró superficies más uniformes y menos rugosas que el tratamiento 1, con partículas de tamaño homogéneo y bordes más definidos. Aunque la textura suave reduce la interacción inicial con solventes, la mayor proporción de oxígeno puede favorecer la solubilidad al proporcionar grupos funcionales polares. Sin embargo, la menor porosidad y rugosidad en comparación con el tratamiento 1 podría dificultar la disolución. Por lo tanto, este tratamiento presenta una solubilidad moderada, favorable para soluciones ácidas, pero inferior a la del tratamiento 1.

En el caso del tratamiento 3 (Gráfico N° 20), las imágenes revelaron partículas más grandes y aglomeradas, con superficies notablemente lisas. Estas características sugieren una estructura menos porosa y menos rugosa, lo que limita significativamente el área superficial disponible para la interacción con solventes. La alta proporción de carbono y la presencia de recubrimientos metálicos, como oro, indican modificaciones químicas que reducen la polaridad del material, disminuyendo aún más su compatibilidad con solventes polares. Estas características apuntan a una baja solubilidad en soluciones comunes como ácido acético, lo que podría requerir condiciones más agresivas o especializadas para su disolución.



**Gráfico N° 19. Microscopía electrónica de barrido de la quitosana obtenida a partir del tratamiento 2 a (1) 200 µm y (2) 50 µm. Donde a, b y c, réplicas.**

**Elaborado por: El autor.**



**Gráfico N° 20. Microscopía electrónica de barrido de la quitosana obtenida a partir del tratamiento 3 a (1) 200 µm y (2) 50 µm. Donde a, b y c, réplicas.**

**Elaborado por: El autor.**

La comparación entre los tratamientos mostró que el tratamiento 1 es el más adecuado para aplicaciones que requieren alta solubilidad debido a su elevada porosidad y rugosidad. El tratamiento 2 tiene una solubilidad moderada, atribuible a su menor rugosidad y mayor uniformidad de partículas, mientras que, el tratamiento 3, en el cual no se logró obtener quitosana, mostró una estructura compacta con partículas aglomeradas y modificaciones químicas que explican su baja solubilidad, en concordancia con los resultados obtenidos mediante FTIR. En este sentido, el tratamiento 1 sería ideal para procesos que necesitan disolución rápida en medios acuosos ácidos.

En un estudio, se obtuvieron micrografías SEM de quitosana derivada de cáscaras de camarón, mostrando partículas con superficies rugosas y tamaños que varían desde unos pocos hasta cientos de micrómetros. Esta amplia distribución de tamaños sugiere una molienda heterogénea del material, lo que podría influir en sus propiedades funcionales. Se ha explorado la síntesis de nanopartículas de quitosana estables en un amplio rango de pH. Las imágenes SEM revelaron partículas esféricas con tamaños uniformes, lo que indica una distribución homogénea y potencial para aplicaciones que requieren estabilidad en diversas condiciones de pH (Kim et al., 2020).

Otro trabajo investigó la actividad antibacteriana de quitosana en polvo y en escamas. Las micrografías SEM mostraron diferencias en la morfología entre ambas formas, con partículas de tamaño promedio de 0,3  $\mu$ m para el polvo y 3  $\mu$ m para las escamas. Estas diferencias morfológicas pueden afectar la eficacia antibacteriana de la quitosana (Ardila et al. 2017). Este estudio destacó la importancia de la caracterización morfológica mediante SEM para comprender las propiedades de la quitosana en polvo. Las variaciones en tamaño y forma de las partículas pueden influir significativamente en su funcionalidad, determinando su idoneidad para aplicaciones específicas.

### **Análisis de factibilidad**

Riobamba enfrenta, como muchas otras ciudades, desafíos en la gestión de residuos sólidos urbanos (RSU), con una generación diaria de 270 t que son depositadas en el relleno sanitario sin ser clasificados previamente. En este contexto, los establecimientos de alimentos y bebidas contribuyen con un promedio de 12,4 kg de residuos por día, predominando los residuos orgánicos (60,52 %) y descartables (29,28 %) (Saeteros et al., 2023). Esta situación evidencia una oportunidad importante para implementar estrategias basadas en la economía

circular, que permitan maximizar el uso de los recursos y minimizar los desechos y los impactos ambientales.

La generación de residuos de camarón es una problemática recurrente en hogares y establecimientos urbanos dedicados al procesamiento o consumo de productos marinos en ciudades como Riobamba. Estos residuos, compuestos principalmente por cáscaras y cabezas, representan una fuente de biomasa subutilizada que podría convertirse en un recurso valioso si se aplican estrategias de valorización pertinentes. El Cuadro N° 2 muestra el consumo de camarón de los cinco restaurantes mayor venta de comida costeña en el cantón.

La Choza de Alex, que trabaja los siete días de la semana, tiene un consumo promedio de 68,04 kg de camarón en una semana normal. Sin embargo, en una semana de feriado, su consumo aumenta a 90,72 kg, mostrando un incremento del 33,3 %. Este establecimiento tiene el mayor volumen de consumo tanto en semanas normales como en semanas de feriado.

Por su parte, Brisa Marina trabaja seis días a la semana, consume 45,36 kg de camarón en una semana normal, mientras que en una semana de feriado esta cifra sube a 54,34 kg, lo que representa un incremento del 20 %. Aunque su consumo es menor en comparación con otros establecimientos, también refleja un impacto positivo en semanas de mayor demanda.

**Cuadro N° 2. Consumo de camarón en las marisquerías de mayor volumen de ventas del cantón de Riobamba**

<b>Establecimiento</b>	<b>Días de atención por semana</b>	<b>Semana normal (kg de camarón)</b>	<b>Semana de feriado (kg de camarón)</b>
La Choza de Alex	7	68,04	90,72
Delicias del Mar	7	63,5	81,65
Manglar Cocina Peruana	6	54,43	72,57
Brisa Marisquería	6	54,43	68,04
Brissa Marina	6	45,36	54,43

Al igual que La Choza de Alex, Delicias del Mar atiende los siete días de la semana. En una semana normal, su consumo es de 63,5 kg, aumentando a 81,65 kg durante una semana de feriado, lo que equivale a un crecimiento del 28,6 %. Este restaurante ocupa el segundo lugar en consumo total de camarones.

Manglar Cocina Peruana, con seis días de atención semanal, tiene un consumo de 54,43 kg de camarón en una semana normal. Durante una semana de feriado, este consumo incrementa a 72,57 kg, mostrando un aumento significativo del 33,3 %. Brissa Marisquería,

que también opera seis días a la semana, presenta un consumo de 54,43 kg en semanas normales y 68,04 kg en semanas de feriado, con un aumento del 25 %. Este restaurante mantiene un consumo estable en comparación con otros de su misma categoría.

Al sumar los consumos totales de todos los establecimientos, en una semana normal se genera un consumo de 285,76 kg de camarón. Durante una semana de feriado, el consumo asciende a 367,41 kg, representando un incremento global del 28,6 %. Estos datos reflejan que los días de feriado para estos establecimientos generan un aumento considerable en la demanda de sus productos, lo que genera a su vez un aumento en los desechos.

En el contexto actual, donde la sostenibilidad económica y ambiental es prioritaria, explorar la factibilidad económica del aprovechamiento de estos desechos adquiere una relevancia significativa. El potencial de las cáscaras de camarón radica en su alto contenido de quitosana, un biopolímero con aplicaciones en sectores como la agricultura, la medicina y la industria alimentaria. La implementación de procesos para su transformación, especialmente en áreas urbanas como Riobamba, podría contribuir a la reducción de residuos, y al desarrollo de cadenas productivas locales que generen ingresos adicionales y fomenten prácticas más sostenibles. Este enfoque combina la valorización de residuos con la búsqueda de alternativas económicas viables para los actores involucrados en su generación y tratamiento.

El Cuadro N° 3 resume el costo estimado del consumo de electricidad y el Cuadro N° 4 muestra los costos totales de reactivos, insumos y electricidad de obtención de la quitosana obtenida a partir de cáscaras de camarón a escala de laboratorio.

**Cuadro N° 3. Costos estimados del consumo de electricidad para la obtención de quitosana**

<b>Equipo</b>	<b>Potencia (kW)</b>	<b>Tiempo de uso (h)</b>	<b>Consumo energético (kWh)</b>	<b>Costo (USD)</b>
Zaranda de laboratorio	0,5	31	15,5	1,55
Estufa de laboratorio	1,5	96	144	14,40
Campana extractora de gases	0,373	0,5	0,1865	0,019
Bomba de vacío	0,75	0,5	0,375	0,038
pHmetro	0,005	0,5	0,0025	0,00025
		<b>Total</b>	<b>160,064</b>	<b>16,01</b>

**Cuadro N° 4. Costos de reactivos, insumos y electricidad para la obtención de la quitosana a partir de cáscaras de camarón**

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total
Agua destilada	L	8	1,85	14,8
Hidróxido de sodio	kg	0,72	21	15,12
Ácido clorhídrico fumante al 37 %	L	0,22	31,74	6,98
Papel filtro Whatman N° 1	Pliego	1	2,3	2,3
Consumo de electricidad	kWh	1	0,1	16,01
Consumo de agua	m <sup>3</sup>	1	0,7	0,07
			<b>Total</b>	<b>55,28</b>

Para el cálculo de los costos se tuvieron en cuenta los costos asociados al consumo de insumos y servicios eléctrico y de agua. Además, se incluyó el costo de reactivos químicos como agua destilada, hidróxido de sodio y ácido clorhídrico fumante al 37 % y se contempló el uso de material de laboratorio, como el papel filtro Whatman N° 1. La suma total de los gastos para la obtención de quitosana a escala de laboratorio ascendió a 55,28 USD.

**Estudio financiero de economía circular para los establecimientos de cocina de la costa en Riobamba**

La obtención de quitosana a partir de cáscaras de camarón representa una alternativa factible, considerando la cantidad significativa de residuos que se generan por el consumo de este crustáceo en los establecimientos mencionados. De acuerdo a esta investigación, por cada 5,44 kg de residuos de camarón (cáscaras, patas y colas) se obtienen 4,54 kg de cáscara limpia, lista para el procesamiento y extracción de quitina, el precursor de la quitosana. Esto implica que aproximadamente el 83,3 % del peso de los residuos puede aprovecharse en la etapa inicial del proceso.

En una semana normal, considerando los 285,76 kg de camarón consumidas, si se estima que aproximadamente el 40-50 % del peso del camarón corresponde a residuos (cáscaras, patas y colas), se generarían entre 114,31 y 142,88 kg de residuos. De estos, tras el proceso de limpieza, se obtendrían entre 95,25 y 119,07 kg de cáscara limpia.

Durante una semana de feriado, con un consumo total de 367,41 kg de camarón, los residuos generados serían de 146,96 a 183,71 kg, lo que produciría entre 122,47 y 153,09 kg

de cáscara limpia para el procesamiento. Estas cifras evidencian el potencial de aprovechamiento de los desechos generados, particularmente durante semanas de mayor consumo.

La economía circular en los establecimientos de cocina de la costa puede enfocarse en tres pilares principales: la valorización de los residuos orgánicos, el reciclaje y reutilización de materiales, y la reducción de los descartables. La valorización de los residuos orgánicos podría lograrse mediante la instalación de sistemas de compostaje comunitario, aprovechando estos desechos para producir fertilizantes naturales destinados a la agricultura local. La implementación de biodigestores permitiría convertir los residuos orgánicos en biogás, generando una fuente de energía renovable que podría reducir el uso de combustibles fósiles.

El reciclaje y la reutilización se beneficiaría con la implementación de programas de separación en la fuente, capacitando al personal de cocina y a los clientes para clasificar los residuos en reciclables, orgánicos y descartables. También se pueden establecer alianzas con recicladores de base para formalizar la recolección de materiales reciclables como plástico, vidrio y papel, maximizando su recuperación y comercialización. Por otro lado, para reducir los descartables, se podrían implementar vajillas reutilizables y políticas de cero desechos, incentivando a los clientes a llevar sus propios recipientes.

Desde el punto de vista financiero, estas estrategias requerirían una inversión inicial en infraestructura y capacitación, pero ofrecerían retornos económicos a largo plazo. La instalación de compostadores y biodigestores tendría un costo estimado entre \$10000 y \$15000, mientras que la adquisición de contenedores para la separación de residuos costaría entre \$2000 y \$3000. Las campañas de capacitación implicarían un gasto adicional de entre \$1000 y \$2000. No obstante, estos costos serían compensados por los ahorros operativos al reducir la cantidad de residuos enviados al relleno sanitario y la generación de ingresos mediante la venta de compost y materiales reciclables. Además, al posicionarse como negocios sostenibles, los establecimientos podrían atraer más clientes, generando mayores ingresos.

La implementación de este modelo también tendría un impacto ambiental y social significativo. Se reduciría la cantidad de residuos que terminan en el relleno sanitario, mitigando los lixiviados y las emisiones de gases de efecto invernadero. Asimismo, se

crearían empleos verdes y se fortalecería la relación con la comunidad al promover prácticas sostenibles y de beneficio mutuo.

Adoptar un modelo de economía circular en los establecimientos de cocina de la costa en Riobamba es una solución viable tanto desde una perspectiva financiera como ambiental. La colaboración entre autoridades locales, propietarios de negocios y recicladores garantizará el éxito de esta iniciativa, contribuyendo a una gestión más efectiva de los recursos y a un desarrollo más sostenible para la ciudad.

La producción de quitosana a partir de los residuos de camarón generados por restaurantes es una alternativa viable y prometedora desde el punto de vista técnico y económico. Según los datos disponibles, el consumo semanal de camarón en los establecimientos alcanza 286,4 kg en una semana normal y 367,4 kg durante una semana de feriado. De este consumo, se estima que entre el 40 y el 50 % corresponde a residuos, como cáscaras, patas y colas, lo que genera entre 114,6 y 143,2 kg de residuos en semanas normales y entre 146,9 y 183,7 kg en semanas de feriado. Al procesar estos residuos, aproximadamente el 83,3 % puede convertirse en cáscara limpia, lo que equivale a 95,5 a 119,3 kg y 122,3 a 153 kg, respectivamente.

El proceso de obtención de quitosana incluye etapas como la desmineralización, desproteínización y desacetilación, utilizando reactivos básicos y equipo estándar. A escala piloto, este sistema requeriría una inversión inicial para adquirir tanques de reacción, centrifugadoras, sistemas de filtración y secado, con un costo estimado entre \$15000 y \$20000. Además, el costo operativo, que incluye reactivos químicos y mano de obra, se calcula en aproximadamente \$300 a \$500 por semana.

La producción esperada de quitosana se sitúa entre el 15 y 20 % del peso de la cáscara limpia. En semanas normales, esto equivaldría a 14,3 a 23,9 kg de quitosana, mientras que en semanas de feriado se producirían entre 18,4 y 30,6 kg. Con un precio promedio conservador de \$20 por kilogramo, los ingresos semanales oscilarían entre \$286 y \$612, dependiendo de la cantidad de materia prima disponible. En términos de retorno de inversión, se estima que los costos iniciales podrían recuperarse en un periodo de 24 a 30 semanas, excluyendo costos adicionales.

Además de los beneficios económicos, el proyecto ofrece ventajas ambientales y sociales. Reutilizar los residuos de camarón reduce significativamente la carga de desechos sólidos,

disminuye el impacto ambiental en las zonas costeras y fomenta prácticas sostenibles en los restaurantes. Socialmente, la planta piloto puede generar empleo local, promover la economía circular y sensibilizar a la comunidad sobre la importancia de gestionar los residuos de forma responsable.

La producción de quitosana a escala piloto utilizando los residuos de camarón es una iniciativa factible tanto técnica como económicamente. Con una adecuada recolección de materia prima y gestión del proceso, este proyecto tiene el potencial de generar ingresos sostenibles, reducir el impacto ambiental y sentar las bases para una futura expansión comercial.

El análisis de riesgos para el proyecto de obtención de quitosana a partir de cáscaras de camarón identificó varias barreras operativas, logísticas, económicas y sociales que podrían impactar su viabilidad a largo plazo. Uno de los principales riesgos operativos es la falta de consistencia en el suministro de cáscaras de camarón, que depende de la cantidad y calidad generada por los restaurantes. Para mitigar este riesgo, se recomienda establecer acuerdos formales con los restaurantes para garantizar un suministro constante, así como un sistema de recolección regular y posiblemente contratos a largo plazo que aseguren el compromiso de los proveedores. Además, la variabilidad en la calidad de las cáscaras podría influir en la calidad final de la quitosana, por lo que es necesario implementar procedimientos de control de calidad y protocolos de limpieza y estandarización de las cáscaras antes del procesamiento.

Desde el punto de vista logístico, existen riesgos relacionados con el transporte y almacenamiento de las cáscaras. Los costos elevados y la posibilidad de deterioro de la materia prima pueden ser un desafío. Para mitigarlo, se propone diseñar rutas logísticas, establecer puntos de recolección cercanos a los restaurantes y utilizar contenedores adecuados que aseguren el almacenamiento adecuado de las cáscaras, manteniéndolas en condiciones óptimas para evitar su descomposición. Además, los costos de infraestructura y equipos podrían generar dificultades, especialmente al inicio del proyecto. Una posible solución sería buscar financiamiento a través de subsidios, inversionistas o asociaciones público-privadas, o incluso considerar la adquisición de equipos de segunda mano o el alquiler de maquinaria para reducir los costos iniciales.

En cuanto a los riesgos económicos, las fluctuaciones en el precio de la quitosana podrían afectar la rentabilidad del proyecto, dado que el mercado de este biopolímero puede ser variable. Una estrategia para mitigar este riesgo es diversificar los usos de la quitosana en diferentes sectores, como el cosmético, farmacéutico y agrícola, lo que reduciría la dependencia de un solo mercado. También se recomienda explorar acuerdos a largo plazo con compradores para garantizar precios estables. Además, los costos operativos elevados pueden suponer un reto si la demanda de quitosana es baja. Para mitigar esto, se sugiere optimizar los procesos de producción para aumentar la eficiencia y reducir costos, y seguir una estrategia escalonada que permita iniciar el proyecto a pequeña escala y expandirse gradualmente conforme aumenten la demanda y la capacidad operativa.

Finalmente, existen riesgos sociales y regulatorios, como la posible resistencia local o falta de conciencia ambiental por parte de los propietarios de los establecimientos respecto al modelo de recolección y valorización de residuos. Para contrarrestar este riesgo, se recomienda realizar campañas de sensibilización sobre los beneficios ambientales, económicos del proyecto, destacando el impacto positivo en la reducción de residuos conjuntamente con la generación de empleo local. Además, es fundamental estar al tanto de las normativas cantonales y nacionales relacionadas con el manejo de residuos y la producción de biopolímeros, garantizando el cumplimiento de todas las regulaciones pertinentes y, en la medida de lo posible, buscando certificaciones de sostenibilidad que respalden la gestión ambiental del proyecto.

## Glosario

**Absorción:** Proceso en el cual una sustancia es incorporada y distribuida dentro de otra, como un líquido en un sólido o un gas en un líquido.

**Acetilglucosamina:** Compuesto derivado de la glucosa que forma parte de la estructura de la quitina y es esencial en la biosíntesis de glucoproteínas.

**Acetonitrilo:** Solvente orgánico utilizado en procesos químicos, como la purificación de compuestos biológicos.

**Adsorción:** Fenómeno en el que moléculas o iones se adhieren a la superficie de un sólido o líquido sin ser absorbidos completamente.

**Amina terciaria:** Grupo funcional presente en algunos compuestos orgánicos, caracterizado por un nitrógeno unido a tres grupos carbonados.

**Antifúngico:** Sustancia que inhibe el crecimiento de hongos, utilizada en la conservación de alimentos y en aplicaciones médicas.

**Biocompatibilidad:** Capacidad de un material para interactuar con sistemas biológicos sin causar efectos adversos.

**Biodegradabilidad:** Propiedad de ciertos materiales para descomponerse de forma natural mediante la acción de microorganismos.

**Biopolímero:** Polímero de origen natural, como la quitina y la quitosana, que puede ser utilizado en aplicaciones industriales y biomédicas.

**Desacetilación:** Proceso químico en el que se eliminan los grupos acetilo de un compuesto, como ocurre en la conversión de quitina en quitosana.

**Desmineralización:** Eliminación de minerales, especialmente carbonato de calcio, de materiales como las cáscaras de camarón en la obtención de quitina.

**Desproteínización:** Eliminación de proteínas de un material, como en la extracción de quitina a partir de crustáceos.

**Proteasas:** Enzimas que catalizan la descomposición de proteínas en péptidos y aminoácidos.

**Enzimas proteolíticas:** Tipo de proteasas que facilitan la degradación de proteínas en sus componentes básicos.

**Éter:** Compuesto químico con un grupo funcional de oxígeno unido a dos grupos orgánicos, usado en síntesis química.

**Exoesqueletos:** Capas externas rígidas que protegen a ciertos organismos, como los crustáceos, compuestas principalmente de quitina.

**Floculante:** Sustancia que facilita la aglomeración de partículas en suspensión para su posterior sedimentación o filtración.

**FTIR (Espectroscopia infrarroja transformada de Fourier):** Técnica analítica utilizada para identificar grupos funcionales en compuestos orgánicos.

**HCl (Ácido clorhídrico):** Compuesto químico utilizado en la desmineralización de cáscaras de crustáceos para la obtención de quitina.

**Hidrolizar:** Proceso químico en el que una molécula se descompone por la adición de agua, como en la degradación de polímeros.

**NaClO (Hipoclorito de sodio):** Compuesto químico utilizado como agente blanqueador y desinfectante.

**NaOH (Hidróxido de sodio):** Sustancia alcalina empleada en la desproteínización y desacetilación de quitina para obtener quitosana.

**Polisacáridos:** Carbohidratos complejos compuestos por largas cadenas de monosacáridos, como la quitina.

**Quitina:** Biopolímero estructural presente en los exoesqueletos de crustáceos, insectos y paredes celulares de hongos.

**Quitosana:** Derivado de la quitina obtenido mediante desacetilación, con múltiples aplicaciones industriales, médicas y ambientales.

**SEM (Microscopía electrónica de barrido):** Técnica utilizada para analizar la morfología y estructura de materiales a nivel microscópico.

**Solventes orgánicos:** Sustancias químicas capaces de disolver compuestos orgánicos, utilizadas en la extracción y purificación de biomateriales.

**Tratamiento alcalino:** Proceso químico que emplea sustancias alcalinas como NaOH para modificar la estructura de un material, como en la obtención de quitosana.

## Conclusiones

- La implementación de un sistema eficiente de recolección y procesamiento de cáscaras en establecimientos de A&B de Riobamba puede optimizar la gestión de residuos y fomentar la valorización de subproductos marinos. Se propuso un sistema eficiente y sostenible para la recolección y limpieza de cáscaras de camarón en establecimientos de alimentos y bebidas de Riobamba, garantizando la calidad de la materia prima, reduciendo la carga orgánica y promoviendo buenas prácticas de gestión de residuos en el sector gastronómico local.
- El proceso de extracción mediante desmineralización con HCl, desproteínización con NaOH y desacetilación con NaOH al 50 % permitió obtener quitosana con características fisicoquímicas adecuadas para aplicaciones industriales. La caracterización mediante FTIR y SEM confirmó la pureza y estructura del biopolímero, demostrando que cumple con estándares de calidad.
- La producción de quitosana dentro de un modelo de economía circular sería factible técnica y económicamente, disminuyendo los desechos orgánicos e incidiendo positivamente en la sostenibilidad económica y ambiental de Riobamba, además con potencial para generar empleo y reducir costos de disposición de desechos.

### **Recomendaciones**

- Promover campañas educativas dirigidas a establecimientos de A&B sobre la correcta segregación y almacenamiento de cáscaras de camarón, asegurando la calidad de la materia prima.
- Desarrollar estudios a mayor escala para evaluar la estabilidad del proceso y explorar mejoras tecnológicas en la producción de quitosana con diferentes grados de desacetilación, optimizando su proceso de extracción para aumentar su rendimiento y minimizar el uso de reactivos químicos, explorando alternativas más sostenibles como la extracción enzimática.
- Fomentar alianzas entre el sector académico, gubernamental y empresarial para impulsar la valorización de residuos marinos dentro de un marco de economía circular y promover la comercialización de la quitosana obtenida para aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica y ambiental, ampliando su impacto económico.

## Bibliografía

- Abourehab, M.A.S., Pramanik, S., Abdelgawad, M. A., Abualsoud, B. M., Kadi, A., Ansari, M. J., & Deepak, A. (2022). Recent Advances of Chitosan Formulations in Biomedical Applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(18), 10975. <https://doi.org/10.3390/ijms231810975>
- Abubakar, I.R., Maniruzzaman, K.M., Dano, U.L., AlShihri, F.S., AlShammari, M.S., Ahmed, S.M.S., Al-Gehlani, W.A.G., & Alrawaf, T.I. (2022). Environmental Sustainability Impacts of Solid Waste Management Practices in the Global South. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19), 12717. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912717>
- Aider, M. (2010). Chitosan Application for Active Bio-Based Films Production and Potential in the Food Industry: Review. *Food Science and Technology-LEB*, 43, 837-842. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2010.01.021>
- Alaghemandi, M. (2024). Sustainable Solutions Through Innovative Plastic Waste Recycling Technologies. *Sustainability*, 16(23), 10401. <https://doi.org/10.3390/su162310401>
- Alengebawy, A., Ran, Y., Osman, A.I., Samer, M., & Ai, P. (2024). Digestión anaeróbica de residuos agrícolas para la producción de biogás y la recuperación sostenible de bioenergía: una revisión. *Environmental Chemistry Letters*, 22, 2641–2668. <https://doi.org/10.1007/s10311-024-01789-1>
- Anaya-Esparza, L.M., Pérez-Larios, A., Ruvalcaba-Gómez, J.M., Sánchez-Burgos, J.A., Romero-Toledo, R., & Montalvo-González, E. (2020). Funcionalización de los recubrimientos a base de quitosano para la conservación postcosecha de frutas y hortalizas. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 23, e20200241. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.241>
- Anuardo, R.G., Espuny, M., Costa, A.C.F., & Oliveira, O.J. (2022). Toward a cleaner and more sustainable world: A framework to develop and improve waste management through organizations, governments and academia. *Heliyon*, 8(4), e09225. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09225>
- Anumanla, A., Ansari, A., & Ahuja, M. (2023). Extraction of Chitosan from Shrimp Shell Waste and its Application in Waste Water Purification. *Alochana Journal*, 12(7), 20-26. <https://alochana.org/wp-content/uploads/4-AJ-7.pdf>

- Ardila, N., Daigle, F., Heuzey, M.C., & Aji, A. (2017). Antibacterial Activity of Neat Chitosan Powder and Flakes. *Molecules*, 22(1), 100. <https://doi.org/10.3390/molecules22010100>
- Awan, U., & Sroufe, R. (2022). Sustainability in the Circular Economy: Insights and Dynamics of Designing Circular Business Models. *Applied Sciences*, 12(3), 1521. <https://doi.org/10.3390/app12031521>
- Ayilara, M.S., Olanrewaju, O.S., Babalola, O.O., & Odeyemi, O. (2020). Waste Management through Composting: Challenges and Potentials. *Sustainability*, 12(11), 4456. <https://doi.org/10.3390/su12114456>
- Barasa, M.J., & Olanrewaju, O.A. (2022). Biogas Production and Applications in the Sustainable Energy Transition. *Journal of Energy*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/8750221>
- Barra, A., Romero, A.S., & Beltramino, J.B. (2012). Obtención de quitosano. Sitio Argentino de Producción Animal, 10. [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_peces/piscicultura/173-Quitosano.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/173-Quitosano.pdf)
- Bocken, N.M.P., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308–320. <https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>
- Chakraborty, S., & Dutta, H. (2022). Use of nature-derived antimicrobial substances as safe disinfectants and preservatives in food processing industries: A review. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(10), e15999. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15999>
- Cheng, J., Zhu, H., Huang, J., Zhao, J., Yan, B., Ma, S., Zhang, H., & Fan, D. (2020). The physicochemical properties of chitosan prepared by microwave heating. *Food Science and Nutrition*, 8(4), 1987-1994. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1486>
- Colina, M., Ayala, A., Rincón, D., Molina, J., Medina, J., Ynciarte, R., Vargas, J., & Montilla, B. (2014). Evaluación de los procesos para la obtención química de quitina y quitosano a partir de desechos de cangrejos. Escala piloto e industrial. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 15(1), 21-43. Recuperado de <https://observatorioplastico.com>
- Desai, N., Rana, D., Salave, S., Gupta, R., Patel, P., Karunakaran, B., Sharma, A., Giri, J., Benival, D., & Kommineni, N. (2023). Chitosan: A Potential Biopolymer in Drug Delivery and Biomedical Applications. *Pharmaceutics*, 15(4), 1313. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15041313>

- Divya, K., Rebello, S., & Jisha M., S. (2014). A Simple and Effective Method for Extraction of High Purity Chitosan from Shrimp Shell Waste. [https://www.seekdl.org/conferences/file/paper/20150608\\_071215.pdf](https://www.seekdl.org/conferences/file/paper/20150608_071215.pdf)
- Dobrzyńska-Mizera, M., Dodda, J.M., Liu, X., Monika Knitter, Reece N. Oosterbeek, Pablo Salinas, Eduardo Pozo, Ana Marina Ferreira, Emmanuel Rotimi Sadiku. (2024). Engineering of Bioresorbable Polymers for Tissue Engineering and Drug Delivery Applications. *Advanced Healthcare Materials*, 13(30), 2401674. <https://doi.org/10.1002/adhm.202401674>
- Elieh-Ali-Komi, D., & Hamblin, M.R. (2016). Chitin and Chitosan: Production and Application of Versatile Biomedical Nanomaterials. *International Journal of Advanced Research (Indore)*, 4(3), 411-427. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5094803/pdf/nihms774320.pdf>
- El-Kased, R.F., Amer, R., Attia, D., & Elmazar, M.M. (2017). Honey-based hydrogel: In vitro and comparative In vivo evaluation for burn wound healing. *Scientific Reports*, 7(9692). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08771-8>
- Ferronato, N., & Torretta, V. (2019). Waste Mismanagement in Developing Countries: A Review of Global Issues. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(6), 1060. <https://doi.org/10.3390/ijerph16061060>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N.M.P., Hultink, E.J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Hameed, A.Z., Raj, S.A., Kandasamy, J., Baghdadi, M.A., & Shahzad, M.A. (2022). Chitosan: A Sustainable Material for Multifarious Applications. *Polymers (Basel)*, 14(12), 2335. <https://doi.org/10.3390/polym14122335>
- Hartal, O., Madinzi, A., Rifi, S.K., Haddaji, C., Kurniawan, T.A., Anouzla, A., & Souabi, S. (2024). Optimization of coagulation-flocculation process for wastewater treatment from vegetable oil refineries using chitosan as a natural flocculant. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 22, 100957. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2024.100957>
- Hemmingsen, L.M., Škalko-Basnet, N., & Jørholmen, M.W. (2021). The Expanded Role of Chitosan in Localized Antimicrobial Therapy. *Marine Drugs*, 19(12), 697. <https://doi.org/10.3390/md19120697>

- Hernández, H., Águila, E., Flores, O., Viveros, E.L., & Ramos, E. (2009). Obtención y caracterización de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón. *Superficies y Vacío*, 22(3), 57-60. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-35212009000300012&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-35212009000300012&lng=es&tlng=es)
- Hosney, A., Ullah, S., & Barčauskaitė, K. (2022). A Review of the Chemical Extraction of Chitosan from Shrimp Wastes and Prediction of Factors Affecting Chitosan Yield by Using an Artificial Neural Network. *Marine Drugs*, 20(11), 675. <https://doi.org/10.3390/md20110675>
- Hsieh, H.-H., Yao, K.-C., Wang, C.-H., Chen, C.-H., & Huang, S.-H. (2024). Using a Circular Economy and Supply Chain as a Framework for Remanufactured Products in the Rubber Recycling Industry. *Sustainability*, 16(7), 2824. <https://doi.org/10.3390/su16072824>
- Ibrahim, I.D., Sadiku, E.R., Hamam, Y., Kupolati, W.K., Ndambuki, J.M., Jamiru, T., Eze, A.A., & Snyman, J. (2023). Recent Recycling Innovations to Facilitate Sustainable Packaging Materials: A Review. *Recycling*, 8(6), 88. <https://doi.org/10.3390/recycling8060088>
- INEC. (2022). Censo Ecuador. [https://www.censoecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2023/10/Presentacio%CC%81n\\_Nacional\\_1%C2%B0entrega-4.pdf](https://www.censoecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2023/10/Presentacio%CC%81n_Nacional_1%C2%B0entrega-4.pdf)
- Invernizzi, C., Rovetta, T., Licchelli, M., & Malagodi, M. (2018). Mid and Near-Infrared Reflection Spectral Database of Natural Organic Materials in the Cultural Heritage Field. *International Journal of Analytical Chemistry*, 2018, 7823248. <https://doi.org/10.1155/2018/7823248>
- Iofrida, N., Spada, E., Gulisano, G., De Luca, A.I., & Falcone, G. (2024). The social impacts of circular economy: disclosing epistemological stances and methodological practices. *Environment, Development and Sustainability*, (2024). <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05438-z>
- Issahaku, I., Tetteh, I.K., & Tetteh, A.Y. (2023). Chitosan and chitosan derivatives: Recent advancements in production and applications in environmental remediation. *Environmental Advances*, 11, 100351. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100351>
- Jiménez-Gómez, C.P., & Cecilia, J.A. (2020). Chitosan: A Natural Biopolymer with a Wide and Varied Range of Applications. *Molecules*, 25(17), 3981. <https://doi.org/10.3390/molecules25173981>
- Kandile, N.G., Zaky, H.T., Mohamed, M.I., Nasr, A.S., & Ali, Y.G. (2018). Extraction and Characterization of Chitosan from Shrimp Shells. *Open Journal of Organic Polymer Materials*, 8, 33-42. <https://doi.org/10.4236/ojopm.2018.83003>

- Kibria, M.G., Masuk, N.I., Safayet, R., Nguyen, H.Q., & Mourshed, M. (2023). Plastic Waste: Challenges and Opportunities to Mitigate Pollution and Effective Management. *International Journal of Environmental Research*, 17(1), 20. <https://doi.org/10.1007/s41742-023-00507-z>
- Kim, H.-S., Lee, S.-H., Eun, C.-J., Yoo, J., & Seo, Y.-S. (2020). Dispersion of chitosan nanoparticles stable over a wide pH range by adsorption of polyglycerol monostearate. *Nanomaterials and Nanotechnology*, 10. <https://doi.org/10.1177/1847980420917260>
- Kozma, M., Acharya, B., & Bissessur, R. (2022). Chitin, Chitosan, and Nanochitin: Extraction, Synthesis, and Applications. *Polymers*, 14(19), 3989. <https://doi.org/10.3390/polym14193989>
- Kulakovskaya, A., Knoeri, C., Radke, F., & Blum, N.U. (2023). Measuring the Economic Impacts of a Circular Economy: an Evaluation of Indicators. *Circular Economy and Sustainability*, 3, 657–692. <https://doi.org/10.1007/s43615-022-00190-w>
- Kulka, K., & Sionkowska, A. (2023). Chitosan Based Materials in Cosmetic Applications: A Review. *Molecules*, 28(4), 1817. <https://doi.org/10.3390/molecules28041817>
- Kulka, K., & Sionkowska, A. (2023). Chitosan Based Materials in Cosmetic Applications: A Review. *Molecules*, 28(4), 1817. <https://doi.org/10.3390/molecules28041817>
- Kumar, H., Bhardwaj, K., Sharma, R., Nepovimova, E., Kuča, K., Dhanjal, D.S., Verma, R., Bhardwaj, P., Sharma, S., & Kumar, D. (2020). Fruit and Vegetable Peels: Utilization of High Value Horticultural Waste in Novel Industrial Applications. *Molecules*, 25(12), 2812. <https://doi.org/10.3390/molecules25122812>
- Laureti, L., Costantiello, A., Anobile, F., Leogrande, A., & Magazzino, C. (2024). Waste Management and Innovation: Insights from Europe. *Recycling*, 9(5), 82. <https://doi.org/10.3390/recycling9050082>
- Ledezma-Delgadillo, A., Carrillo-González, R., San Martín-Martínez, E., Jaime-Fonseca, M.R., & Chacón-López, M.A. (2016). Nanocápsulas de urea en quitosano y ácido polimetacrílico y su aplicación en cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa* L). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 15(2), 423-431. <https://www.redalyc.org/pdf/620/62046829010.pdf>
- Lingaitiene, O., & Burinskiene, A. (2024). Development of Trade in Recyclable Raw Materials: Transition to a Circular Economy. *Economies*, 12(2), 48. <https://doi.org/10.3390/economies12020048>

- Lins, M., Puppini, R., Raposo, A., & Ginani, V.C. (2021). Food Waste on Foodservice: An Overview through the Perspective of Sustainable Dimensions. *Foods*, 10(6), 1175. <https://doi.org/10.3390/foods10061175>
- Liu, Z., de Souza, T.S.P., Holland, B., Dunshea, F., Barrow, C., & Suleria, H.A.R. (2023). Valorization of Food Waste to Produce Value-Added Products Based on Its Bioactive Compounds. *Processes*, 11(3), 840. <https://doi.org/10.3390/pr11030840>
- López et al. (2020)
- Megale, P., Corona, B., ten Klooster, R., & Worrell, E. (2020). Sustainability of reusable packaging—Current situation and trends. *Resources, Conservation & Recycling: X*, 6, 100037. <https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2020.100037>
- Morin-Crini, N., Lichtfouse, E., Torri, G., & Crini, G. (2019). Applications of chitosan in food, pharmaceuticals, medicine, cosmetics, agriculture, textiles, pulp and paper, biotechnology, and environmental chemistry. *Environmental Chemistry Letters*, 17(4), 1667- 1692. <https://doi.org/10.1007/s10311-019-00904-x>
- Moyen, G., & Archodoulaki, V.-M. (2023). Electrical and Electronic Waste Management Problems in Africa: Deficits and Solution Approach. *Environments*, 10(3), 44. <https://doi.org/10.3390/environments10030044>
- Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). La economía circular: una exploración interdisciplinaria del concepto y la aplicación en un contexto global. *Journal of Business Ethics*, 140, 369–380. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>
- Muzzarelli, R.A. (2010). Chitins and chitosans as immunoadjuvants and non-allergenic drug carriers. *Marine Drugs*, 8(2), 292-312. <https://doi.org/10.3390/md8020292>
- Ngasotter, S., Martin, K.A., Meitei, M.M., Waikhom, Madhulika, Pathak, J., & Singh, S.K. (2023). Crustacean shell waste derived chitin and chitin nanomaterials for application in agriculture, food, and health – A review. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 6, 100349. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100349>
- ONU. (1997). *Commission on Sustainable Development. Fifth session.* <https://www.un.org/esa/documents/ecosoc/cn17/1997/ecn171997-2add20.htm>
- ONU. (2022). *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).* <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

- Ouro-Salim, O., Guarnieri, P. & Fanho, A.D. (2024). Unlocking value: circular economy in ngos' food waste reduction efforts in Brazil and Togo. *Discover Environment*, 46. <https://doi.org/10.1007/s44274-024-00042-4>
- Ovalle, B.S., Barraza, O., Hernández, J.A., & Peña, E. (2023). Obtención de quitosano a partir de residuos pesqueros y su aplicación. *Brazilian Journal of Science*, 2(2), 32-38. <https://periodicos.cerradopub.com.br/bjs/article/download/240/147/1498>
- PAGE. (2023). *Circular Economy in the Food and Beverage Industry for a Green Recovery – PAGE Indonesia*. [https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/%40asia/%40ro-bangkok/%40ilo-jakarta/documents/publication/wcms\\_906280.pdf](https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/%40asia/%40ro-bangkok/%40ilo-jakarta/documents/publication/wcms_906280.pdf)
- Pal, P., Pal, A., Nakashima, K., & Yadav, B.K. (2021). Applications of chitosan in environmental remediation: A review. *Chemosphere*, 266, 128934. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128934>
- Pang, Y., Qin, A., Lin, X., Yang, L., Wang, Q., Wang, Z., Shan, Z., Li, S., Wang, J., Fan, S., & Hu, Q. (2017). Biodegradable and biocompatible high elastic chitosan scaffold is cell-friendly both in vitro and in vivo. *Oncotarget*, 8(22), 35583-35591. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.14709>
- Perentena, L., González, C., Celis, B., Valbuena, A., & Colina, M. (2015). Síntesis de bases de Schiff derivadas del quitosano por reacción con p-dimetilaminobenzaldehído y 4-hidroxi-3metoxibenzaldehído. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 16(1), 1-27. Recuperado de <https://reviberpol.org/wp-content/uploads/2019/07/2015-colina.pdf>
- Perera, K.Y., Jaiswal, A.K., & Jaiswal, S. (2023). Biopolymer-Based Sustainable Food Packaging Materials: Challenges, Solutions, and Applications. *Foods*, 12(12), 2422. <https://doi.org/10.3390/foods12122422>
- Piekarska, K., Sikora, M., Owczarek, M., Jóźwik-Pruska, J., & Wiśniewska-Wrona, M. (2023). Chitin and Chitosan as Polymers of the Future—Obtaining, Modification, Life Cycle Assessment and Main Directions of Application. *Polymers*, 15(4), 793. <https://doi.org/10.3390/polym15040793>
- Rahman, A. (2024). Promising and Environmentally Friendly Removal of Copper, Zinc, Cadmium, and Lead from Wastewater Using Modified Shrimp-Based Chitosan. *Water*, 16(1), 184. <https://doi.org/10.3390/w16010184>

- Raza-Carrillo, D., & Acosta, J. (2022). Planificación ambiental y el reciclaje de desechos sólidos urbanos. *Economía, sociedad y territorio*, 22(69), 519-544. <https://doi.org/10.22136/est20221696>
- Rinaudo, M. (2006). Quitina y quitosano: propiedades y aplicaciones. *Progreso en la ciencia de los polímeros*, 31(7), 603-632. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2006.06.001>
- Rosário, A.T., Lopes, P., & Rosário, F.S. (2024). Sustainability and the Circular Economy Business Development. *Sustainability*, 16(14), 6092. <https://doi.org/10.3390/su16146092>
- Sáez, A., & Urdaneta, J.A. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, 20(3), 121-135. <https://www.redalyc.org/pdf/737/73737091009.pdf>
- Santos, V.P., Marques, N.S.S., Maia, P.C.S.V., Lima, M.A.B., Franco, L.O., & Campos-Takaki, G.M. (2020). Seafood Waste as Attractive Source of Chitin and Chitosan Production and Their Applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(12), 4290. <https://doi.org/10.3390/ijms21124290>
- Smol, M., Marcinek, P., & Duda, J. (2024). Circular Business Models (CBMs) in Environmental Management—Analysis of Definitions, Typologies and Methods of Creation in Organizations. *Sustainability*, 16(3), 1209. <https://doi.org/10.3390/su16031209>
- Su, B., Zhang, L., Li, Y., Zhou, L., Yang, Z., Wang, Z., & Zhang, J. (2022). Chitosan utilized for bacterial preparation for scanning electron microscopy. *Microscopy Research and Technique*, 85(4), 1258-1266. <https://doi.org/10.1002/jemt.23992>
- Thambiliyagodage, C., Jayanetti, M., Mendis, A., Ekanayake, G., Liyanaarachchi, H., & Vigneswaran, S. (2023). Recent Advances in Chitosan-Based Applications-A Review. *Materials (Basel)*, 16(5), 2073. <https://doi.org/10.3390/ma16052073>
- Varun, T.K., Senani, S., Jayapal, N., Chikkerur, J., Roy, S., Tekulapally, V.B., Gautam, M., & Kumar, N. (2017). Extraction of chitosan and its oligomers from shrimp shell waste, their characterization and antimicrobial effect. *Veterinary World*, 10(2), 170-175. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.170-175>
- Vasileiadou, A. (2024). From Organic Wastes to Bioenergy, Biofuels, and Value-Added Products for Urban Sustainability and Circular Economy: A Review. *Urban Science*, 8(3), 121. <https://doi.org/10.3390/urbansci8030121>
- Villegas, Y., González, P., Sánchez, R., & Aguilar, A. (2024). Obtención de papel de quitosano a partir de cáscara de camarón. *Ing-Nova*, 3(1), 34-47. <https://doi.org/10.32997/rin-2024-4676>

Yang, M., Chen, L., Wang, J., Msigwa, G., Osman, A.I., Fawzy, S., Rooney, D.W., & Yap, P.-S. (2023). Circular economy strategies for combating climate change and other environmental issues. *Environmental Chemistry Letters*, 21, 55–80. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01499-6>