

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS



**ELABORACIÓN DE COAGULANTE A PARTIR DE LOS
DESECHOS DE CAMARÓN (EXOESQUELETOS)
PROVENIENTES DE LOS NEGOCIOS DE VENTA DE MARISCOS
DEL MALECÓN DEL PUERTO DE LA LIBERTAD, Y
EVALUACIÓN DE SU EFECTIVIDAD EN EL TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES**

PRESENTADO POR:

BAÑOS ZEPEDA, CLAUDIA CECILIA

MONTTI QUEVEDO, VILMA MARGARITA

RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, JOSÉ ALBERTO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO(A) QUÍMICO(A) E INGENIERA DE ALIMENTOS

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE 2023

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALAVARADO

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

Ph.D. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

DIRECTORA:

INGA. SARA ELISABETH ORELLANA BERRÍOS

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

**ELABORACIÓN DE COAGULANTE A PARTIR DE LOS
DESECHOS DE CAMARÓN (EXOESQUELETOS)
PROVENIENTES DE LOS NEGOCIOS DE VENTA DE MARISCOS
DEL MALECÓN DEL PUERTO DE LA LIBERTAD, Y
EVALUACIÓN DE SU EFECTIVIDAD EN EL TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES**

Para optar al título de:

INGENIERO(A) QUÍMICO(A) E INGENIERA DE ALIMENTOS

Presentado por:

BAÑOS ZEPEDA, CLAUDIA CECILIA

MONTTI QUEVEDO, VILMA MARGARITA

RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, JOSÉ ALBERTO

Docentes asesoras:

INGA. EUGENIA SALVADORA GAMERO DE AYALA

INGA. ANA CECILIA DÍAZ DE FLAMENCO

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE 2023

Trabajo de Grado aprobado por

DOCENTES ASESORAS:

INGA. EUGENIA SALVADORA GAMERO DE AYALA

INGA. ANA CECILIA DÍAZ DE FLAMENCO

AGRADECIMIENTOS

“Mereces lo que sueñas”

Gustavo Cerati

Quiero agradecer a Dios Todo Poderoso, porque no soy nada y aun así he sido infinitamente bendecida y llena de su misericordia.

A mi querida Virgencita, porque he sido testigo de sus intercesiones y de su infinita bondad.

A mi amada mamá Anai por sus desvelos y sus incansables oraciones. Gracias mamá, por ser mi pilar, mi apoyo incondicional, mi ejemplo a seguir y la mejor mamá del mundo.

A mi papá Aldo por ser un gran apoyo y una fuente de los mejores consejos.

A mis queridos hermanos, Vicky y Kike, por ser mi apoyo en las buenas y en las malas. Por ser capaces de sacarme una sonrisa en los momentos más críticos, y por escucharme siempre.

A mis abuelitas, Margarita y Vilma por ser mis segundas mamás.

Al resto de mi familia, por estar siempre conmigo y apoyarme en momentos de necesidad.

A nuestras asesoras, ingeniera Gamero e ingeniera Ceci, por brindarnos su apoyo en la realización de este trabajo.

A los profesores de la escuela de Ingeniería Química que nos acompañaron durante toda la carrera, cuya vocación fue innegable.

A mis compañeros de trabajo de graduación, Claudia y Alberto, quienes además de excelentes compañeros y colegas, son mis grandes amigos. Estoy orgullosa de ustedes y de todo lo que hemos logrado.

A mi compañeros y amigos de la universidad: Lorena, Mario, Fernando, Hugo, John, Javier, Alex, Raúl, Andrea, Gaby y Verónica, de quienes me llevo excelentes recuerdos y una amistad invaluable.

Al resto de compañeros, y colegas de la universidad, con quienes compartí momentos gratificantes, así como momentos estresantes, y de quienes me llevo gratos recuerdos.

A mis amigas de infancia, Ale y Stefany.

A R.M., por ser un gran apoyo los últimos meses y por brindarme todo su cariño incondicional.

Vilma Monti.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas que han sido parte de mi travesía universitaria. Sin embargo, antes que nada, deseo dirigirme a Dios, quien ha sido mi guía constante. A ti, mi amado Dios, te agradezco desde lo más profundo de mi corazón. Has sido mi fuente de fortaleza en los momentos de incertidumbre y misericordia en las pruebas y dificultades. Tus bendiciones y tu gracia han estado conmigo en cada paso de esta carrera universitaria, dándome la sabiduría y la perseverancia para enfrentar los desafíos académicos y personales.

Además, quiero agradecer a mi amada familia. A mis padres, Rigoberto e Imelda, gracias por inculcarme valores sólidos y por enseñarme a confiar en Dios en todo momento. Su amor incondicional y su apoyo constante han sido mi mayor motivación. A mi hermano Alcides y demás familiares, gracias por estar siempre a mi lado, animándome y alentándome a seguir adelante.

Asimismo, quiero reconocer y agradecer a mis compañeros y amigos. A Carlos, Alex, Hugo, Fernando, Javier y Vilma, gracias por ser mis compañeros de viaje en este recorrido. Su amistad ha sido un regalo preciado, compartiendo risas y lágrimas. Juntos, hemos superado obstáculos y celebrado nuestros logros. Su presencia ha sido un recordatorio constante del amor y la bondad de Dios en nuestras vidas.

No puedo olvidar mencionar la ayuda y el apoyo invaluable de Claudia. Su apoyo incondicional ha sido un verdadero regalo de Dios. A través de su amor, amistad y confianza, me ha brindado oportunidades y recursos que han enriquecido mi experiencia universitaria. Estoy profundamente agradecido por su presencia en mi vida y por el impacto positivo que ha tenido en mi crecimiento académico y personal.

En resumen, mi gratitud se extiende hacia todas las personas mencionadas anteriormente, pero especialmente a Dios, quien ha sido mi roca y mi guía constante. Sin su amor y dirección, no habría llegado hasta este punto de mi vida. Mi fe en Él me ha dado la fuerza para superar los desafíos y ha sido mi motivación para esforzarme en cada paso del camino.

Con un corazón lleno de gratitud y una profunda humildad, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que han sido parte de esta etapa de mi vida. Su apoyo, amor y confianza han sido invaluable y han dejado una huella imborrable en mi vida.

Que nuestros caminos sigan cruzándose y que sigamos compartiendo momentos de alegría y éxito en nuestras vidas.

Con profunda gratitud.

Alberto Rodríguez.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios por iluminarme con su sabiduría y darme la salud para culminar con éxito mis estudios superiores y a María auxiliadora por acompañarme siempre.

Gracias a mis papás, Enrique y Mercedes, a mis abuelos, Manuel y Rosa, y a mi tía Claudia, por su amor incondicional y sacrificio. Su ejemplo de dedicación y esfuerzo ha sido una motivación.

A mis hermanos, Manuel y Marielos, por el apoyo en los años de estudio, gracias por ayudarme en los retos que se presentaron, son un pilar fundamental en mi vida.

Agradezco el apoyo y amor de Alberto, su presencia ha sido una motivación en la búsqueda este éxito académico.

A mis compañeros, que se volvieron amigos en el camino, gracias por el apoyo para lograr nuestro objetivo.

A mis compañeros de tesis, Vilma y Alberto, gracias por su trabajo constante.

Claudia Baños.

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

A la empresa Astrix S.A. de C.V., por proporcionarnos el espacio y las herramientas para la realización de las primeras etapas de desarrollo de este trabajo.

A los comerciantes del área del Mercado de Mariscos del Puerto de la Libertad por proporcionarnos muestras de cascarilla de camarón, así como su valioso tiempo. Y en especial a Don Martín Cornejo, responsable del área del Mercado del Mar, que nos brindó autorización para realizar nuestro trabajo de campo en la zona.

Resumen

En la zona del Puerto de La Libertad, El Salvador, se comercializa una gran variedad de mariscos, incluyendo el camarón. A pesar de que solo se utiliza una pequeña cantidad de la masa del camarón para consumo, se generan grandes cantidades de exoesqueletos que no se aprovechan. Este trabajo tiene como objetivo encontrar una alternativa para agregar valor a estos residuos mediante la síntesis de quitosano.

El quitosano es un biopolímero derivado de la quitina que se encuentra en los exoesqueletos de crustáceos como los camarones. La producción de quitosano a partir de los residuos de camarón es un proceso que consta de varias etapas, como la limpieza, secado, triturado, desproteinización, desmineralización y desacetilación. Una vez obtenido el quitosano, este se caracteriza para determinar el grado de desacetilación de la quitina. Luego, se procede a la producción del coagulante a base de quitosano, el cual se solubiliza con una solución de un ácido de naturaleza orgánica.

Siguiendo el procedimiento descrito anteriormente, se desarrolló una marcha de laboratorio para la síntesis de un coagulante a base de quitosano, llamado Quitosano 58, nombrado así por el grado de desacetilación obtenido, que se evaluó mediante pruebas de jarras en aguas residuales formuladas en laboratorio. Se determinó que el Quitosano 58 logró un porcentaje de remoción del 98.1% para una turbidez inicial de 374.1 NTU con una dosis de 2 ml al 0.25% de Quitosano 58.

Además, se determinó la cantidad de residuos sólidos generados por el consumo y comercialización de camarón en la zona del Malecón del Puerto de La Libertad, encontrándose que la cantidad es de 520.55 libras al día. Estos residuos pueden ser utilizados en su totalidad para la elaboración de un coagulante a base de quitosano.

Comparando el uso de Quitosano 58 con el policloruro de aluminio (PAC), un coagulante inorgánico de uso común, se encontró que el Quitosano 58 necesitó una menor concentración y/o dosificación para obtener resultados similares.

La elaboración de un coagulante de quitosano a partir de los residuos de camarón puede ser una alternativa innovadora y sostenible para el aprovechamiento de los

residuos producidos por la industria camaronera con un impacto ambiental positivo al reducir la generación de desechos y promover la economía circular. Además, este coagulante a base de quitosano es biodegradable y con un bajo índice de toxicidad, lo que lo vuelve viable para su uso en el tratamiento de aguas residuales.

Este trabajo abre la puerta para futuras investigaciones sobre el quitosano, referentes al grado de desacetilación de la quitina o grado de conversión de quitosano; la eficiencia del coagulante formulado a partir del mismo en diversas condiciones y con múltiples parámetros; y la rentabilidad económica de la producción de quitosano a partir de residuos de camarón. Todas estas líneas de investigación pueden contribuir al desarrollo de nuevas aplicaciones y usos para el quitosano, lo que tendría un impacto significativo en diversos sectores industriales.

Índice general

Introducción	1
Capítulo 1 Contexto y planteamiento del problema.	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Planteamiento del problema	5
1.3 Objetivos.....	6
Capítulo 2 Marco Teórico.....	8
2.1 Actividad comercial del camarón en El Salvador.....	8
2.1.1 Contexto nacional de las actividades pesqueras y acuícolas en El Salvador	8
2.1.2 Situación del camarón en El Salvador	12
2.1.3 Generalidades sobre las especies de camarón consumidas en El Salvador	17
2.2 Quitina y quitosano	26
2.2.1 Descripción, características y propiedades fisicoquímicas	28
2.2.2 Síntesis de quitina	33
2.2.3 Síntesis de quitosano a partir de quitina	34
2.2.4 Aplicaciones del quitosano	34
2.3 Generalidades sobre el tratamiento de aguas residuales.....	37
2.3.1 Propiedades físicas de las aguas residuales	41
2.3.2 Propiedades y características químicas de las aguas residuales	45
2.4 Procesos de clarificación	47
2.4.1 Coagulación.....	48
2.4.2 Floculación	56
2.4.3 Sustancias coagulantes más comunes	56
2.4.4 Selección de coagulantes	58

2.5 Marco regulatorio salvadoreño sobre a aguas residuales.	59
2.5.1 Ley de Medio Ambiente	59
2.5.2 Reglamento Especial de Aguas Residuales y Manejo de Lodos Residuales	60
2.5.3 Reglamento Técnico Salvadoreño de Agua. Agua Residuales. Parámetros de Calidad de Aguas Residuales para Descarga y Manejo de Lodos Residuales (RTS 13.05.01:2018).....	61
2.5.4 Norma para Regular Calidad de Aguas Residuales de Tipo Especial Descargadas al Alcantarillado Sanitario.	62
Capítulo 3 Metodología de la investigación	65
3.1 Tipo de investigación	65
3.2 Área de estudio, universo y muestra	67
3.2.1 Estimación de desechos de camarón provenientes de la zona del Malecón del Puerto de La Libertad.....	67
3.3 Técnicas e instrumentos de investigación.....	70
3.4 Procedimiento experimental.....	71
3.4.1 Caracterización y pesada de las muestras de camarón	71
3.4.2 Proyección estadística para estimación de cantidad de desechos.	72
3.4.3 Metodología experimental para elaboración de coagulante a base de quitosano	73
3.4.4 Extracción de quitina	76
3.4.5 Síntesis de quitosano	79
3.4.6 Caracterización del quitosano.....	82
3.4.7 Determinación de eficiencia del coagulante formulado a base de quitosano	84
3.5 Metodología para análisis de datos.....	85
3.5.1 Determinación de la eficiencia del coagulante a base quitosano ...	85

3.5.2 Determinación de mejor dosis y comparación de resultados del coagulante formulado contra un coagulante inorgánico.	87
3.5.3 Correlación desechos-coagulante.....	90
3.6 Marcha experimental	91
3.6.1 Procedimiento para determinación de masa de exoesqueletos de camarón.....	91
3.6.2 Procedimiento de secado de muestras de camarón	92
3.6.3 Procedimiento de extracción de quitina	93
3.6.4 Síntesis de quitosano	94
3.6.5 Caracterización del quitosano obtenido	95
3.6.6 Procedimiento para evaluación de la eficiencia de quitosano	96
Capítulo 4 Análisis y discusión de resultados.....	99
4.1 Estimación del volumen de camarón comercializado y sus desechos en la zona del Malecón del puerto de La Libertad.....	99
4.1.1 Uso alternativo de la cascarilla de camarón.....	101
4.1.2 Cantidad de cascarilla que puede obtenerse a partir del camarón.....	102
4.1.3 Pesada de cascarillas de camarón.	102
4.2 Caracterización de quitosano.....	103
4.2.1 Síntesis preliminar de quitosano	104
4.2.2 Síntesis final de quitosano	105
4.3 Rendimiento del quitosano obtenido	107
4.4 Determinación de la eficiencia de un coagulante formulado a base de Quitosano 58.....	108
4.4.1 Pruebas de jarras en agua residual sintética con diferentes concentraciones del coagulante formulado.	108
4.4.2 Pruebas de jarras en agua residual sintética con policloruro de aluminio	112

Conclusiones	115
Recomendaciones	117
Bibliografía	119
Anexos.....	126
Anexo A: Resumen de datos de comercialización de camarón por tipo de camarón.....	126
A.1. Resumen de datos de comercialización de chacalín	126
A.2. Resumen de datos de comercialización de camarón pequeño	127
A.3. Resumen de datos de comercialización de camarón mediano	128
A.4. Resumen de datos de comercialización de camarón jumbo	130
Anexo B: Resumen de datos de la caracterización potenciométrica del quitosano.	132
B.1. Titulación potenciométrica ácido - base y sus respectivos cálculos para determinación de los puntos de inflexión, de la primera corrida experimental de síntesis de quitosano	132
B.2. Titulación potenciométrica ácido - base y sus respectivos cálculos para determinación de los puntos de inflexión, de la segunda corrida experimental de síntesis de quitosano.....	133
Anexo C: Modelos de fichas y formularios.	135
C.1. Formulario de encuestas para negocios de venta de camarón.....	135
C.2. Formato de control para determinación de remoción de turbidez y evaluación de dosis en pruebas de jarras de quitosano.	137
C.3. Formato de control de pruebas de jarras para comparación de eficiencia del quitosano contra PAC.....	137
Anexo D: Límites Permisibles de Parámetros de Básicos de Calidad de Agua Residuales de Tipo Especial Vertidos a Medio Receptor.....	138

Índice de figuras

Figura 2.1 Franja costera del país.....	8
Figura 2.2 Esquemmatización de la franja costera y la jurisdicción de El Salvador sobre el territorio marino.	9
Figura 2.3 Mapa de zona de pesca en la costa de El Salvador.	10
Figura 2.4 Composición común de la pesca comercial marina por arrastre.....	13
Figura 2.5 Exportaciones de camarón expresadas en millones de dólares.	15
Figura 2.6 Tendencia de las importaciones de camarón (US\$).	16
Figura 2.7 Caracterización de la cadena productiva de camarón de cultivo.	17
Figura 2.8 Especies de camarón blanco más comúnmente consumidas en el país.....	18
Figura 2.9 Otras especies de camarón comúnmente pescadas	18
Figura 2.10 Especies de camaroncillo consumidas en el país.....	18
Figura 2.11 Principales regiones productoras de <i>Litopenaeus vannamei</i>	19
Figura 2.12 Zonas de pesca del camarón rojo según FAO	24
Figura 2.13 Representación de las moléculas de celulosa y quitina	26
Figura 2.14 Cadena de quitina, conformada por el dímero quitobiosa.....	27
Figura 2.15 Conversión de quitina en quitosano a partir de un proceso de desacetilación.....	27
Figura 2.16 Estructuras cristalinas de la quitina	29
Figura 2.17 Configuración general de un sistema de tratamiento de aguas residuales.	41
Figura 2.18 Fraccionamiento de los sólidos totales. Valores más típicos dentro del agua residual de tipo doméstico	42
Figura 2.19 Cono Imhoff para determinación de sólidos sedimentables.....	42
Figura 2.20 Coloración presente en el río Acelhuate, en algún punto del AMSS.	44

Figura 2.21 Muestras de agua con diferentes grados de turbidez.	45
Figura 2.22 Esquematización de las etapas que comprenden el proceso de clarificación.....	48
Figura 2.23 Esquema de las interacciones entre cargas que dan a lugar la doble capa eléctrica.....	50
Figura 2.24 Representación de una partícula coloidal y su doble capa.	51
Figura 2.25 Representación de la actividad de los electrolitos en una dispersión coloidal	52
Figura 2.26 Curvas de coagulación de algunos coagulantes de uso común ...	53
Figura 2.27 Proceso de coagulación y floculación.....	56
Figura 3.1 Resumen para la determinación de eficiencia del coagulante a base de quitosano	66
Figura 3.2 Vista aérea del Malecón del Puerto de La Libertad.	67
Figura 3.3 Esquema de la cadena productiva y de distribución de los mariscos en el Complejo Turístico del Puerto de La Libertad	68
Figura 3.4 Vista del interior del Mercado del Mar, Puerto de la Libertad.	68
Figura 3.5 Plano de distribución de locales en Mercado del Mariscos.....	69
Figura 3.6 Distribución de negocios que comercializan camarón en el Mercado del Mar, Puerto de La Libertad.....	69
Figura 3.7 Esquema de la metodología para pesada de las muestras de camarón	72
Figura 3.8 Proceso de acondicionamiento de la muestra	76
Figura 3.9 Unidades presentes en la quitina y quitosano	79
Figura 3.10 Molécula de quitina compuesta por unidades de N- Acetilglucosamina.....	80
Figura 3.11 Molécula de quitosano, compuesta por unidades de glucosamina y N-Acetilglucosamina	80
Figura 3.12 Hibridación sp ² entre C y O	81

Figura 3.13 Mecanismo de reacción en el proceso de desacetilación	81
Figura 3.14 Esquema de preparación de muestras de simulación de agua residual sintética.....	85
Figura 3.15 Curva de %Remoción en función de la dosificación de coagulante.....	89
Figura 4.1 Clasificación de los comercios en la zona del Malecón del Puerto de La Libertad	99
Figura 4.2 Camarones jumbo.....	100
Figura 4.3 Distribución de los distintos tipos de camarón que se comercializan según su tamaño en la zona del Malecón	100
Figura 4.4 Curvas representativas del grado de desacetilación según puntos de inflexión de la síntesis de quitosano preliminar.	105
Figura 4.5 Curvas representativas del grado de desacetilación según puntos de inflexión, de la síntesis de quitosano final.....	106
Figura 4.6 Resumen de las masas obtenidas durante todo el proceso de síntesis de quitosano	108
Figura 4.7 Aspecto visual del agua residual sintética formulada con una turbidez promedio de 374.1 NTU	109
Figura 4.8 Resultados de la mejor corrida del ensayo de jarras con Quitosano 58	111
Figura 4.9 Curvas de remoción de turbidez contra dosificación de Quitosano 58	112
Figura 4.10 Curvas de remoción de turbidez contra dosificación, Quitosano 58 y PAC	114

Índice de tablas

Tabla 2.1 Producción pesquera promedio anual de las especies de principal interés en El Salvador, expresada en toneladas	11
Tabla 2.2 Exportaciones de camarón de los últimos años expresadas en US\$ y kg.	14
Tabla 2.3 Importaciones totales de camarón congelado por año, expresadas en dólares y kilogramos.	15
Tabla 2.4 Propiedades generales de la quitina y quitosano.....	32
Tabla 2.5 Composiciones típicas del agua residual de origen doméstico para baja, media y alta concentración	40
Tabla 2.6 Compuesto olorosos asociados al agua residual.....	43
Tabla 2.7 Representación esquemática para el modelo de puentes	54
Tabla 2.8 Coagulantes y floculantes más comunes.....	58
Tabla 2.9 Análisis de aguas residuales según su clasificación por origen.	61
Tabla 2.10 Límites permisibles de parámetros de aguas residuales de tipo ordinario para vertido a medio receptor.	62
Tabla 2.11 Parámetros máximos permisibles para descarga de aguas residuales especiales a alcantarillado.....	63
Tabla 3.1 Abordaje de los diferentes tipos de investigación para todo el alcance de esta investigación	66
Tabla 3.2 Equipos a utilizar para la marcha experimental de la investigación	73
Tabla 3.3 Modelo de recolección de datos de valoración potenciométrica	83
Tabla 3.4 Composición del sustrato sintético para preparación de agua residual sintética.	84
Tabla 3.5 Algunos procesos y operaciones unitarias empleados en la recuperación del agua residual y potencial de eliminación de contaminantes.....	86

Tabla 3.6	Parámetros de DQO y DBO permisibles de Norma Salvadoreña para descarga de agua de cuerpos receptores y alcantarillados sanitarios	87
Tabla 3.7	Ejemplo de ficha para registro de datos de prueba de jarras	88
Tabla 4.1	Camarón comercializado a diario en la zona del Malecón, por tipo de camarón.	101
Tabla 4.2	Resumen de pesada de muestras de camarón	102
Tabla 4.3	Resumen del porcentaje que representa el exoesqueleto de camarón respecto a la masa consumible..	103
Tabla 4.4	Resumen del escalamiento para determinación de generación diaria de desechos de camarón en la zona del Malecón del puerto de La Libertad	103
Tabla 4.5	Resultados de las pruebas de jarras realizadas con Quitosano 58 al 0.25% y al 0.50%, en función de la turbidez	110
Tabla 4.6	Resultados de las pruebas de jarras realizadas con Quitosano 58 al 1% y al 1.5%, en función de la turbidez	110
Tabla 4.7	Resultados de las pruebas de jarras realizadas con PAC al 0.25% y al 0.50%, en función de la turbidez	113
Tabla 4.8	Resultados de las pruebas de jarras realizadas con PAC al 1% y al 1.5%, en función de la turbidez.....	113

Índice de ecuaciones

Ecuación 3.1 Determinación de porcentaje % de desecho por muestra de camarón.	72
Ecuación 3.2 Promedio de cantidad de desechos de camarón comercializados en el área de estudio	72
Ecuación 3.3 Reacción balanceada de desmineralización.	77
Ecuación 3.4 Reacción de neutralización de aminoácidos	78
Ecuación 3.5 Cálculo de rendimiento	82
Ecuación 3.6 Grado de desacetilación del quitosano	83
Ecuación 3.7 Determinación del porcentaje de remoción de turbidez	89
Ecuación 3.8 Estimación de quitosano que se puede extraer de la masa de desecho de camarón para la zona de estudio.....	90

Introducción

En la actualidad, el tratamiento adecuado de las aguas residuales es un desafío clave para garantizar la conservación y protección del medio ambiente. A medida que aumenta la conciencia sobre la importancia de preservar los recursos hídricos, surge la necesidad de encontrar soluciones sostenibles y efectivas para el tratamiento de aguas residuales. En este contexto, el presente trabajo de graduación se enfoca en la elaboración de un coagulante a partir de los desechos de camarón, específicamente los exoesqueletos, provenientes de los negocios de venta de mariscos del malecón del Puerto de La Libertad.

El objetivo principal de este estudio es evaluar la efectividad de utilizar estos desechos de camarón como materia prima para la obtención de un coagulante, que pueda ser aplicado en el tratamiento de aguas residuales. Los exoesqueletos de camarón contienen quitina, un polímero natural con propiedades coagulantes, lo cual los convierte en una opción prometedora como alternativa a los coagulantes comerciales convencionales.

Se espera que este coagulante pueda ser utilizado en plantas de tratamiento de aguas residuales, contribuyendo así a mejorar la eficiencia de remoción de contaminantes y a reducir los impactos negativos generados por las aguas residuales.

Para alcanzar estos objetivos, se llevará a cabo un proceso de extracción de quitina a partir de los exoesqueletos de camarón recolectados en el Puerto de La Libertad. Posteriormente, se realizarán pruebas de evaluación de la efectividad de este coagulante en el tratamiento de aguas residuales, comparándolo con coagulantes comerciales utilizados comúnmente.

La presente investigación contribuirá al conocimiento científico en el campo del tratamiento de aguas residuales, al explorar una alternativa innovadora y sostenible para la obtención de coagulantes a partir de desechos de camarón. Además, se espera generar información relevante que pueda ser aplicada en la práctica, fomentando la implementación de soluciones más eco amigables en el tratamiento de aguas residuales.

Capítulo 1

Capítulo 1 Contexto y planteamiento del problema.

1.1 Antecedentes

El presente proyecto de investigación puede dividirse en dos vertientes: el estado actual del mercado camaronero en El Salvador, con énfasis en la zona comercial del Malecón del Puerto de la Libertad; y la síntesis de quitina y quitosano a partir del exoesqueleto del camarón.

Según el Ministerio de Turismo, el complejo turístico del Puerto de La Libertad fue construido en el año 2006 y es todo un referente en cuanto a turismo y actividades comerciales relacionadas a los mariscos. Está comprendido por la zona del Malecón y el Mercado del Mar. En todo el complejo se puede observar una gran actividad comercial referente a la venta de mariscos. En el Mercado del Mar existen alrededor de 90 establecimientos dedicados a la venta de mariscos frescos, y a la venta de platillos a base de los mismos. El Malecón al encontrarse cerca del muelle, es testigo de la gran actividad pesquera de la zona.

En El Salvador el suministro de camarón está sustentado por la importación, crianza y pesca. En cuanto a la crianza y pesca, el camarón y el pescado son los principales productos de interés (Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), 2015). Según proyecciones realizadas a partir de datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) en un período comprendido entre los años 2000 y 2011, la importación ha crecido a lo largo de los años, y está sostenida por el camarón proveniente principalmente de Honduras y Nicaragua (MAG-IICA, 2012). En la actualidad, existen pocos estudios o estadísticas recientes que permitan evaluar de forma precisa el contexto actual del mercado de camarón.

El procesamiento del camarón, tiene como objetivo surtir el mercado local y exportar a Estados Unidos. En el mercado nacional la cadena generalmente finaliza con la comercialización y distribución del camarón sin procesar (entero

o descabezado). Sin embargo, otras presentaciones altamente valoradas son: *congelado, pelado y desvenado, cocido y pelado* (Oddone y Beltrán T., 2014).

Del procesamiento del camarón se estima que se aprovecha el 60% aproximadamente de la masa total del camarón (Perlera de Escalante, Pacheco de Jordán, y Calderón de Zacatares, 2017), el resto son desechos orgánicos, comprendidos principalmente por el exoesqueleto del camarón, del cual se puede obtener algún valor agregado.

A partir del exoesqueleto del camarón es posible sintetizar quitina, el cual es el segundo biopolímero más abundante en la naturaleza después de la celulosa (Lara, 2011), además está presente en el exoesqueleto de crustáceos, insectos, arácnidos y en la pared celular de los hongos (Arias Andrade, Veloza, y Sepúlveda Arias , 2020). A través de la desacetilación de la quitina es posible obtener quitosano, biopolímero que resulta valioso para diversas aplicaciones, las cuales comprenden áreas como medicina, agricultura, alimentación, industria del plástico, y tratamiento de aguas residuales.

Actualmente existen algunos usos demostrados del quitosano; en la industria de alimentos se utiliza para empaques antimicrobianos, empaques activos, empaques inteligentes, empaques comestibles, películas y recubrimientos biodegradables (Kumar, Mukherjee, & Dutta, 2020). En la agricultura, se ha demostrado que el quitosano inhibe el crecimiento micelial y la producción de esporas de *Pyricularia oryzae*, causal de añublo en arroz. (Rodríguez Pedroso, Bautista Baños, Ramírez Arrebato, Plascencia Jatomea, y Hernández Ferrer, 2021). En el ámbito médico se han estudiado las aplicaciones del quitosano como biomaterial en la medicina regenerativa (Arias Andrade, Veloza, y Sepúlveda Arias , 2020). Por otro lado, se ha evaluado el uso del quitosano para el tratamiento de aguas residuales provenientes de un laboratorio cosmético (Taquez Bueno y Vargas Torres, 2018); sin embargo, aún no se evalúa el rendimiento con respecto a otros coagulantes de uso común.

En El Salvador existen pocas investigaciones sobre la síntesis y usos de quitina y quitosano, a partir de crustáceos, principalmente se encuentran a nivel de trabajos de grado, como, por ejemplo, la síntesis de quitina y quitosano para la elaboración de biopelículas, a partir del exoesqueleto del langostino. (Lara, 2011). Por lo que, se pretende abordar el uso de quitosano como agente coagulante en el tratamiento de aguas, con el fin de realizar aportes a la cadena de valor de la industria camaronera.

1.2 Planteamiento del problema

El Puerto de la Libertad y sus alrededores es visitado al menos por 2.5 millones de personas, al año. Los platillos favoritos de los turistas son los camarones, pescado y calamar (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2014). Alrededor de un 40% de la utilización del camarón son desperdicios de cola, cabeza y caparazón, los cuales no tienen ningún uso posterior (Perlera de Escalante, Pacheco de Jordán, y Calderón de Zacatares, 2017), sin embargo, estas partes contienen un componente llamado quitina el cual puede ser utilizado como base para obtener un coagulante para el tratamiento de aguas residuales.

En función de lo planteado anteriormente, surge la siguiente interrogante:

¿Cuál es la efectividad y rendimiento de un coagulante formulado a partir de quitosano, en el tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico, sintetizado a partir del exoesqueleto del camarón que se pesca, comercializa y consume en el área del Puerto de La Libertad, en el departamento de La Libertad?

1.3 Objetivos

Objetivo general

Elaborar un coagulante a partir de los desechos de camarón (exoesqueletos) provenientes de los negocios de venta de mariscos del Malecón del Puerto de La Libertad, y evaluar su efectividad en el tratamiento de aguas residuales.

Objetivos específicos

- a. Determinar la cantidad de desechos sólidos generados por el consumo de camarón en el área del Malecón en el municipio de La Libertad, departamento de La Libertad, El Salvador.
- b. Elaborar una marcha de laboratorio para la síntesis de un coagulante a base de quitosano proveniente de la quitina del exoesqueleto del camarón.
- c. Realizar pruebas de jarras en aguas residuales formuladas en laboratorio a diferente turbidez.
- d. Calcular la eficiencia del uso de quitosano como coagulante para cada una de las muestras de aguas residuales formuladas.
- e. Comparar el uso del coagulante a base de quitosano, respecto a otros coagulantes sintéticos de uso común.

Capítulo 2

Capítulo 2 Marco Teórico

2.1 Actividad comercial del camarón en El Salvador

2.1.1 Contexto nacional de las actividades pesqueras y acuícolas en El Salvador

El Salvador está constituido por un área de 21 mil km² aproximadamente. La línea costera tiene aproximadamente un área de 7 mil km² y en la Figura 2.1 se observa en el área sombreada. La franja costera comprende 20 km a partir de la zona marina, y abarca una longitud aproximada de 321 km desde el río Paz fronterizo con Guatemala y el Golfo de Fonseca, fronterizo con Honduras y Nicaragua (MARN, 2007).



Figura 2.1 Franja costera del país (área sombreada). Fuente: Visualizador Geográfico de Evaluación Ambiental (VIGEA), de Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), 2022.

La Constitución de la República de El Salvador establece en su artículo 84, que el territorio que comprende la República, además de la parte continental, comprende: “... *el mar, el subsuelo y el lecho marino hasta una distancia de 200 millas marinas contadas desde la línea de la más baja marea, todo de conformidad a las regulaciones del derecho internacional*”. En la Figura 2.2 se muestra una representación del alcance territorial que posee la República de El Salvador sobre el mar.

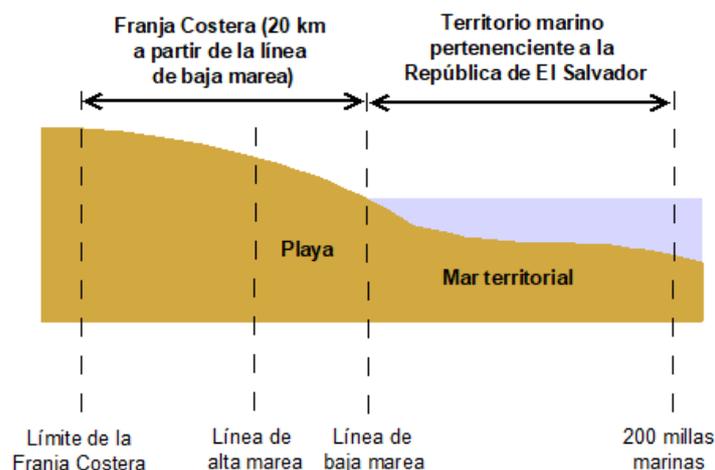


Figura 2.2 Esquemmatización de la franja costera y la jurisdicción de El Salvador sobre el territorio marino (MARN, 2007).

Según datos del Table of Claims to Maritime Jurisdiction (2002) de la Organización de las Naciones Unidas, la mayoría de países reclaman un territorio marino menor o igual a las 12 millas. Solo Benín, Somalia, El Salvador, Estados Unidos y Perú, reclaman una jurisdicción de 200 millas náuticas sobre el mar.

La mayoría de la actividad pesquera en El Salvador se concentra a lo largo de 20 millas desde la costa. La principal zona de pesca de camarón blanco y camarón café con los barcos camaroneros, así como la pesca artesanal principalmente con red se encuentra entre 10 y 20 millas náuticas desde la costa con una profundidad de 50 m. La pesca del Langostino Chileno (*Pleuconcodes planipes*) se desarrolla a 40 millas náuticas desde la costa y con una profundidad que abarca de 100 m a 250 m. El palangre o cimbra tiburonera se realiza a 60 millas náuticas desde la costa y profundidades de 200 m o más. Además, dentro de la Zona Económica Exclusiva (ZEE) salvadoreña, se encuentran las actividades pesqueras de atún. (Agencia de Cooperación Internacional del Japón, 2002)

En la Figura 2.3 se presenta un mapa en el que se observan las diferentes zonas de pesca por especie en las costas de El Salvador.

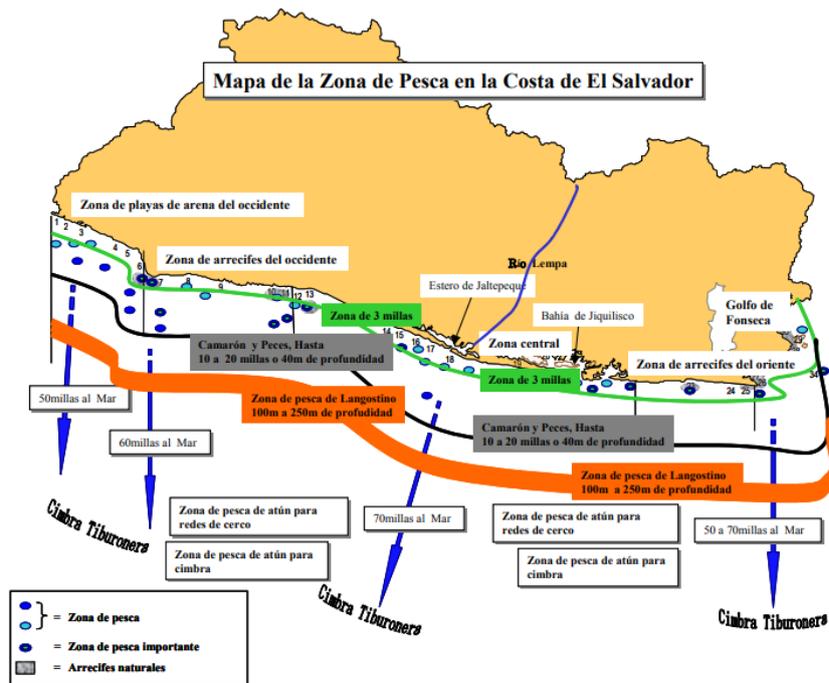


Figura 2.3 Mapa de zona de pesca en la costa de El Salvador (Agencia de Cooperación Internacional del Japón, 2002).

El sector pesquero de El Salvador puede ser dividido en cuatro sub-sectores los cuales incluyen la: (1) *Pesca industrial*, (2) *Pesca artesanal marítima*, (3) *Pesca en aguas continentales*, y (4) *Acuicultura* (Agencia de Cooperación Internacional del Japón, 2002). Sin embargo, recientemente la actividad pesquera en El Salvador clasifica principalmente en: (1) *Pesca industrial de atún*, (2) *Pesca industrial de camarón* y, (3) *Pesca artesanal* (FAO, 2022). También se puede clasificar en términos de: (1) *Producción pesquera* y (2) *Acuicultura*.

Según datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), entre 2010 y 2014, el volumen de producción pesquera y acuícola fue de casi 40 mil toneladas anuales en promedio. Para el período comprendido entre 2015 y 2022, la FAO en sus Estadísticas de Producción Global Según Fuente de Producción (pesca y acuicultura), muestran un promedio de casi 62 mil toneladas anuales. La producción pesquera representa aproximadamente un 85% del volumen total, mientras que la acuicultura un 15% del volumen total de actividades pesqueras (FAO, 2022). Dentro de la producción pesquera se tiene principalmente varias especies de atún (destinadas

principalmente a la industria de atunes en conserva), camaroncillo o camarón tití, camarón patiblanco, y tilapia del Nilo. En la Tabla 2.1 se muestra la producción pesquera en un período comprendido entre los años 2015 y 2020.

Tabla 2.1

Producción pesquera promedio anual de las especies de principal interés en El Salvador, expresada en toneladas

Producción pesquera (ton)						
Especie	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Atún de aleta amarilla	8,140.00	9,973.00	7,441.96	6,461.14	4,833.06	9,842.85
Atún listado	30,802.00	32,253.00	27,318.26	29,808.16	28,610.20	26,917.30
Atún patudo	5,440.00	5,521.00	5,680.65	6,281.56	5,931.83	5,333.43
Melva (túnido)	435.00	793.00	894.80	1,157.10	1,070.88	960.00
Camarón patiblanco	162.00	424.00	420.00	420.00	420.00	420.00
Camaroncillo o camarón tití	383.00	497.00	500.00	500.00	500.00	500.00
Tilapia del Nilo	112.00	261.00	260.00	260.00	260.00	230.00
Tiburones, ráyidos y rayiformes	163.00	468.00	470.00	470.00	470.00	470.00

Adaptado de FAO. 2022. Fishery and Aquaculture Statistics. Global capture production 1950-2020 (FishStatJ). In: FAO Fisheries and Aquaculture Division [online]. Rome. Updated 2022. <https://www.fao.org/fishery/en>

Las exportaciones de mariscos y productos derivados de este fueron de \$96.1 millones aproximadamente, para el año 2019, contra \$41.4 millones de importaciones de los mismos (FAO, 2019).

Se estima en promedio que el consumo per cápita de mariscos en El Salvador es de 6.6 kg por persona por año, para la década de 2010, sin embargo, han existido años en el que el consumo se incrementó, por ejemplo, en 2009, donde se registró un consumo promedio de 11.83 kg por persona (Oddone y Beltrán T., Diagnóstico de la Cadena de Camarón de Cultivo en El Salvador, 2014)

Los principales puertos donde está asentada la actividad pesquera a nivel industrial y artesanal son: La Unión (departamento de La Unión), El Triunfo (Usulután), Acajutla (Sonsonate) y La Libertad. La Unión es el puerto

principal de desembarco de la pesca atunera de El Salvador. El puerto de La Libertad concentra el mayor movimiento de pesca artesanal en todo el país. El muelle artesanal del Puerto de La Libertad es una zona histórica con más de 100 años de existencia, y forma parte del área comprendida por el Malecón del Puerto de La Libertad, así como el área del Mercado del Mar. En el área operan 412 pescadores, y cinco cooperativas, cuatro de pesca (de captura) y una comercializadora, con 225 integrantes en total (FAO, 2022). La zona del Mercado del Mar se divide en tres áreas, ventas de mariscos frescos, estacionamiento de lanchas pesqueras, y un área de restaurantes, en la que según CORSATUR, actualmente se encuentran 20 establecimientos de comida.

2.1.2 Situación del camarón en El Salvador

La pesca de camarón como actividad comercial inició en los años cincuenta, con un acelerado crecimiento, que empezó a mostrar repercusiones a finales de la década de los años sesenta, debido a la excesiva pesca que impedía la reproducción adecuada de las especies de camarón. A partir de 1997, la actividad camaronera comenzó a mostrar una baja. Como un intento por revitalizar este mercado, se implementó la veda de camarón por un mes, con la finalidad de mantener equilibradas las poblaciones de camarón desde el año 2002 (Agencia de Cooperación Internacional del Japón, 2002).

Para el año 2000, la exportación de recursos pesqueros congelados, estaba dominada por el camarón congelado, el cual representaba en promedio, cerca del 60% de los productos de esta índole, siendo el principal importador Estados Unidos. (Agencia de Cooperación Internacional del Japón, 2002).

Entre las especies capturadas se encuentran especies de camarón blanco y café (Agencia de Cooperación Internacional del Japón, 2002). Dentro de toda la producción pesquera y acuícola de El Salvador, el camarón, camaroncillo y el camarón marino, solamente representan el 3.7% de los aportes (CENDEPESCA, 2013).

En Centroamérica, para la década comprendida entre 2000 y 2010, el cultivo de camarón estuvo dominado por Honduras con un aporte de cerca del 40%, en cambio, El Salvador mostró un aporte de cerca del 0.5% (Oddone y Beltrán T., 2014). Honduras es el mayor exportador de camarón para pro-cesamiento o venta local de El Salvador. Para el primer semestre de 2018, en El Salvador se reportaron tan solo \$0.1 millones en exportaciones de camarón y langostino, mientras que Honduras reportó \$88 millones. (CentralAmericaData, 2018). Por lo tanto, se estima que Honduras se man-tenga como el mayor productor de camarón en Centroamérica y exportador de la región, y El Salvador, continúe siendo su principal importador con una baja producción. Sin embargo, se reporta que el mercado del camarón se encuentra en crisis, dado que para 1980, se estimaba una captura de ca-marón marino de cerca de 969,500 kg/año, cifra que se redujo a 216,348 kg/año en 2018 (Forbes Centroamérica, 2020).

El camarón se obtiene principalmente de tres actividades: importación, pesca por arrastre, y cultivo. Como se muestra en la Figura 2.4, por lo ge-neral, en la pesca de camarón por arrastre, se obtiene cerca de 9.56% de camaroncillo y 6.21% de camarón, siendo lo restante en gran mayoría, fauna acompañante y algunas clases de pescado.

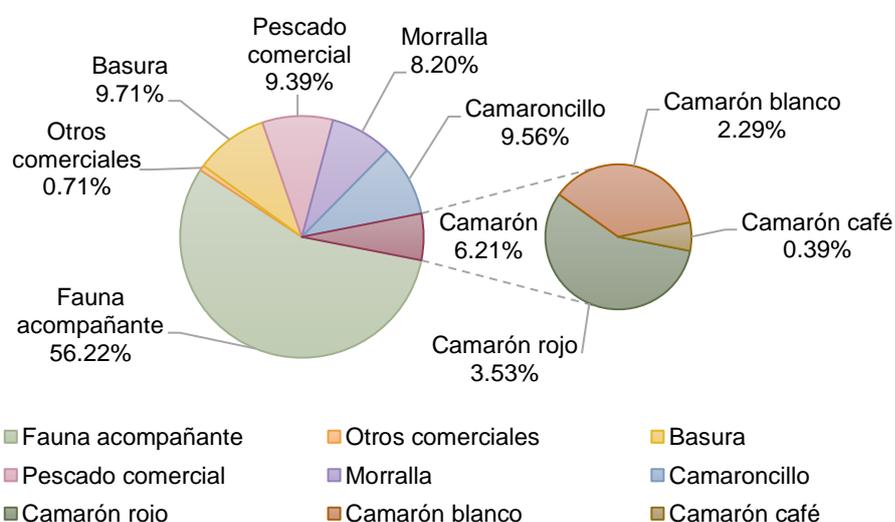


Figura 2.4 Composición común de la pesca comercial marina por arrastre (Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG, 2019).

Además, se observa que entre los tipos de camarón que se pescan se tienen en gran proporción el camarón rojo, seguido del camarón blanco y el camarón café. El camaroncillo se pesca en mayor proporción que el camarón (Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG, 2019).

En El Salvador las exportaciones de camarón se mantienen a niveles bajos desde el año 2009. Para la década del 2000, se registran 18 plantas procesadoras de mariscos en su mayoría para comercialización como producto congelado (Agencia de Cooperación Internacional del Japón, 2002). El objetivo del procesamiento es surtir el mercado local, y es un valor agregado que, por lo general, es excluido de la cadena de valor del camarón, puesto que, en el mercado nacional la cadena finaliza con la comercialización y distribución del camarón sin procesar (entero o descabezado).

En la Tabla 2.2 se muestran los datos de exportaciones más recientes estimados por el Banco Central de Reserva (BCR) a partir de los datos de la Dirección General de Aduanas (DGA). Estos datos se obtuvieron a partir de las Estadísticas de Comercio Exterior del año 2015 al 2021.

Tabla 2.2
Exportaciones de camarón de los últimos años expresadas en US\$ y kg.

Año	US \$	Kilogramos
2014	\$714,363.15	88,157.08
2015	\$492,700.16	60,443.11
2016	\$341,497.58	25,821.08
2017	\$510,000.00	100,000.00
2018	\$310,000.00	30,000.00
2019	\$120,000.00	10,000.00
2020	\$2,748.96	239.52
2021	\$122,532.00	9,716.37

Fuente: DGA con tratamiento según metodología de Balanza de Pagos del BCR - Departamento del Sector Externo.

En la Figura 2.5 se muestra la gráfica de los datos de la Tabla 2.2 y se observa la tendencia en descenso que siguen las exportaciones en El Salvador.

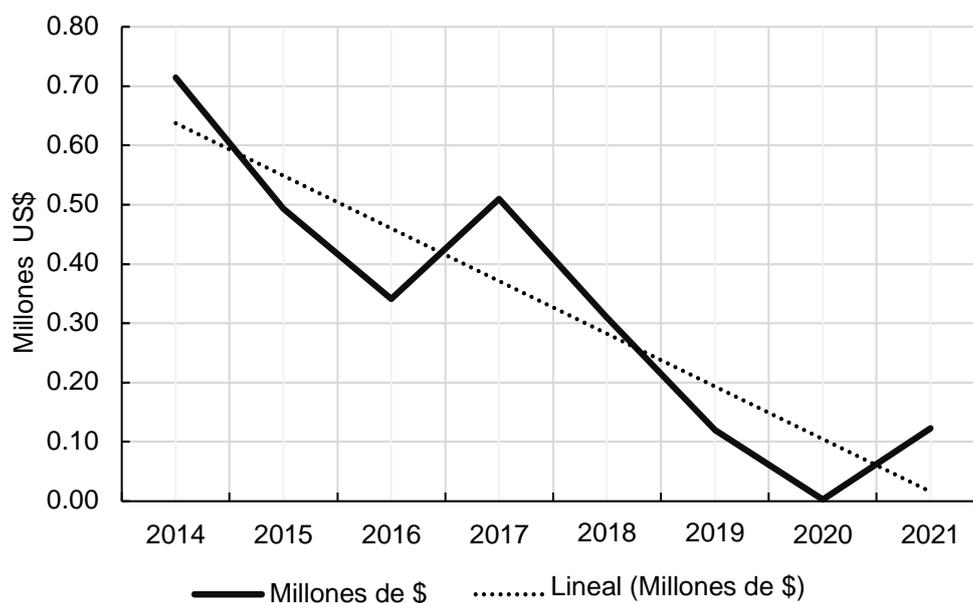


Figura 2.5 Exportaciones de camarón expresadas en millones de dólares. Fuente: Estadísticas de Comercio Exterior de los años 2015 – 2021 del BCR.

Según la Tabla 2.3, es evidente un aumento en las importaciones de camarón de cultivo, las cuales provienen principalmente de Honduras y Nicaragua (MAG-IICA, 2012).

Tabla 2.3

Importaciones totales de camarón congelado por año, expresadas en dólares y kilogramos.

Año	Valor FOB US\$	Kilogramos
2000	\$ 25,212.39	12,501.18
2001	\$ 19,333.21	13,162.03
2002	\$ 52,402.22	41,381.15
2003	\$ 200,259.82	163,564.55
2004	\$ 678,009.32	498,743.24
2005	\$ 1,142,007.86	765,920.36
2006	\$ 2,173,761.38	1,343,422.24
2007	\$ 4,366,177.69	1,423,623.87
2008	\$ 3,155,190.38	943,525.38
2009	\$ 4,694,454.72	1,365,487.99
2010	\$ 2,138,037.77	646,137.03
2011	\$ 1,836,371.75	767,747.68

Fuente: (MAG-IICA, 2012) con datos del BCR.

Es más clara la tendencia de las importaciones, si se observa la Figura 2.6, en la cual se ha graficado, además, una línea de tendencia para verificar el comportamiento de los datos con respecto al tiempo, los cuales van en incremento.

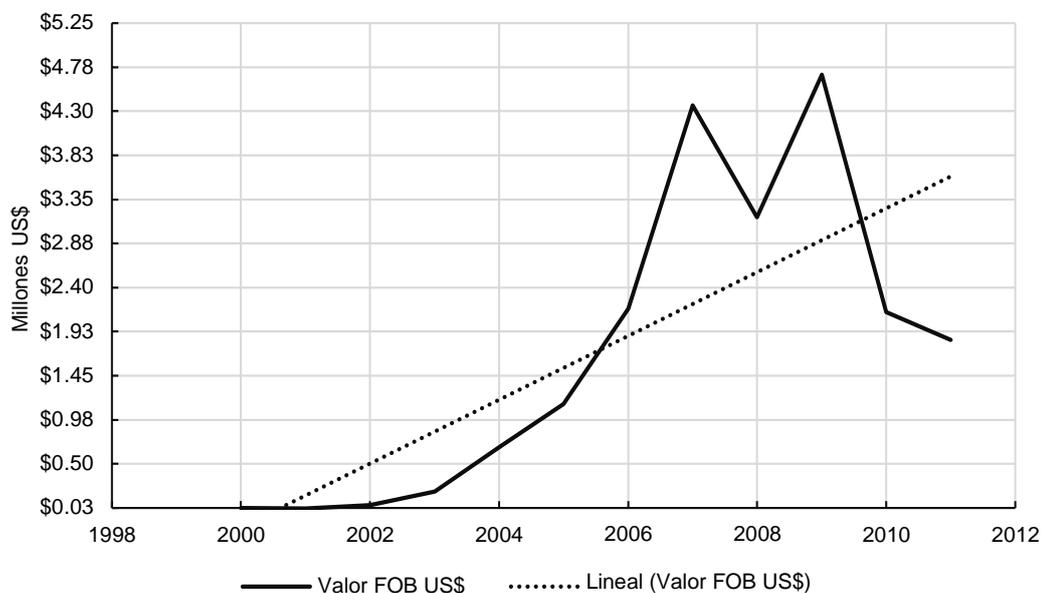


Figura 2.6 Tendencia de las importaciones de camarón (US\$). Fuente: Elaboración propia con datos del BCR.

A partir de las tendencias de los datos plasmados en la Figura 2.5 y Figura 2.6 se espera que actualmente las importaciones de camarón estén en aumento, dado que la actividad camaronera a nivel nacional está decayendo, y las exportaciones se encuentran en un nivel crítico.

En El Salvador, las esperanzas están puestas en las granjas camaroneras. Actualmente existen 10 granjas camaroneras, siendo el principal referente la granja Las Ánimas en Zacatecoluca, departamento de La Paz. Esta granja facturó cerca de 3 millones de dólares en consumo nacional en el año 2020, y produce de 2.5 a 3 ciclos productivos de camarón en el año, por lo que con cada ciclo obtienen 600,000 libras. En 2021, produjeron cerca de 1.5 millones, con precio de venta a \$3.00 y \$3.40. Para 2022 se proyecta obtener 2 millones de libras al año (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2021).

La cadena productiva del cultivo de camarón se rige según el esquema presentado en la Figura 2.7.

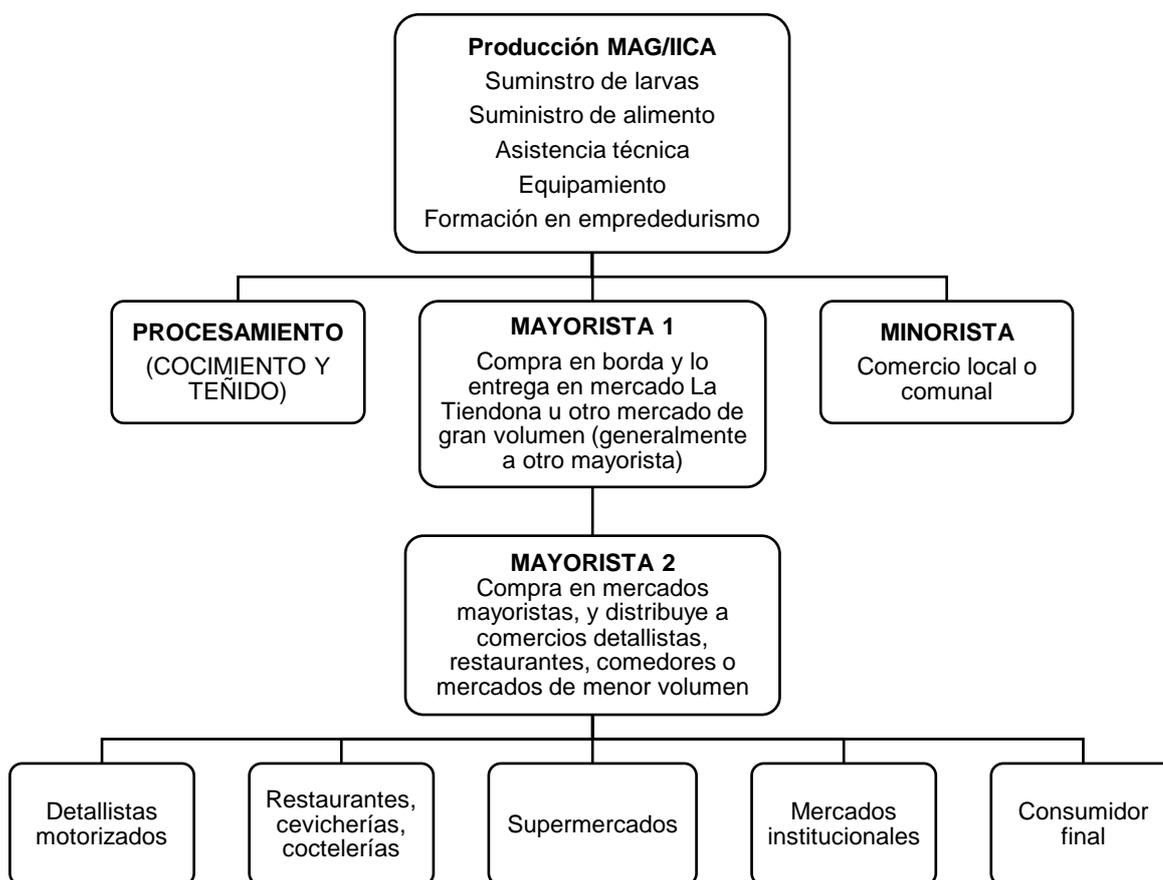


Figura 2.7 Caracterización de la cadena productiva de camarón de cultivo. Extracto de MAG-IICA, 2012

2.1.3 Generalidades sobre las especies de camarón consumidas en El Salvador

En El Salvador existen cuatro especies de interés en la pesca por arrastre, y están clasificadas de acuerdo a su apariencia: *camarón blanco*, *rojo*, *café* y *camaroncillo*. La especie de mayor interés es el camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*), tanto en la pesca como en el cultivo, aunque en la pesca también se aprovechan otras dos especies de camarón blanco (*P. stylirostris* y *P. occidentalis*), en la Figura 2.8 se puede observar el aspecto de estas especies.

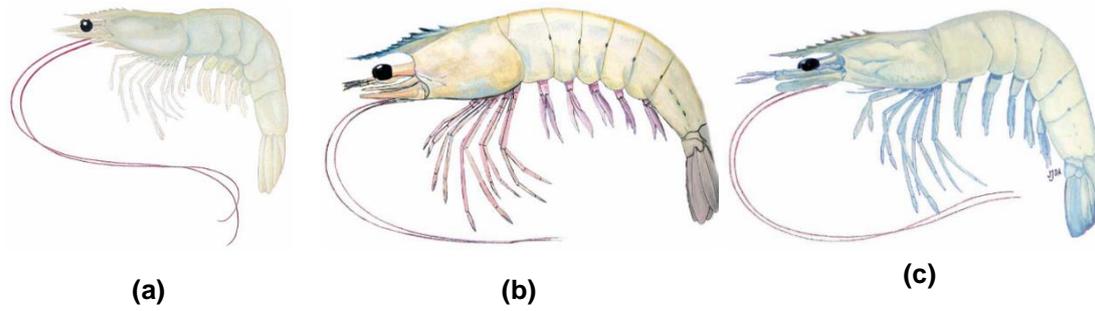


Figura 2.8 Especies de camarón blanco más comúnmente consumidas en el país.

(a) *Litopenaeus vannamei* (b) *Litopenaeus occidentalis* y (c) *Litopenaeus stylirostris*. Tomado de: Peces, Moluscos y Crustáceos del Istmo Centroamericano (Amador, 2010).

Es común durante la pesca capturar camarones cafés (*Farfantepenaeus californiensis*) y rojo (*Penaeus brevisrostris*). En la Figura 2.9, pueden observarse ambas especies de camarones.

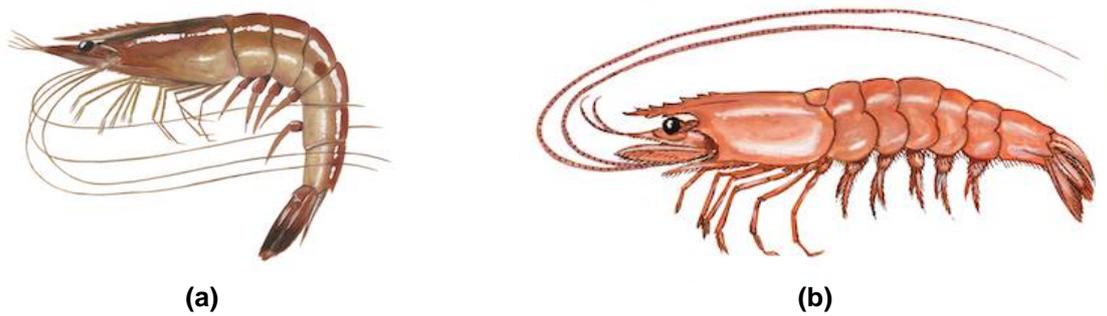


Figura 2.9 Otras especies de camarón comúnmente pescadas: (a) Camarón café (b) Camarón rojo (CONXEMAR, 2022).

Otra especie de interés en la pesca, es el camarón tití o camaroncillo (*Trachipenaeus* sp. y *Xiphopenaeus riveti*), véase la Figura 2.10.

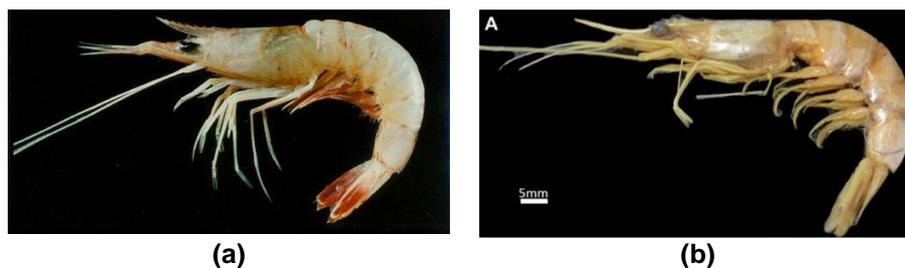


Figura 2.10 Especies de camaroncillo consumidas en el país: (a) *Trachipenaeus* sp. (b) *Xiphopenaeus riveti* (CONXEMAR, 2022).

A continuación, se muestran las especies de camarones más comunes en el territorio marino de El Salvador:

a) *Litopenaeus vannamei*.

Conocido comúnmente como *camarón blanco*, *camarón patas blancas*, *whiteleg shrimp*. Esta especie es nativa del Océano Pacífico Oriental y cultivado en muchos países (véase Figura 2.11), entre los cuales destacan: China, Tailandia, Indonesia, Brasil, Ecuador, México, Venezuela, Honduras, Guatemala, Nicaragua, Belice, Vietnam, Malasia, P.C. de Taiwán, Islas del Pacífico, Perú, Colombia, Costa Rica, Panamá, El Salvador, Estados Unidos de América, India, Filipinas, Camboya, Surinam, Saint Kitts, Jamaica, Cuba, República Dominicana y Bahamas. (FAO, 2009)



Figura 2.11 Principales regiones productoras de *Litopenaeus vannamei* (coloreadas en naranja) (FAO, 2009).

En estado natural, habita sobre fondos fangosos o arenoso-fangosos en aguas muy someras (1 a 4 m) y hasta unos 72 m de profundidad. Su desplazamiento es limitado, pero las corrientes marino-costeras pueden movilizarlo. El adulto se alimenta de materia orgánica en descomposición y pequeños organismos entre los que figuran crustáceos y moluscos; las crías de plancton.

Generalmente es de color blanco translúcido, a veces amarillento y con la cabeza ligeramente más oscura. En su etapa adulta llegan a medir cerca de 23 cm de longitud total (longitud de cefalotórax y longitud de cola). Por lo general es capturado antes de alcanzar los 20 cm.

Madura sexualmente entre los 6 y 7 meses y la hembra produce cerca de 250,000 huevos, que eclosionan unas 16 horas después de la liberación en aguas marinas. Las larvas atraviesan una serie de metamorfosis antes de alcanzar la fase de adulto. Unos 5 días después de completar el estado de post larva inicia la migración hacia aguas estuarinas cambiando su dieta de plancton por detritos bénticos, bivalvos y crustáceos.

De acuerdo con la FAO (2006), para cultivos comerciales controlados, hay tres fuentes de abasto de reproductores: (1) Los que se capturan en el mar (medio silvestre), (2) los que se obtienen de las cosechas de camarón cultivado en estanques y, (3) los reproductores libres y resistentes a patógenos específicos cultivados y producidos en Estados Unidos de Norte América. Los camarones son mantenidos en estanques de maduración y logran la mayor capacidad reproductora cuando las hembras alcanzan los 8 meses de edad y los machos superan los 10 meses (SICA y OSPESCA, 2018).

Extirpando o cortando uno de los pedúnculos oculares de la hembra, los cultivadores de camarones logran obtener varios ciclos de desoves. Hay un estricto control sobre los desoves, los nauplios (primera etapa) son lavados con agua marina pura agregándoles desinfectantes inofensivos para ellas. En las primeras etapas de la vida son alimentadas con microalgas y artemias vivas. Cuando se trasladan a la finca de cultivo se les alimenta con concentrados especiales secos o líquidos.

El arrastre de fondo es el principal método de captura; artesanalmente se emplean redes de enmalle y, principalmente, redes de mano conocidas como atarrayas. Las cosechas comerciales controladas en la

camaronicultura se realizan de varias formas: con redes instaladas en las compuertas de salida (mangas), arrastrando pequeñas redes, atarrayas, chucharas de red o cubetas perforadas. En los mercados se adquiere camarón fresco, congelado ya sean enteros o cola (SICA y OSPESCA, 2018).

b) *Litopenaeus occidentalis* (Adaptado de SICA y OSPESCA, Climapesca, 2018).

Conocido comúnmente como, camarón blanco occidental, *western white shrimp*, su talla máxima es 24 cm de longitud total. Es frecuente encontrar tamaños de 17.7 cm en machos y 19.2 en hembras. Conocido comúnmente como, camarón blanco occidental, *western white shrimp*, su talla máxima es 24 cm de longitud total. Los adultos de esta especie son marinos, mientras que las postlarvas y juveniles se encuentran en ambiente estuarino.

Sobre la plataforma continental ha sido encontrado entre 2 y 160 m de profundidad, pero la gran mayoría de la pesca se realiza entre 2 y 27 m por lo cual es considerada una especie de agua someras (costera). Vive asociada a zonas litorales fangosas, un ambiente que comparte con las especies de chacalines y camaroncillos (*Trachypenaeus* y *Xiphopenaeus*).

La alimentación de *L. occidentalis* varía de acuerdo a su etapa de desarrollo, así en su primera fase de nauplio no come, únicamente consume el vitelo del huevo que le dio origen. Cuando se convierte en protozoa (una etapa más avanzada de su desarrollo) se alimenta de fitoplancton y micro organismos; cuando es juvenil el bento, los detritos y formas planctónicas sirven de comida; como adultos el 80% de su alimentación lo constituyen los detritos.

Esta especie tiene alta demanda por su sabor, consistencia de la carne y el tamaño que alcanza, normalmente se ha exportado en forma

congelada a mercado como los Estados Unidos, sin embargo, los consumos locales se han incrementado y ahora se vende fresco en los mercados domésticos.

La distribución de esta especie es en el Océano Pacífico Oriental: Desde México, hasta Perú. La zona costero-marino centroamericana ha sido un criadero natural de esta especie.

c) *Litopenaeus stylirostris* (Adaptado de SICA y OSPESCA, Climapesca, 2018).

Conocido comúnmente como, camarón blanco, camarón azul, langostino o *western blue shrimp*. El macho alcanza longitudes totales de 21.4 cm, las hembras son mayores, 26.3 cm. Normalmente es capturado antes de alcanzar los 15 o 20 cm.

Esta especie se desplaza en aguas que oscilan entre los 5 y 45 m, no obstante, tiene preferencia por zonas localizadas a 30 m de profundidad. Habita sobre fondos fangosos o arenoso-fangosos, en los que predomine la arcilla o el limo, en aguas muy someras (1 a 4 m) y hasta unos 72 m de profundidad.

El adulto se alimenta de materia orgánica en descomposición y pequeños organismos entre los que figuran crustáceos, moluscos y plancton. Los adultos son pescados principalmente con redes de arrastre camaronera; mientras, los juveniles son capturados en los estuarios empleando atarrayas. Los pescadores artesanales también pescan adultos de estos camarones, en el mar utilizando redes de enmalle y se comercializa en fresco (cola o entero con cabeza), congelado, seco-salado y cocinado.

Las capturas de *Litopenaeus stylirostris* tiene gran importancia hacia el sur de Guatemala y El Salvador; en Costa Rica y Panamá constituyen la proporción más grande en pesquerías camaroneras. También en Nicaragua ha sido una de las tres especies más importante de la pesca

de camarones; en Honduras solamente es capturada por los pescadores artesanales. Junto a *L. vannamei* son el objetivo de granjas camaroneras que producen, exportan extra regionalmente y proveen los mercados locales con producto fresco o congelado.

L. vannamei, *L. stylirostris* y *L. occidentalis* componen las 3 especies de camarones blancos que tradicionalmente han generado divisas para los países de la región. En aguas centroamericanas, el camarón azul tiene gran importancia comercial, no obstante que algunas infecciones virales afectaron poblaciones completas naturales y en cultivos controlados.

La distribución de esta especie es en el Océano Pacífico Oriental: Desde Baja California, México, hasta Perú, y es nativo de la costa pacífica de Centro y Sudamérica, desde México hasta Perú.

d) *Farfantepenaeus californiensis*.

Conocido comúnmente como: camarón café, camarón patiamarillo. La máxima talla es de 24 cm de longitud total y se distribuye desde la bahía de San Francisco, California hasta Callao, Perú y en las Islas Galápagos, Ecuador, mostrando sus mayores concentraciones en la costa oriental del golfo de California. (López Martínez y Espinoza Navarrete, 2005)

Ha sido encontrada sobre fondos arenosos o lodosos, entre 2 y 180 m de profundidad, pero es más abundante entre 25 y 50 m es típicamente marina, pero los juveniles se encuentran ocasionalmente en estuarios o lagunas. Es una especie que depende poco de los estuarios donde transcurre menos del 25% de su ciclo vital; incluso puede no ingresar a los esteros y a las lagunas costeras, y mantenerse en zonas someras frente a la costa (López Martínez y Espinoza Navarrete, 2005).

e) *Penaeus brevirostris*

Conocido como camarón rojo, langostino o camarón cristal, es un crustáceo marino conformado por un cefalotórax, abdomen y cola. Cuerpo de color rojo. Longitud máxima del caparazón: 5,6 cm. Longitud total máxima 170 mm (FAO, 2022). Las zonas de pesca del camarón rojo según la FAO (véase Figura 2.12) son las siguientes:

- i. Área 77: sector centro-oriental del océano Pacífico.
- ii. Área 87: sector suroriental del océano Pacífico.

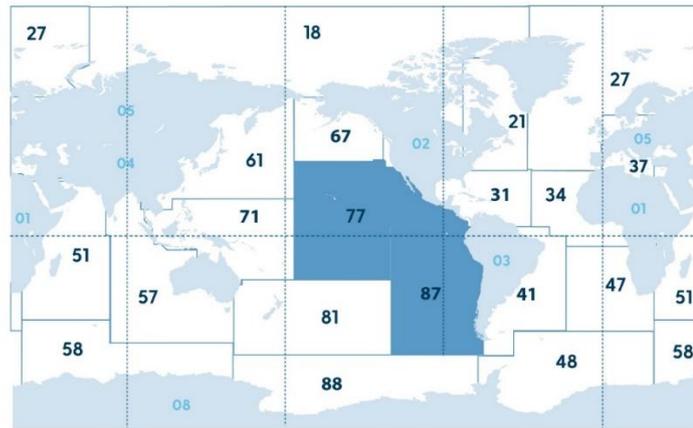


Figura 2.12 Zonas de pesca del camarón rojo según FAO (CONXEMAR, 2022)

f) *Trachypenaeus* sp.

Esta especie se divide en las siguientes subespecies:

i. *Trachypenaeus byrdi*. Presenta varias espinas en el extremo posterior de la cadena dorsal de los cuatro últimos abdominales. La mitad posterior de cada segmento abdominal es más oscura que la anterior, se ahí su nombre vulgar: cebra. (Rodríguez, 1979). La talla del *Trachypenaeus byrdi* es 13,4 cm (macho) y 18,9 cm (hembra), es una especie propia de ambientes marinos y estuarinos (de aguas salobres) asociada con fondos lodosos de la plataforma continental; capturada entre 2 y 40 m de profundidad. Al igual que las demás especies del género, *Trachypenaeus byrdi* tiene una importancia comercial limitada principalmente a los mercados locales. En Perú, es una especie acompañante en las capturas de otros *Penaeidae* y se comercializa en fresco, seco, congelado o enlatado; además ha sido producto de exportación

a partir de la década de los años ochenta. Existe también un mercado local para esta especie en Ecuador y Colombia. En conjunto, las capturas colombianas de especies de *Trachypenaeus* alcanzaron entre 15 y 70 t (producto descabezado) anuales durante el período de 1979 hasta 1983. En El Salvador, los desembarques de estas especies alcanzaron unas 6051 en el último trimestre de 1981, de las cuales el 67% era destinado a la exportación. (FAO e Instituto de Investigación Senckenberg, 1995).

ii. *Trachypenaeus faoe*. La talla máxima es 10 cm de longitud total. Esta especie es capturada hasta 24 m de profundidad. El *Trachypenaeus faoe* forma probablemente parte del conjunto de las especies de *Trachypenaeus* explotadas localmente en Ecuador y El Salvador, pero no existen informaciones precisas al respecto. (FAO e Instituto de Investigación Senckenberg, 1995)

iii. *Trachypenaeu fuscina*. Su coloración de fondo gamuzado, con tonos café-rojizos. Una banda café-rojizo oscuro en la parte posterior de los segmentos abdominales. Alcanza una talla máxima: 10.8 cm (macho) y 15 cm (hembra). Esta especie ha sido encontrada entre 5 y 100 m de profundidad, sobre fondos blandos. Al igual que la especie anterior, forma parte del conjunto de las especies de *Trachypenaeus* explotadas localmente en Ecuador y El Salvador (ver en *T. byrdi*). Las especies del género se comercializan en fresco, seco, congelado o enlatado (FAO e Instituto de Investigación Senckenberg, 1995).

g) *Xiphopenaeus riveti*.

Son de color púrpura grisáceo, de diferentes tonalidades. La región de las branquias en el cefalotórax es naranja. Los estados juveniles poseen poca tolerancia a variaciones de salinidad, por lo que no penetran a los estuarios y bahías (Rodríguez, 1979).

Conocido comúnmente como Botalón (México), Titi (Ecuador, Colombia, Panamá), Chacalín (El Salvador, nombre usado también para otras

especies pequeñas). Su hábitat es a profundidad de 3.5 a 18 metros. Se encuentra distribuido geográficamente en el océano pacífico oriental desde México hasta el norte de Perú. En la mayor parte del área desde El Salvador hasta Ecuador, la especie se captura y vende fresca o pelada y desvenada en los mercados locales. (Holthuis, 1980).

2.2 Quitina y quitosano

La quitina fue aislada por primera vez por el francés Henri Braconnot en 1811, este extrajo una sustancia insoluble en medio alcalino, a partir del hongo *Agaricus Volvaceus*, a la cual llamo “Fungina”. En 1823, Odler descubrió una sustancia similar en la cutícula de un escarabajo, a la cual nombro por primera vez *Quitina*, palabra proveniente del griego “χίτων” que significa “Chitón” o “envoltura”. (Vásquez Lara y Vidal López, 2011).

La Quitina es físicamente un compuesto blanco, duro e inelástico, y es el segundo polímero más común en la naturaleza, siendo el primero, la celulosa (Vásquez Lara y Vidal López, 2011). Ambos compuestos presentes en la naturaleza, presentan una notable similitud, la cual se puede apreciar en la Figura 2.13.

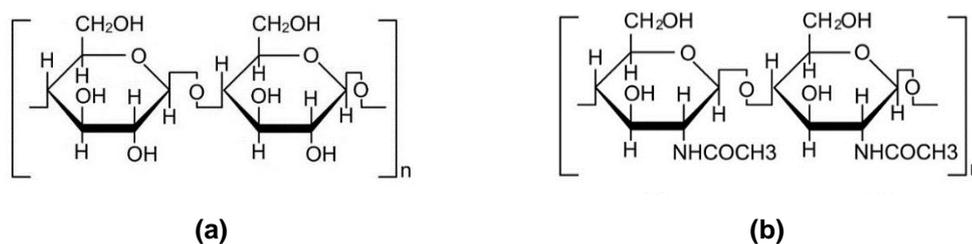


Figura 2.13 Representación de las moléculas de (a) celulosa y (b) quitina (Molina, Plantas y Hongos, 2021).

Las diferencias entre la celulosa y quitina radican en los monómeros presentes en las cadenas de ambos; el monómero presente en la celulosa es la glucosa, y en la quitina es la N- acetilglucosamina.

El dímero que conforma la quitina es la quitobiosa, como puede observarse en la Figura 2.14. Adicional, en la misma ilustración se muestra como las cadenas de quitina se agrupan en los exoesqueletos de algunos insectos.

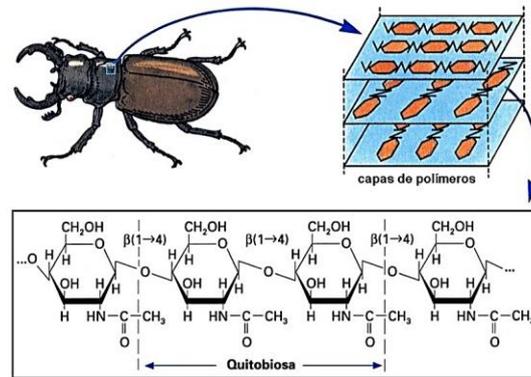


Figura 2.14 Cadena de quitina, conformada por el dímero quitobiosa (Castaños, 2015).

La quitina y su principal derivado, quitosano, son considerados polímeros biofuncionales con amplia aplicación en el área de la biotecnología, ya que, además de ser recursos abundantes y renovables, también presentan diversas propiedades que incluyen la biodegradabilidad y biocompatibilidad. (Pacheco López, 2013). En la Figura 2.15 puede observarse como a partir de un proceso de desacetilación de la quitina en medio básico se puede obtener el quitosano. Existe una conversión de cerca del 60% o más de los grupos amida presentes en la quitina, a grupos amino, característicos en el quitosano (Romero–Serrano y Pereira, 2020).

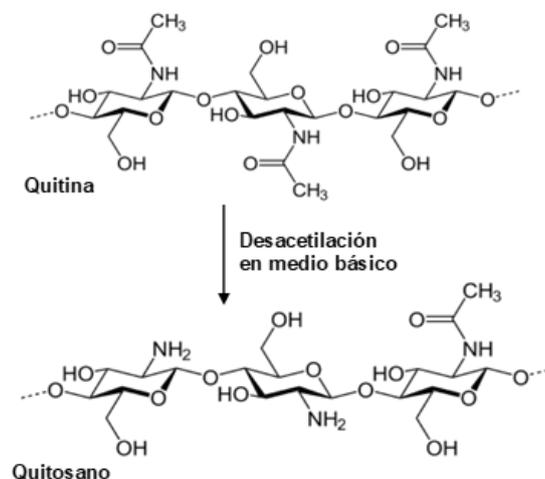


Figura 2.15 Conversión de quitina en quitosano a partir de un proceso de desacetilación (Romero–Serrano y Pereira, 2020).

2.2.1 Descripción, características y propiedades fisicoquímicas

La quitina y el quitosano pueden variar en sus valores de masa molecular y grados de desacetilación promedio o grupos aminos libres, lo cual determina su calidad y el uso de estos polímeros. Además, según Domard (1998), dependiendo del estado en que se encuentre, sólido o en solución, la quitina y el quitosano presentan diferentes propiedades, en el estado sólido las propiedades dependen de la accesibilidad y la movilidad de las cadenas del polímero, parámetros relacionados con la cristalinidad y morfología. En solución, las propiedades dependen de los parámetros de solubilidad y conformación de la cadena. (Pacheco López, 2013).

La composición del quitosano está distribuida de forma aleatoria entre unidades moleculares de β -(1-4) D-glucosamina y N-acetil-D-glucosamina. Este compuesto demuestra mayor versatilidad que la celulosa para reacciones químicas, debido a las posibles sustituciones en los sitios activos aminos ubicados en la posición Carbono-2 (C-2), y a varios grupos hidroxilos también disponibles (Romero–Serrano y Pereira, 2020).

2.2.1.1 Estructura cristalina

La presencia y abundancia de los grupos hidroxilo (primario en C-6 y secundario en C-3) y el grupo N-acetil o amino (en C-2) en las moléculas de quitina y quitosano respectivamente, tienen tendencia a la formación de puentes de hidrógeno intra e inter moleculares que favorecen la formación de agregados lineales de alta cristalinidad. Las cadenas de quitina forman puentes de hidrógeno mediante los grupos C=O y H-N, que a su vez forman puentes de hidrógeno con los anillos de azúcar vecinos entre el grupo carbonilo y el grupo hidroxilo del C-6, existe otro puente de hidrógeno que se forma entre el grupo OH del C-3 y el oxígeno del anillo, lo que aumenta la rigidez de la cadena manteniendo una estructura altamente ordenada (Pacheco López, 2013).

La molécula de la quitina puede adoptar tres estructuras cristalinas, α , β y γ -quitina (véase Figura 2.16), que se presentan a continuación (Romero–Serrano y Pereira, 2020):

a) Ordenamiento antiparalelo (α): presente en la mayor cantidad de artrópodos, siendo la más abundante, estable, altamente cristalina (80 %) y presenta la mayor cantidad de formación de puentes de hidrógeno intermoleculares, la alta cantidad de puentes de hidrógeno entre las cadenas de α -quitina que se forman, son los responsables de su insolubilidad en disolventes acuosos y en la mayoría de solventes orgánicos. Se encuentra en superficies duras o rígidas.

b) Ordenamiento paralelo (β): encontrado mayoritariamente en calamares, gusanos gigantes e insectos. En la β -quitina las cadenas en forma paralela proporcionan una fuerza intermolecular más débil, resulta más reactiva y más soluble; además puede hincharse y convertirse en la forma α por ser metaestable y es capaz de biosintetizarse en condiciones específicas

c) Ordenamiento asimétrico (γ): la γ -quitina presenta dos cadenas paralelas en el mismo sentido y la siguiente en el sentido opuesto, esta alomorfa ha sido la menos estudiada y se puede considerar como una mezcla de las dos primeras. Se ha reportado su presencia en capullos de insectos (escarabajos) y en paredes celulares de hongos (Pacheco López, 2013).

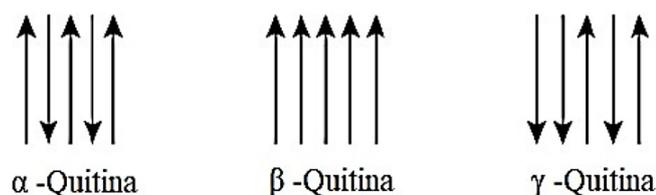


Figura 2.16 Estructuras cristalinas de la quitina (Romero–Serrano y Pereira, 2020).

Contrario a la quitina, el quitosano presenta diferentes alomorfos que dependen del modo de preparación de la muestra a analizar, así como de su grado de acetilación y de despolimerización. Por lo general los

quitosanos mantienen un solo pico característico de la quitina, ya que debido a la presencia de los grupos acetamidas en el C-2 se reduce la cantidad de puentes de hidrógeno, y como consecuencia la estructura se vuelve más inestable. Las alomorfos hidratada y anhídrida del quitosano, han sido las más estudiadas.

2.2.1.2 Propiedades fisicoquímicas

El quitosano es un copolímero insoluble a pH neutro y básico debido a sus enlaces intra e intermoleculares formados por puentes de hidrógeno. Su forma cristalina y grupos amino protonables ($-\text{NH}_3^+$), permiten que sea soluble en soluciones acuosas ácidas, ya que se incrementa la polaridad y las repulsiones electrostáticas, lo que facilita la formación de asociaciones interpoliméricas. El quitosano resulta un polisacárido catiónico lineal de la familia aminoglucopirano. (Vásquez Lara y Vidal López, 2011).

2.2.1.3 Solubilidad

La quitina es insoluble en agua y en la mayoría de los disolventes. Para llevar a cabo la disolución de esta molécula, es necesario introducir disolventes que induzcan las repulsiones entre las cadenas o desequilibren los puentes de hidrógeno intermoleculares presentes en el estado sólido. Recientemente, el metanol saturado con el cloruro de calcio dihidratado ha sido reportado como nuevo disolvente de la quitina utilizado anteriormente como disolvente para nylon (Pacheco López, 2013).

El quitosano es insoluble en disolventes orgánicos puros, pero soluble en ácidos acuosos debido a la presencia de grupos amino libres que al ser protonados generan repulsiones en la cadena promoviendo la solubilización. Algunos ácidos orgánicos usados como disolventes son el fórmico, acético, láctico, pirúvico y ácidos oxálicos. Ácidos minerales como ácidos hidrocloóricos y nítricos también solubilizan al quitosano, sin embargo, el ácido sulfúrico no es conveniente debido a las atracciones iónicas entre la cadena producida por el anión divalente del sulfato (Pacheco López, 2013).

2.2.1.4 Grado de Acetilación

Los grupos amino de la quitina nativa están presentes principalmente en forma acetilada, pero algunos pueden tener cadenas proteicas o pueden estar presentes como aminos libres. Además, durante el proceso de extracción de la quitina con ácido y álcali se produce inevitablemente una desacetilación. Por lo tanto, las muestras de quitina contienen diferentes cantidades de grupos N-acetilo, dependiendo de su procedencia y procedimiento de extracción. En general, el grado de N-acetilación de α -quitina, de cangrejo o del exoesqueleto de los camarones, y la β -quitina, de los corrales de calamar, están en el rango de 0.90 a 0.95 (Kurita, 2006). En el quitosano, el contenido de N-acetilo también depende de las condiciones de desacetilación y la quitina fuente. Aunque no existe una aceptación común especificación para definir el quitosano en términos de contenido de acetilo, muestras con grados de N-acetilación por debajo de 0.3 se denominan comúnmente quitosano, ya que son fácilmente solubles en acético diluido ácido (Kurita, 2006).

2.2.1.5 Peso molecular

Existen distintos factores durante la extracción de la quitina y la preparación del quitosano que pueden influenciar en peso molecular del biopolímero final. Altas temperaturas y concentraciones de ácidos y álcalis, así como largos tiempos de reacción, pueden degradar y ocasionar despolimerización de las cadenas, además, se ha observado que el peso molecular del quitosano tiene una influencia en su actividad biológica (Pacheco López, 2013). El peso molecular de la quitina natural se encuentra entre 1×10^6 - 2.5×10^6 g/mol y el del quitosano comercial entre 1×10^5 - 5×10^5 g/mol en función del grado de desacetilación (Paul, Sharma, & Pillai, 2009).

2.2.1.6 Actividad antimicrobiana

Según Raafat & Sahl (2009), muchos investigadores han demostrado las propiedades antimicrobianas del quitosano, pero los mecanismos reales detrás de esto aún no están claros. Se han propuesto varios

mecanismos responsables de las actividades antimicrobianas, pero los más aceptables son (Kumar, Mukherjee, & Dutta, 2020):

a) Según Hosseinejad & Jafari (2016), la interacción de las membranas celulares microbianas cargadas negativamente con grupos amina cargados positivamente en el quitosano alterando las propiedades de barrera de la membrana, lo que conduce a la fuga del contenido intracelular y, en última instancia, a la muerte celular.

b) El segundo mecanismo propuesto se basa en las propiedades quelantes del quitosano. El quitosano se une selectivamente a los metales, inhibiendo varias enzimas metabólicas de las células microbianas bloqueando sus centros activos y reduciendo el crecimiento microbiano.

c) Según C. Qin et al., 2006; Zheng & Zhu (2003) el peso molecular del quitosano también puede influir en la acción antimicrobiana. Además, según Hosseinejad & Jafari, (2016) el quitosano de alto peso molecular puede formar una capa polimérica impermeable en la superficie de la célula microbiana, cambiando la permeabilidad celular y, en última instancia, bloqueando la entrada de nutrientes en la célula, mientras que el quitosano de bajo peso molecular podría penetrar en el citosol y unirse con el ADN de las células, lo que resulta en una interferencia con la síntesis de ARNm y proteínas que conducen a la muerte celular. La Tabla 2.4 muestra algunas propiedades de la quitina y el quitosano.

Tabla 2.4
Propiedades generales de la quitina y quitosano.

Propiedad	Quitina	Quitosano
Peso molecular (g/mol)	1×10^6 a 2.5×10^6	1×10^5 a 5×10^5
Grado de acetilación	>40	0 a 40
Viscosidad (Cps) 1% en 1% de ác. Acético	No soluble	200 a 2000
Humedad (%p/p)	8 a 10	6 a 7
Solubilidad	DMAc-LiCl	Ácidos diluidos

Fuente: (Pacheco López, 2013)

2.2.2 Síntesis de quitina

Los desechos de crustáceos producidos por la industria pesquera son la materia prima para la industrialización de la quitina. El procedimiento para obtenerla consiste en aislarla de proteínas, minerales, generalmente calcáreos y pigmentos. Las etapas de este procedimiento se denominan procesos de desproteínización y desmineralización (Barra, Romero, y Beltramino, 2012).

Según Cisneros Pérez y otros (2019), “la obtención de quitina se la puede realizar mediante métodos químicos, biológicos y enzimáticos. Sin importar el tipo de método elegido, los procesos a realizar consisten en extraer los componentes presentes en la materia que no sean quitina, como son la desmineralización y la desproteínización, seguida en ocasiones de decoloración, cuyo orden dependerá del origen de la materia prima, o de la intención de recuperación de subproductos” (citado en Pastor de Abram, 2004).

La obtención de la quitina en la industria a partir de crustáceos se lleva a cabo mediante procesos químicos sucesivos de desproteínización en medio alcalino, desmineralización en medio ácido y blanqueo mediante agentes decolorantes, el orden de los dos primeros pasos dependen de los subproductos que se deseen obtener.

Las proteínas se extraen generalmente con la ayuda de soluciones alcalinas de NaOH ó KOH, aunque también se han utilizado soluciones de Na_2CO_3 , NaHCO_3 , K_2CO_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Na_2S , CaHSO_3 y Na_3PO_4 . La efectividad de la desproteínización depende de la temperatura, la concentración del álcali y la proporción del desecho en solución, diversos estudios han probado concentraciones que varían entre 1M a 4M a temperaturas de 25 a 100°C y tiempos desde 0.5 a 72 horas, sin embargo, las altas concentraciones de álcali y altas temperaturas de reacción, pueden producir la desacetilación y degradación de la quitina.

En el caso de la desmineralización, diferentes tipos de ácidos fuertes como (HCl, HNO₃ o H₂SO₄) o débiles (CH₃COOH, HCOOH) han sido utilizados. El objetivo es la solubilización del carbonato de calcio. Las concentraciones evaluadas varían desde 0.2M a 6 M a temperaturas de -20°C a 100°C, estudios han demostrado completa desmineralización del desecho cuando la concentración del ácido es estequiométricamente mayor que la de la cantidad de minerales. El blanqueo de la quitina solo se realiza cuando es indispensable tener un producto completamente puro, ya que el pigmento no afecta la influencia del comportamiento del polímero en solución, su reactividad o propiedades fisicoquímicas. Por lo general para el blanqueo se utilizan soluciones de hipoclorito de sodio, acetona absoluta, cloroformo, peróxido de hidrógeno, acetato de etilo, etanol o una mezcla de ellos (Synowiecki & Al-Khateeb, 2003 como se citó en Pacheco López, 2013).

2.2.3 Síntesis de quitosano a partir de quitina

La desacetilación de quitina a quitosano se realiza en estado sólido bajo condiciones alcalinas usando NaOH concentrado, o por hidrólisis enzimática en presencia de la enzima quitina desacetilasa. Este proceso involucra la eliminación de grupos acetilos de la cadena de quitina hasta alcanzar un completo grupo amino (NH₂). La efectividad de dicho proceso depende de la concentración del álcali, la temperatura y el tiempo de reacción, así como la relación solvente/sólido (Curbelo Hernández , Palacio Dubois , y Fanego Hernández , 2018).

2.2.4 Aplicaciones del quitosano

Actualmente existen algunos estudios sobre las aplicaciones del quitosano, entre las cuales destacan áreas como la industria alimentaria, agricultura, medicina, y tratamiento de aguas. Estas se detallan a continuación:

a) Aplicaciones del quitosano en la industria alimentaria.

En la industria alimentaria es principalmente es utilizado como alternativa para el envasado de alimentos por sus propiedades antimicrobianas contra varios microorganismos tales como bacterias Gram-positivas y Gram-

negativas, hongos filamentosos y levaduras. Además, se aprovechan sus propiedades antioxidantes, Según Anraku, Gebicki, Iohara, Tomidá, Uekama, Maruyama, et al., (2018) y Yen, Yang y Mau, (2008) la capacidad de eliminación de radicales libres y la quelación de iones metálicos otorgan a estos biopolímeros sus actividades antioxidantes.

Según Sabaghi, Maghsoudlou y Habibi (2015) con un mayor grado de desacetilación de la quitina se presentan mejoras significativas en las actividades antioxidantes, incluida la eliminación de radicales libres y la quelación de iones metálicos (Kumar, Mukherjee, & Dutta, 2020).

b) Aplicaciones del quitosano en la agricultura.

El quitosano en la agricultura es empleado para estimular la germinación, modificar suelos, como agente fungicida y como elicitador de respuestas defensivas en plantas, entre otras. Este compuesto ha demostrado tener actividad antifúngica sobre diferentes patógenos, entre ellos se encuentra *Pyricularia oryzae*. Este hongo produce la enfermedad piriculariosis que es de gran importancia en el cultivo del arroz, la cual produce grandes daños y se encuentra ampliamente distribuida por todo el mundo. El quitosano y sus derivados han demostrado que actúan directamente sobre el hongo inhibiendo su crecimiento micelial y también estimulando los mecanismos de defensa en el cultivo del arroz y protegiendo a la planta del ataque del mismo patógeno (Rodríguez Pedroso, Bautista Baños, Ramírez Arrebato, Plascencia Jatomea, y Hernández Ferrer, 2021).

c) Aplicaciones del quitosano en la medicina.

Los biomateriales tienen aplicaciones en medicina, dentro de las que podemos mencionar la ingeniería de tejidos y la cicatrización de heridas, entre otros. Los nanocompuestos bio-basados y los nanocompuestos biodegradables se han convertido en un tema de interés en los últimos años y se han desarrollado varias matrices adecuadas de polímeros biológicos y biodegradables, y sus propiedades han sido mejoradas después de la incorporación de diferentes nanomateriales. Estos sistemas incluyen biopolímeros de recursos naturales, tales como polisacáridos y proteínas,

entre los que se destacan ácido poliláctico, polihidroxialcanoatos, fibroína, colágeno, quitosano o biopolímeros de fuentes petroquímicas como el PCL Poly(caprolactona) (Arias Andrade, Veloza, y Sepúlveda Arias , 2020).

Uno de los biomateriales ampliamente utilizado es el quitosano, este exhibe características excepcionales, tales como biocompatibilidad y biodegradabilidad, capacidad de esterilizarse por cualquier método, al igual que propiedades antibacterianas, antifúngicas, mucoadhesivas, analgésicas y hemostáticas. Se ha encontrado que el quitosano provee una buena adhesión a los tejidos epiteliales y mucosas. Además, está presente en varios sistemas destinados a la administración por vía mucosa de fármacos polares, péptidos, proteínas, vacunas y ADN. Este biopolímero tiene enormes posibilidades estructurales para la modificación química que generan nuevas propiedades importantes para aplicaciones biomédicas (Arias Andrade, Veloza, y Sepúlveda Arias , 2020).

Entre las aplicaciones biomédicas del quitosano se tiene la creación de andamios biodegradables, con estructura tridimensional porosa que son la base para la regeneración tisular, siendo componentes fundamentales para la ingeniería de tejidos; sobre ellos se realizan cultivos celulares para producir sustitutos biológicos que restauren o reparen daños en tejidos u órganos (Adragana, Jurczynszyn, Cid, y Comin, 2018).

d) Aplicaciones del quitosano en el tratamiento de aguas.

Se ha demostrado claramente que el biopolímero quitosano se puede utilizar como agente coagulante eficaz para compuestos orgánicos, como polímero quelante para unir metales pesados tóxicos, así como como medio de adsorción para colorantes y pequeñas concentraciones de fenoles y bifenilos policlorados (PCB) presentes en diversas aguas residuales industriales. En estas aplicaciones específicas, el quitosano parece más eficaz que otros polímeros como las resinas sintéticas, el carbón activado e incluso la propia quitina. Además, el grupo amino en el quitosano es un grupo funcional efectivo que puede alterarse químicamente para la producción de otros derivados quitinosos con características útiles específicas como

agentes absorbentes efectivos. Los quitosanos que exhiben diferentes características fisicoquímicas, es decir, peso molecular, cristalinidad, desacetilación, tamaño de partícula e hidrofilia (No & Meyers, 2000).

Su efectividad como coagulante se ha demostrado en una variedad de aguas residuales como las correspondientes a la producción petrolera, la industria de alimentos, efluentes avícolas y empresas lácteas (Rodríguez, Oñate, Gutiérrez, y Caldera, 2012). Además, Carrasquero Ferrer y otros (2019) han estudiado el quitosano como coagulante en el postratamiento de efluentes porcícolas provenientes de un reactor continuo secuencial. Encontrando diferencias significativas entre quitosano, sulfato de aluminio y la poliacrilamida en la reducción de nitrógeno total Kjeldahl (NTK), fósforo total (PT) y sólidos totales (ST); siendo el tratamiento con quitosano el coagulante con las mayores eficiencias de reducción.

2.3 Generalidades sobre el tratamiento de aguas residuales

En general, un agua residual, independientemente del tipo de actividad que la produzca, posee propiedades físicas y elementos constituyentes de tipo químico y biológico. Entre las propiedades físicas tenemos: color, olor, sólidos y temperatura (Metcalf & Eddy Inc., 1995).

Los constituyentes químicos pueden dividirse según su naturaleza química en: orgánicos e inorgánicos. Los constituyentes orgánicos por lo general se tratan de carbohidratos, grasas animales, aceites y grasa en general, pesticidas, fenoles, proteínas, contaminantes prioritarios, agentes tensioactivos, compuestos orgánicos volátiles, entre otros. Los constituyentes inorgánicos están relacionados con el pH, la alcalinidad y componentes como cloruros, metales pesados, nitrógeno, fósforo, azufre, y gases como el sulfuro de hidrógeno, metano y oxígeno, entre otros (Metcalf & Eddy Inc., 1995).

Los constituyentes biológicos están relacionados con ciertos animales, plantas, seres del reino protista como eubacterias y arqueobacterias, y finalmente patógenos como los virus (Metcalf & Eddy Inc., 1995).

Las propiedades físicas y constituyentes químicos y biológicos, dan lugar a una serie de contaminantes de interés general dentro del tratamiento de aguas residuales, lo cuales se resumen en lo siguiente (Metcalf & Eddy Inc., 1995):

- a) **Sólidos en suspensión.** Pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de lodo y de condiciones anaerobias (sepsis) cuando se vierte agua residual sin tratar a un cuerpo de agua.
- b) **Materia orgánica biodegradable.** Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas animales. La materia orgánica biodegradable se mide, en la mayoría de las ocasiones, en función de la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y de la DQO (demanda química de oxígeno). Si se descargan al entorno sin tratar su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.
- c) **Patógenos.** Pueden transmitirse enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual.
- d) **Nutrientes.** Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento de los seres vivos. Cuando se vierten al entorno acuático, estos nutrientes pueden favorecer el crecimiento de vida acuática no deseada (eutrofización), que afecta la biota acuática.
- e) **Contaminantes prioritarios.** Son compuestos orgánicos o inorgánicos determinados en base a su carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o toxicidad.
- f) **Materia orgánica refractaria.** Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son los agentes tensioactivos, los fenoles y los pesticidas agrícolas.

g) Metales pesados. Los metales pesados son frecuentemente añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual.

h) Sólidos inorgánicos disueltos. Son constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos los cuales aportan dureza al agua. Es posible que deban eliminarse si se va a reutilizar el agua residual.

En general, las aguas residuales presentan en mayoría componentes de tipo orgánico los cuales se resumen en los siguientes grupos: proteínas, carbohidratos y lípidos. Las proteínas se encuentran en proporciones que rondan de 40-60%; como característica distintiva, las proteínas contienen una elevada cantidad de nitrógeno, en torno al 16%. La urea y las proteínas son los principales responsables de la presencia de nitrógeno en las aguas residuales. La existencia de grandes cantidades de proteínas en un agua residual puede ser origen de olores fuertemente desagradables debido a los procesos de descomposición (Metcalf & Eddy Inc., 1995). La composición de los carbohidratos dentro del agua residual por lo general se encuentra entre un 25% a 50%, y dentro de estos se incluyen azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera. Los lípidos se encuentran en porcentajes cercanos 10%, estos se encuentran dentro de los componentes de mayor estabilidad, por lo que su degradación bacteriana no es tan efectiva, lo que requiere el uso de ácidos grasos minerales, o la acción de enzimas (lipasas) (Metcalf & Eddy Inc., 1995).

Además de los tres grandes grupos mencionados anteriormente, se tienen otros componentes de tipo orgánico, pero en menor proporción como, por ejemplo: la urea, agentes tensoactivos, compuesto orgánicos volátiles, y pesticidas y productos de uso agrícola (Metcalf & Eddy Inc., 1995). El contenido orgánico se estima en términos de la demanda química de oxígeno DQO, la demanda bioquímica de oxígeno DBO, y el carbono orgánico total COT.

Las aguas residuales pueden clasificarse de acuerdo a su origen, en ordinarias y especiales. Las ordinarias, son aquellas aguas generadas por las actividades domésticas de los seres humanos, estas a su vez se dividen en aguas

negras y aguas grises. Las especiales, son aquellas generadas por actividades agroindustriales, hospitalarias, industriales y en general aquellas que no son producidas por las actividades domésticas de los seres humanos. Un agua residual doméstica u ordinaria, por lo general posee los constituyentes mostrados en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5

Composiciones típicas del agua residual de origen doméstico para baja, media y alta concentración

Contaminante	Unidades	Baja	Media	Alta
a) Sólidos totales (ST)	mg/l	350	720	1200
i. Disueltos, totales	mg/l	250	500	850
• Fijos	mg/l	145	300	525
• Volátiles	mg/l	105	200	325
ii. Sólidos en suspensión (SS)	mg/l	100	220	350
• Fijos	mg/l	20	55	75
• Volátiles	mg/l	80	165	275
b) Sólidos sedimentables	mg/l	5	10	20
c) Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	110	220	400
d) Carbono orgánico total	mg/l	80	160	290
e) Demanda química de oxígeno	mg/l	250	500	1000
f) Nitrógeno	mg/l	20	40	85
i. Orgánico	mg/l	8	15	35
ii. Amoníaco libre	mg/l	12	25	50
iii. Nitritos	mg/l	0	0	0
iv. Nitratos	mg/l	0	0	0
g) Fósforo	mg/l	4	8	15
i. Orgánico	mg/l	1	3	5
ii. Inorgánico	mg/l	3	5	10
h) Cloruros	mg/l	30	50	100
i) Sulfato	mg/l	20	30	50
j) Alcalinidad	mg/l	50	100	200
k) Grasa	mg/l	50	100	150
l) Coliformes totales	n°/100 ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
m) Compuestos orgánicos volátiles	µg/l	<100	100-400	>400

Fuente: (Metcalf & Eddy Inc., 1995)

Por lo general, un sistema de tratamiento de aguas residuales completo obedece la secuencia mostrada en la Figura 2.17.

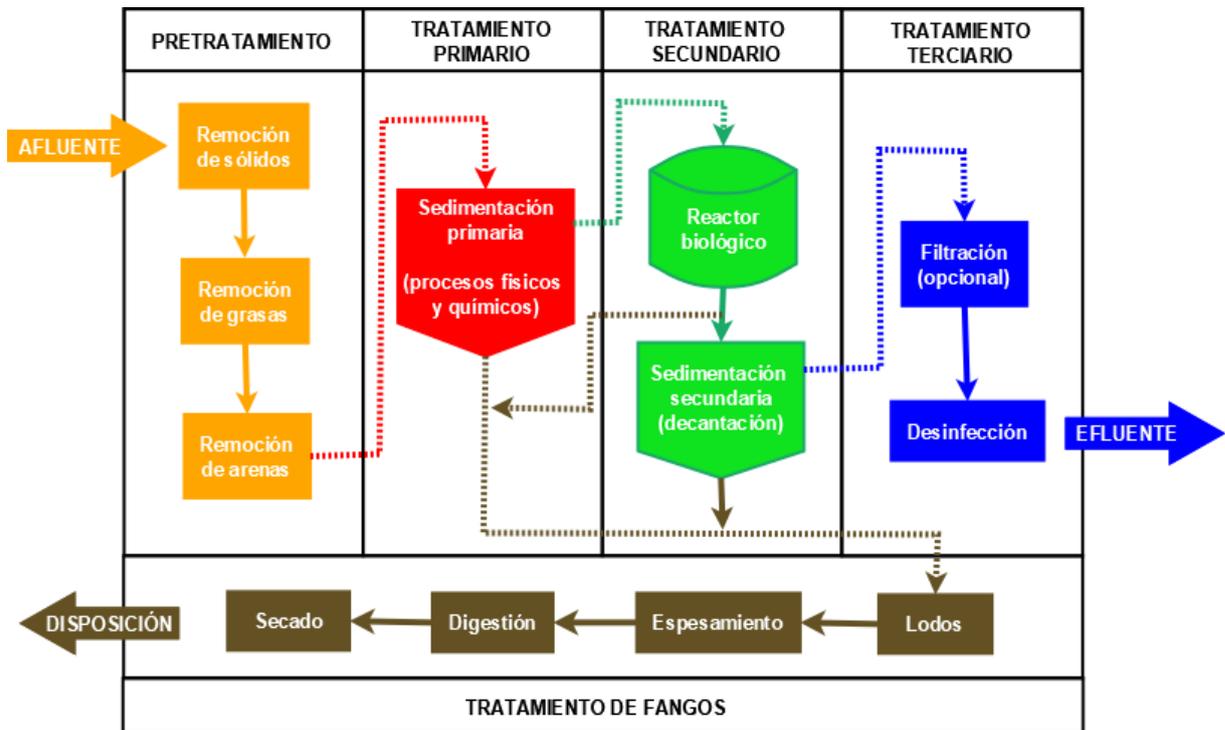


Figura 2.17 Configuración general de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

2.3.1 Propiedades físicas de las aguas residuales (Adaptado de Metcalf & Eddy Inc., 1995)

Existen algunos parámetros preliminares netamente físicos, que permiten caracterizar un agua residual de forma rápida. Dentro de estos parámetros, los más importantes son:

- a) **Sólidos totales.** Se definen como la materia que se obtiene como residuo luego de someter una muestra de agua a un proceso de evaporación entre 103°C y 105°C. Los sólidos totales engloban la materia en suspensión, la materia sedimentable, las partículas coloidales y la materia disuelta. En la Figura 2.18 se muestra el fraccionamiento de los sólidos totales, y los valores más típicos para las aguas residuales de tipo ordinario.

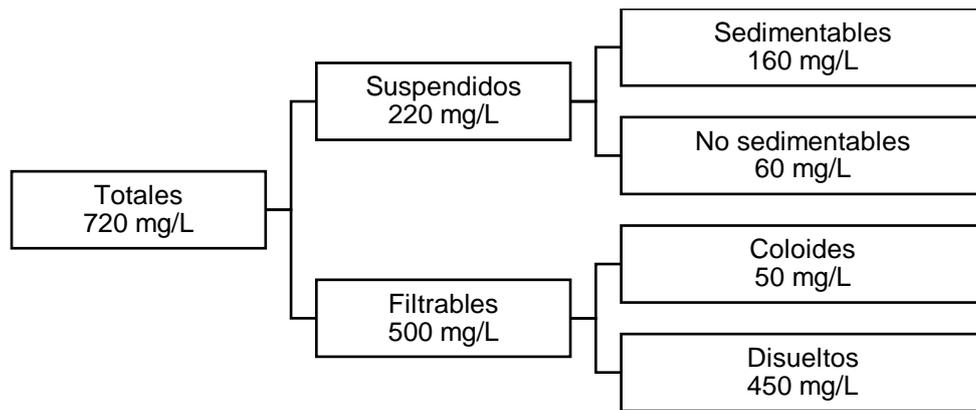


Figura 2.18 Fraccionamiento de los sólidos totales. Valores más típicos dentro del agua residual de tipo doméstico (Metcalf & Eddy Inc., 1995).

Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que se sedimentan en un recipiente cónico, como Imhoff como el mostrado en la Figura 2.19, por acción de la gravedad, en un período determinado de tiempo.

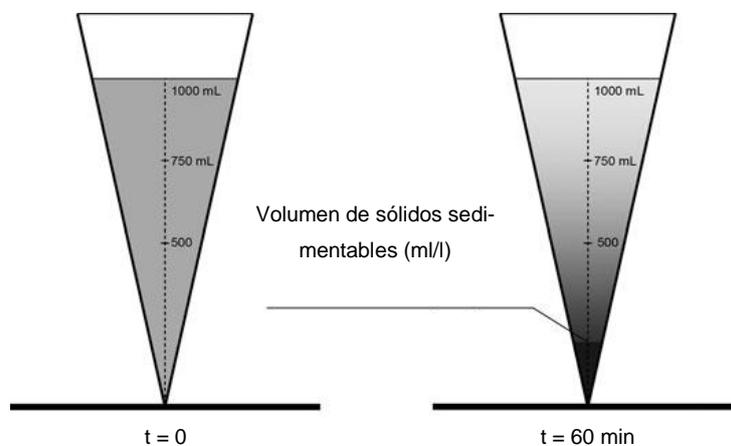


Figura 2.19 Cono Imhoff para determinación de sólidos sedimentables (De Feo, De Gisi, & Gala, 2012).

b) Olor. La influencia del olor en la vida humana, tiene más connotaciones psicológicas que físicas. Sin embargo, cuando son muy intensos y desagradables, pueden interferir en la calidad de vida.

Normalmente, los olores son debido a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. Por lo general, el mal olor producido por el agua residual, es generado por el sulfuro de hidrógeno que empieza a generarse cuando la condiciones comienzan

a volverse sépticas. Sin embargo, existen una serie de componentes químicos que están asociados a olores desagradables. En la Tabla 2.6 se muestran algunos de estos compuestos, comúnmente presentes en las aguas residuales.

Tabla 2.6
Compuesto olorosos asociados al agua residual

Compuesto	Formula	Calidad del olor
Aminas	$\text{CH}_3\text{NH}_2, (\text{CH}_3)_3\text{H}$	A pescado
Amoníaco	NH_3	Amoniacal
Diaminas	$\text{NH}_2(\text{CH}_2)_4\text{NH}_2, \text{NH}_2(\text{CH}_2)_5\text{NH}_2$	Carne descompuesta
Sulfuro de hidrógeno	H_2S	Huevos podridos
Mercaptanos (metilo y etilo)	$\text{CH}_3\text{SH}, \text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{SH}$	Coles descompuestas
Mercaptanos (Butilo y crotilo)	$(\text{CH}_3)_3\text{CSH}, \text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{SH}$	Mofeta
Sulfuros orgánicos	$(\text{CH}_3)_2\text{S}, (\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{S}$	Coles podridas
Eskatol	$\text{C}_9\text{H}_9\text{N}$	Materia fecal

Fuente: (Metcalf & Eddy Inc., 1995)

c) Temperatura. La temperatura del agua es uno de los parámetros más importantes dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como, sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles. Por otro lado, el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría. El aumento en las velocidades de las reacciones químicas que produce un aumento de la temperatura, combinado con la reducción del oxígeno presente en las aguas superficiales, es causa frecuente de agotamiento de las concentraciones de oxígeno disuelto durante los meses calurosos. Estos efectos se ven amplificados cuando se vierten cantidades considerables de agua caliente a las aguas naturales receptoras. Es preciso tener en cuenta que un cambio brusco de la temperatura puede conducir a un fuerte aumento de la vida acuática. Además, las temperaturas anormalmente elevadas pueden dar lugar a una indeseada proliferación de plantas acuáticas y hongos. Por lo

general, la temperatura es un parámetro que afecta mayormente a las etapas biológicas de tratamiento.

- d) Color.** El agua residual reciente ordinaria suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir un color negro. Llegado este punto, suele clasificarse el agua residual como séptica. Las aguas industriales pueden presentar diversos colores de acuerdo a la actividad que realizan. En la mayoría de los casos, el color gris, gris oscuro o negro del agua residual es debido a la formación de sulfuros metálicos por la reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual. En la Figura 2.20 se muestra como en ciertos puntos del río Acelhuate en San Salvador, el agua presenta coloración negra, indicio de que es completamente séptica. Adicional al color, también el olor desagradable se vuelve intenso. Por lo general, estas condiciones se presentan con mayor intensidad en época seca y calurosa.



Figura 2.20 Coloración presente en el río Acelhuate, en algún punto del AMSS. Imagen propiedad de: Mauricio Cáceres para El Diario de Hoy.

- e) Turbidez.** La turbidez puede entenderse como el grado de dispersión que presenta la luz en una muestra, debido a la presencia de sólidos

suspendidos y/o coloides. Esta se mide en grados NTU (Unidades de Turbidez Nefelométricas). Por lo general, el agua apta para consumo humano se encuentra en valores menores a los 10 NTU. En la Figura 2.21 puede observarse como la luz se dispersa de acuerdo al grado de turbidez: a mayor turbidez, menor dispersión de luz.

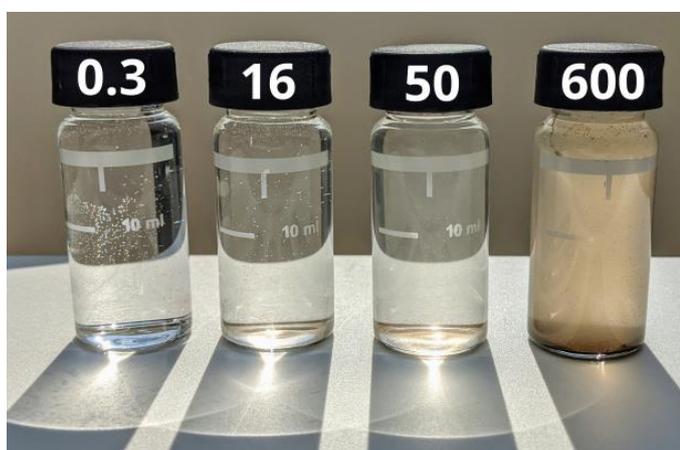


Figura 2.21 Muestras de agua con diferentes grados de turbidez. Obsérvese la dispersión de la luz en la sombra de cada una de las muestras. Tomado de: <https://freeup.world/turbidity/>.

2.3.2 Propiedades y características químicas de las aguas residuales (Adaptado de Metcalf & Eddy Inc., 1995)

Las aguas residuales pueden ser abordadas en cuanto a sus características químicas según: (1) la materia orgánica que contiene, (2) la medición del contenido orgánico presente, (3) la materia inorgánica y (4) los gases que se generan en las diversas reacciones químicas presentes en el agua residual.

En cuanto a la materia orgánica que el agua residual presenta, se tiene principalmente: proteínas, hidratos de carbono, grasas, agentes tensoactivos y compuestos orgánicos volátiles.

La medida del contenido orgánico se basa principalmente en tres parámetros fisicoquímicos de gran importancia: *Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)*, *demanda química de oxígeno (DQO)* y *carbono orgánico total (COT)*.

La materia inorgánica presente en el agua residual, por lo general abarca los siguientes componentes de estudio:

- a) **pH:** Un pH de 5 a 9 generalmente no causa ningún impacto significativo en la mayoría de las especies, sin embargo, la agresividad de las aguas ácidas es un factor importante ya que da lugar a solubilización de algunas sustancias por el ataque de los materiales.

- b) **Cloruros:** Se les ha considerado como indicador indirecto de contaminación fecal, ya que los cloruros se encuentran en las excretas del hombre, sin embargo, dadas las diferentes procedencias que presenta, actualmente, han perdido todo valor como dicho indicador. Los cloruros pueden proceder de diferentes fuentes como la infiltración de aguas marinas, en los acuíferos subterráneos próximos al mar, y también pueden aparecer debido al uso de sustancias ablandadoras, en los tratamientos del agua de abastecimiento, cuando la dureza de ésta es elevada.

- c) **Alcalinidad:** La alcalinidad del agua residual está determinada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, magnesio, sodio, potasio o amoníaco. De entre todos ellos, los más comunes son el bicarbonato de calcio y el bicarbonato de magnesio. La alcalinidad se determina por titulación con un ácido normalizado, expresándose los resultados en términos de carbonato de calcio, CaCO_3 .

Además, dentro de la caracterización del agua residual existen componentes químicos que se derivan del nitrógeno, fósforo y azufre.

Dentro de los procesos normales de descomposición de las fracciones contenidas dentro de las aguas residuales, hay generación y liberación de algunos gases. Además, el papel del oxígeno es de gran importancia para algunos procesos biológicos y de oxidación de la materia. Los gases que

por lo general intervienen son: (1) *Oxígeno disuelto*, (2) *Sulfuro de hidrógeno* y (3) *Metano*.

2.4 Procesos de clarificación

Las aguas residuales por lo general contienen elementos sedimentables o suspendidos, disueltos y coloides. Los elementos sedimentables se separan por mera acción mecánica (sedimentadores, desarenadores, desengrasado, entre otras), los elementos disueltos generalmente requieren de un tratamiento más complejo (tratamiento biológico, sistemas de filtración avanzados, entre otros). Las partículas coloidales se separan a través del tratamiento físico-químico.

Un sistema coloidal es aquel en el que existen dos fases compuestas por una fase fluida (líquido o gas) y una fase dispersa constituida por un conjunto de partículas coloidales de tamaño muy reducido que no se observan a simple vista, ni se separan dejando en reposo la solución.

Los procesos de coagulación/floculación están generalmente asociados a los procesos primarios de tratamiento de aguas, en los cuales intervienen principios físico-químicos cuyo objetivo principal es obtener una separación sólido-líquido. Las operaciones unitarias que intervienen en los procesos primarios consisten en desbaste, desarenado, desengrasado, flotación, y sedimentación. Los procesos unitarios que por lo general intervienen en los procesos primarios son la homogenización, la sedimentación, la flotación, la filtración y la coagulación/floculación.

Parte importante del tratamiento de aguas residuales es la remoción de buena proporción de los sólidos presentes, mencionados anteriormente. Esto puede lograrse a través de los procesos de *clarificación*, los cuales se centran en tres etapas importantes: *la coagulación*, *la floculación*, y *la sedimentación*. En la Figura 2.22 se resume como se segmenta el proceso de clarificación.

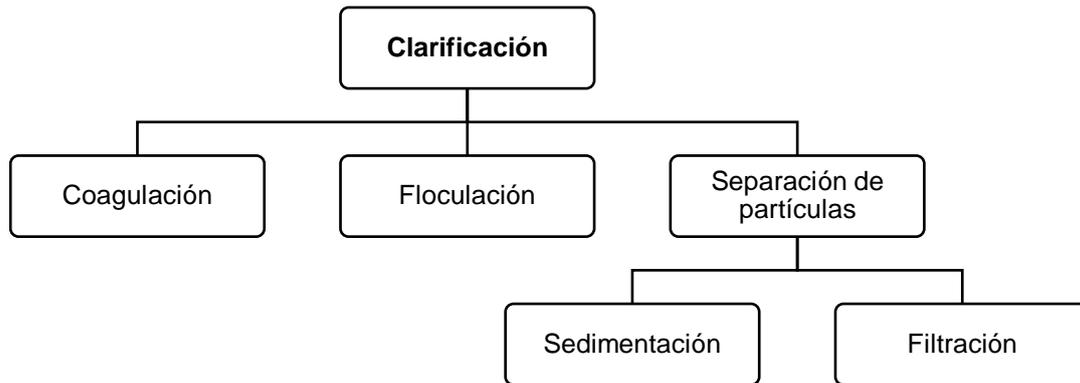


Figura 2.22 Esquematación de las etapas que comprenden el proceso de clarificación.

2.4.1 Coagulación

La coagulación consiste en la desestabilización de los componentes o partículas que forman parte de una suspensión coloidal o una solución estable, por la superación de las fuerzas que los mantienen unidos dichos componentes (partículas coloidales). Los tamaños de partícula que podemos encontrar son los siguientes (Weber Jr., 1979):

- a) Partículas que están en forma de suspensión de tamaño $> 10^{-7}$ m
- b) Partículas que forman soluciones coloidales, de tamaño entre 10^{-7} y 10^{-9} m
- c) Partículas que forman parte de la solución, de tamaño $< 10^{-9}$ m

Este proceso se centra en aquellas partículas cuyos tamaños oscilen entre 10^{-4} y 10^{-9} m (partículas en suspensión y soluciones coloidales), no separables por decantación (gravedad) o por filtración decantación (gravedad) o por filtración.

La estabilidad de los coloides se basa en la teoría de la doble capa eléctrica (double electrical layer), la cual modela el comportamiento entre la superficie de la partícula coloidal y el seno del líquido.

2.4.1.1 Estabilidad de los coloides

Los sistemas coloidales están conformados por (1) *una fase fluida (líquida)*, y (2) *una fase dispersa (sólida, y en menor proporción)*. La estabilidad de los coloides se resume en la *teoría de la doble capa eléctrica*, la cual básicamente explica la interacción entre la superficie de la partícula coloidal y el líquido que la contiene (Moreno Botella, 2021)

Las propiedades de los coloides están definidas principalmente por: la relación área/volumen y las fuerzas de interacción entre partículas.

Se pueden cambiar las características de una suspensión coloidal al comprender las interacciones entre las partículas coloidales que la conforman. En ciertos casos, se busca maximizar las fuerzas repulsivas entre estas partículas, para así formar soluciones estables. En otros casos, como es el tratamiento de agua, es necesario minimizar dichas fuerzas repulsivas, entre dichas partículas, las cuales ocasionan el grado de turbidez en el agua aumente; esto con el fin de formar aglomerados de partículas coloidales que posteriormente puedan separarse del medio acuoso, por acción mecánica (sedimentación, decantación o filtración) (Moreno Botella, 2021).

La estabilidad de los coloides se da en función de la resistencia a la formación de aglomerados o partículas sedimentables por acción gravitatoria. El primer caso se da en función de las fuerzas de interacción entre partículas, mientras que el segundo depende de las propiedades cinéticas de la dispersión y el campo gravitatorio (Moreno Botella, 2021).

2.4.1.2 La doble capa eléctrica

La carga eléctrica, la doble capa iónica que rodea las partículas coloidales, y el potencial Z, son los responsables de su estabilidad. Las partículas coloidales tienen carga eléctrica (por lo general carga negativa) y se encuentran rodeadas de iones provenientes del medio acuoso (generalmente positivos) con carga eléctrica contraria, llamados *contraiones*. La atracción del coloide negativo hace que los iones positivos del medio

(contraiones), formen una capa alrededor de él; esta capa se denomina *capa de Stern, capa compacta o capa rígida* (Moreno Botella, 2021).

A continuación, sucede otro fenómeno; la carga negativa del coloide, aún es capaz de atraer de partículas con carga positiva, sin embargo, la capa formada anteriormente (capa de Stern) con partículas positivas, las repele cada vez más, y a la vez, estas partículas que intentan aproximarse, se repelen entre ellas. Esto da a lugar lo que se conoce como *capa difusa* (Moreno Botella, 2021).

En la Figura 2.23 se puede observar una esquematización de cómo estas interacciones entre cargas forman lo que se conoce como *doble capa eléctrica*. Las cargas eléctricas establecen una repulsión entre las partículas que las hace estables.

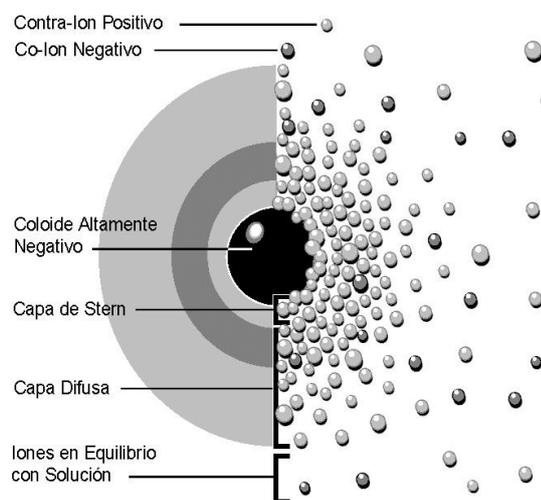


Figura 2.23 Esquema de las interacciones entre cargas que dan a lugar la doble capa eléctrica. Tomado de www.zeta-meter.com

El potencial ubicado donde colindan la capa rígida o de Stern, y la capa difusa, se conoce como *potencial Z*. Como puede apreciarse en la Figura 2.24, este potencial alcanza valores máximos a medida se acerca a la superficie del coloide, y tiende a cero fuera de la capa difusa.

El fenómeno de la floculación se produce cuando el potencial Z tiende a cero, dado que la capa con partículas positivas tiende a reducirse, lo que permite que los coloides presentes en la solución tiendan a acercarse.

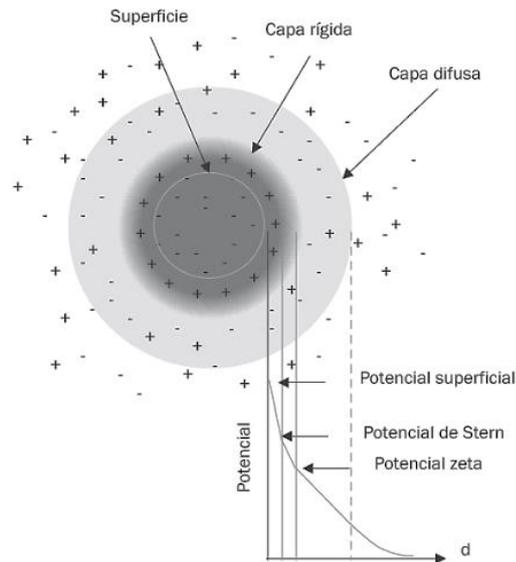


Figura 2.24 Representación de una partícula coloidal y su doble capa (Moreno Botella, 2021).

2.4.1.3 Desestabilización de coloides

El mecanismo de acción de la coagulación se basa en la *desestabilización de coloides*, y se logra gracias a los agentes químicos coagulantes, de los cuales se ampliará posteriormente. Estos mecanismos de desestabilización, se resumen en:

- a) **Compresión de la doble capa.** La mayoría de interacciones entre coagulantes y coloides son *electroestáticas*. Los iones de carga similar a la carga primaria del coloide (*co-ion*) son repelidos, y los contraiones (*Counter-ion*) atraídos, como se observa en la Figura 2.25. Los coagulantes que actúan en base a esto se denominan *electrolitos indiferentes*¹. Al aumentar la concentración del electrolito se incorporan iones de signo contrario en la capa difusa, comprimiéndola, disminuyendo las fuerzas repulsivas y con ellos el potencial zeta (Weber Jr., 1979).

¹ Electrolitos no electroactivos en el intervalo de potencial de un ensayo, y cuya fuerza iónica, y por lo tanto su contribución a la conductividad, es mucho mayor que la de la sustancia electroactiva a la que acompaña. Se añade a la disolución de sustancia electroactiva con el solo objeto de aumentar la conductividad. También se conoce como electrolito soporte, electrolito inerte o disolución de fondo.

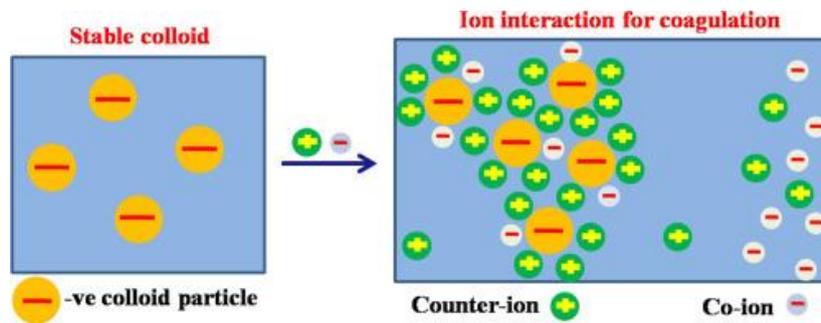


Figura 2.25 Representación de la actividad de los electrolitos en una dispersión coloidal. Tomado de Performance of modified Schulze-Hardy rule on the stability of nano, micro, and macro colloidal dispersions: A comprehensive account.

La coagulación se produce por compresión de la capa difusiva que rodea las partículas coloidales. Concentraciones elevadas de electrolito en la disolución dan elevadas concentraciones de contra iones en la capa difusiva. El volumen de la capa difusiva necesario para mantener la electroneutralidad baja y, tanto como el espesor de la capa difusiva se reduce el alcance de la interacción repulsiva entre partículas coloidales similares disminuye, y la energía de activación puede desaparecer. Este modelo de desestabilización tiene el inconveniente de que no tiene en cuenta fenómenos que ocurren en la mayoría de sistemas naturales, como por ejemplo los efectos de hidratación, que influyen en el proceso de coagulación. Por ello para comprender este proceso en la mayoría de sistemas naturales, necesario considerar otros modos de desestabilización (Weber Jr., 1979).

b) Captura en un precipitado de hidróxido metálico o captura por barrido. Cuando la dosis de un coagulante de sales metálicas en solución como el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y FeCl_3 excede el producto de solubilidad de sus hidróxidos metálicos como el $\text{Al}(\text{OH})_3$ y el $\text{Fe}(\text{OH})_3$, se produce una precipitación rápida de los hidróxidos gelatinosos que explica el fenómeno de remoción de turbiedad en la Figura 2.26. En este caso, las partículas coloidales son envueltas por los precipitados y, como este mecanismo no depende de la neutralización de la carga de los coloides, la condición óptima de la coagulación puede

no corresponder a aquella donde es mínimo el potencial zeta (Martel, 2004).

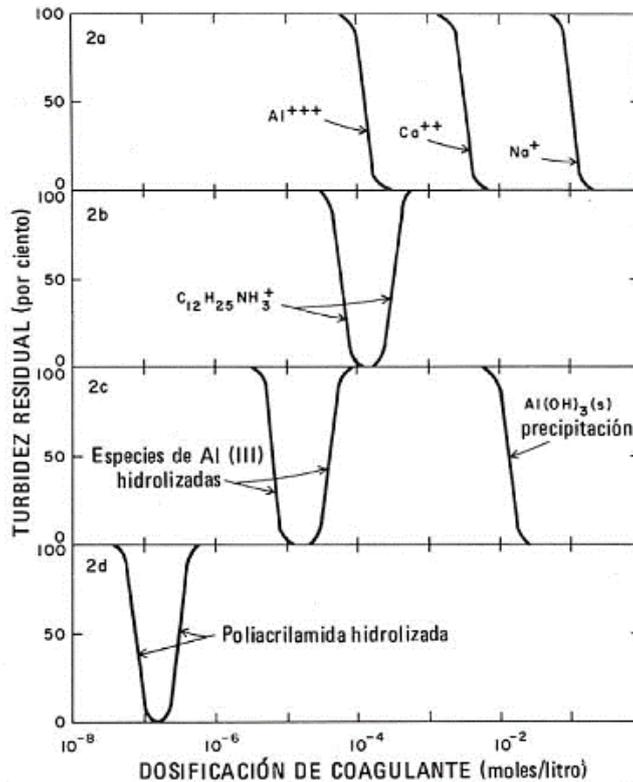


Figura 2.26 Curvas de coagulación de algunos coagulantes de uso común (Weber Jr., 1979).

c) Adsorción y puente interparticular. La coagulación puede realizarse también usando una variedad significativa de compuestos orgánicos sintéticos y naturales caracterizados por grandes cadenas moleculares, que gozan de la propiedad de presentar sitios ionizables a lo largo de la cadena y de actuar como coagulantes. Los polímeros pueden ser clasificados como (Martel, 2004):

i. Catiónicos: presentan sitios ionizables positivos. Ejemplo: poli-dialil-dimetil amonio [(CH₂ = CH – CH₂)₂ (CH₃)₂ N⁺]_n.

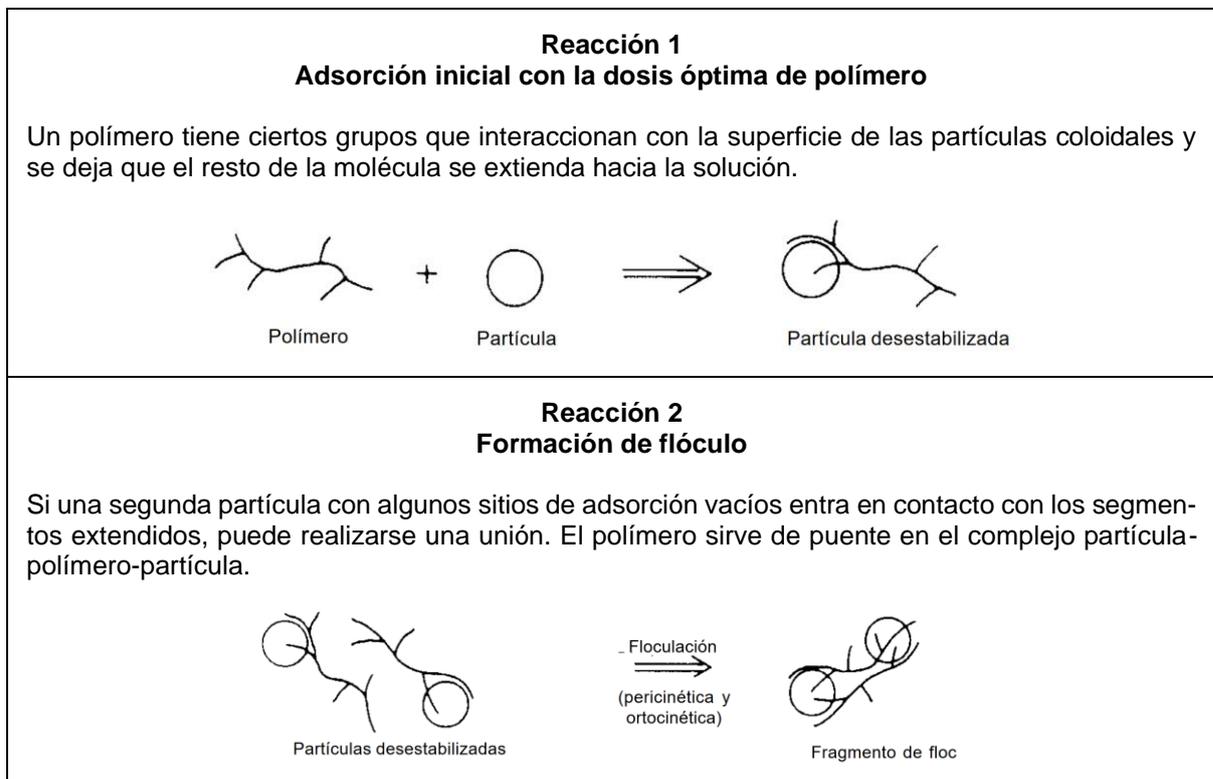
ii. Aniónicos: presentan sitios ionizables negativos. Ejemplo: ácido poliacrílico [CH₂ = CH – COO⁻]_n

iii. No iónicos: no presentan sitios ionizables. Ejemplo: poliacrilamida [– CH₂ – CH – CONH₂]_n

iv. Anfolíticos: presentan sitios ionizables positivos y negativos. Se ha observado que muchas veces los polímeros con carga negativa son efectivos para coagular coloides con carga negativa, fenómeno que no puede ser explicado de acuerdo con modelos basados en la neutralización de cargas.

Se ha observado que muchas veces los polímeros con carga negativa son efectivos para coagular coloides con carga negativa, fenómeno que no puede ser explicado de acuerdo con modelos basados en la neutralización de cargas. Se ha desarrollado la teoría del “puente” que, al menos, explica cualitativamente este fenómeno. En la Tabla 2.7, se explica con mayor detalle el mecanismo de acción de dicha teoría.

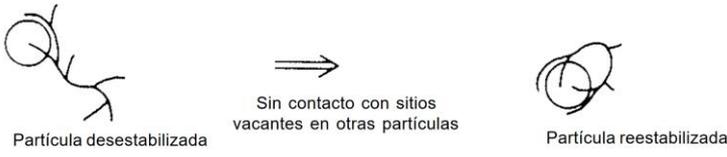
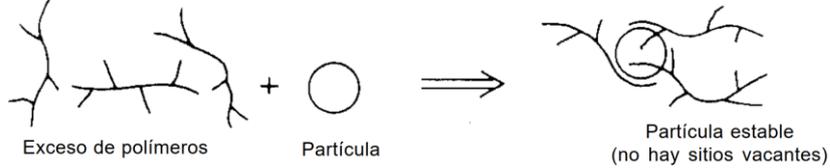
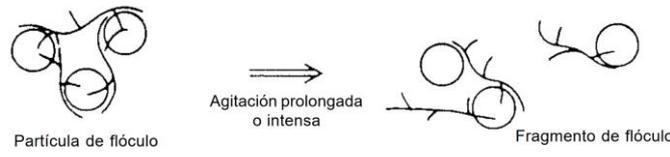
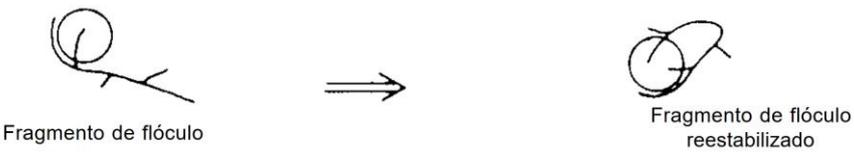
Tabla 2.7
Representación esquemática para el modelo de puentes



Continúa...

Tabla 2.7

Representación esquemática para el modelo de puentes (continuación).

<p>Reacción 3 Adsorción secundaria de polímero</p> <p>Si no se dispone de una segunda partícula, los segmentos dispersos del polímero pueden eventualmente adsorberse en otros lados de la partícula original, lo que hace imposible que el polímero sirva de puente y se produce la reestabilización de las partículas.</p>  <p>Partícula desestabilizada Sin contacto con sitios vacantes en otras partículas Partícula reestabilizada</p>
<p>Reacción 4. Absorción inicial. Exceso de dosis de polímero.</p> <p>El modelo de puente puede explicar cualitativamente la reestabilización como resultado de la saturación de las superficies coloidales por el polímero, sin dejar lugar para la formación de puentes interparticulares.</p>  <p>Exceso de polímeros Partícula Partícula estable (no hay sitios vacantes)</p>
<p>Reacción 5 Ruptura del flóculo</p> <p>En algunos casos, los sistemas coloidales desestabilizados pueden ser reestabilizados por medio de agitación intensa, debido a que se rompen las uniones polímero-superficie, y ocurre una adsorción secundaria de los fragmentos de los flóculos.</p>  <p>Partícula de flóculo Agitación prolongada o intensa Fragmento de flóculo</p>
<p>Reacción 6 Adsorción secundaria de polímeros</p>  <p>Fragmento de flóculo Fragmento de flóculo reestabilizado</p>

Fuente: (Weber Jr., 1979)

2.4.2 Floculación

Una vez establecidos los agentes coagulantes, es importante identificar que existen coagulantes primarios y secundarios. Los coagulantes secundarios, coadyuvantes, ayudantes de coagulación o floculantes, y por lo general se tratan de polímeros, sobre todo sintéticos. Estos son un medio para ajustar las características de sedimentación, y de resistencia de las partículas coaguladas, a formar sólidos.

El proceso de floculación se basa en la aglomeración o unión de los componentes o partículas desestabilizadas, en partículas más grandes y estables. En la Figura 2.27, se muestra como es el mecanismo de acción de las largas cadenas que forman los polímeros que permiten flocular las partículas desestabilizadas.

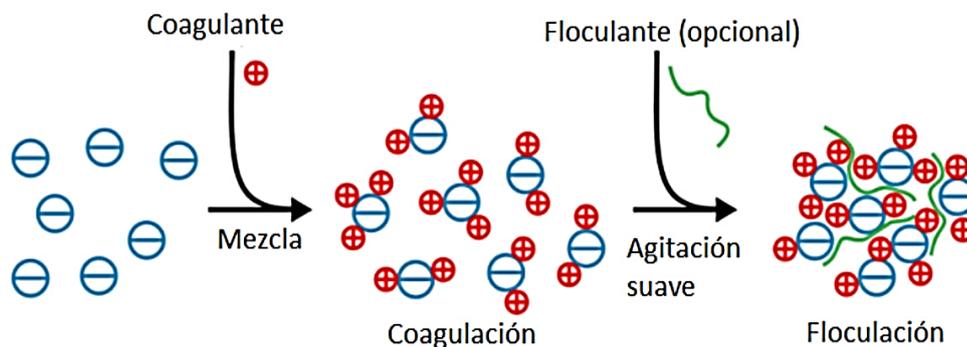


Figura 2.27 Proceso de coagulación y floculación. Tomado de: <https://www.matelco.es/wp-content/uploads/2021/03/coagulacion-floculacion-sedimentacion.jpg>

Finalmente, surge la sedimentación, la cual se trata de una operación unitaria en la que las partículas desestabilizadas y aglomeradas anteriormente, gracias a los procesos de coagulación/floculación, o a la acción bacteriana de algunos procesos biológicos; por acción de la gravedad, se asientan en el fondo del recipiente que las contiene.

2.4.3 Sustancias coagulantes más comunes

Dentro de los agentes coagulantes podemos clasificar en convencionales y alternativos (Flórez, 2011).

a) Coagulantes convencionales.

Los coagulantes más comunes que se usan en el tratamiento de aguas son compuestos inorgánicos de aluminio o hierro como el sulfato de aluminio, aluminato de sodio, sulfato ferroso, sulfato férrico y cloruro férrico.

b) Coagulantes alternativos.

Coagulantes inorgánicos prepolimerizados tales como PAC's, los cuales se comportan diferentes a los coagulantes convencionales en el proceso de clarificación debido a sus características de especiación química.

También otra clasificación puede darse en términos de coagulantes *orgánicos e inorgánicos* (Aguilar, Sáez, Lloréns, Soler, y Ortuño, 2002). Los *coagulantes inorgánicos* más comúnmente empleados son por lo general, los siguientes: sales de aluminio, sales de hierro y cal.

Los *coagulantes orgánicos* por lo general están relacionados con los polímeros. Si una unidad monomérica de un polímero contiene grupos ionizables (ej, carboxilo, amino, grupos sulfónicos), el polímero se llama polielectrólito. Según el tipo de grupos ionizables de la unidad monomérica, un polielectrólito puede ser catiónico, aniónico o anfótero (contiene ambos grupos positivo y negativo, por ejemplo, proteínas). Los polímeros que no contienen grupos ionizables se llaman no iónicos. A continuación, se presenta la respectiva clasificación y algunos ejemplos (Weber Jr., 1979):

a) Polímeros no iónicos: Óxido de polietileno, Poliacrilamida.

b) Polielectrolitos aniónicos: Ácido poliacrílico, Poliacrilamida hidrolizada, Poliestireno sulfonado PSS.

c) Polielectrolitos catiónicos: Polidialildimetilamonio (PDADMA Cat-Floc).

Las aguas residuales son tan diversas, como diversas son las actividades que las producen, por lo que difícilmente se encontrarán aguas residuales

con características muy similares. Por esta razón, no se encuentra definida la dosificación, ni el tipo de coagulante o floculante a emplear. Sin embargo, es posible determinar esto, estudiando las propiedades de cada uno de los agentes coagulantes más comunes, y las propiedades del agua residual a tratar. La dosificación adecuada, así como el tipo de agente coagulante, puede determinarse experimentalmente a través de las *pruebas de jarras*.

En resumen, para poder determinar un agente coagulante/floculante, y su respectiva dosificación, es importante tomar en cuenta: (1) *Calidad del agua cruda*, (2) *Proceso y equipo*, y (3) *Objetivo de tratamiento*.

Para establecer la calidad del agua cruda, es necesario tomar en cuenta los siguientes parámetros fisicoquímicos: *Alcalinidad*, *pH*, *Turbidez*, *Color*, *Temperatura* y *Dureza*. El objetivo de tratamiento, está definido según la legislación a cumplir.

2.4.4 Selección de coagulantes

El sulfato férrico reacciona de forma similar. La selección del reactivo más conveniente dependerá de los resultados de los ensayos de coagulantes que previamente se realicen (véase en Tabla 2.8). El pH es un factor crítico en el proceso (Lapeña, 1990).

Tabla 2.8
Coagulantes y floculantes más comunes.

Coagulante	Fórmula	Tipo de agua	Dosis ppm
Sulfato de aluminio	$(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$	potable residual	30 - 150 100 - 300
Sulfato férrico	$(\text{SO}_4)_3\text{Fe}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	potable	20 - 60
Sulfato ferroso	$\text{SO}_4\text{Fe} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	potable residual	20 - 60 200 - 400
Cloruro férrico 40%	$\text{Cl}_3\text{Fe} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	potable residual	5 - 150 100 - 500
Cal	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	residual	100 - 800
Policloruro aluminio	$\text{Cl}_{3n-m}(\text{OH})_m\text{Al}_n$	potable	15 - 100
Poliaminas sol 1%	Peso mol < 100000		

Continúa...

Tabla 2.8
Coagulantes y floculantes más comunes (continuación).

Floculante
Poliectrolitos catiónicos. Copolímeros a base de acrilamida con peso mol > 100000. Solución del 0.1 a 1%
Id. no iónicos. Poliacrilamidas
Id. aniónicos. Poliacrilatos
Sílice activa diluida al 0.5 – 1 % Como SiO ₂
Poliectrolitos naturales: almidones, taninos, alginatos, etc.

Fuente: (Lapeña, 1990)

2.5 Marco regulatorio salvadoreño sobre a aguas residuales.

El marco regulatorio salvadoreño de aguas residuales comprende de la siguiente legislación, reglamentos y una norma especializada para la descarga de aguas a cuerpo receptores y al alcantarillado sanitario.

La Constitución de la República de El Salvador establece en el Artículo 117 que “Es deber del Estado proteger los recursos naturales, así como la diversidad e integridad del medio ambiente, para garantizar el desarrollo sostenible.”

Se declara de interés social la protección, conservación, aprovechamiento racional, restauración o sustitución de los recursos naturales, en los términos que establezca la Ley (Asamblea Legislativa 1983).

2.5.1 Ley de Medio Ambiente

La Asamblea de Legislativa de la Republica de El Salvador considerando que, de conformidad con la Constitución de la República, la protección, conservación y mejoramiento de los recursos naturales y el medio deben ser objeto de legislación especial, establece en su Decreto No. 233 la Ley del Medio Ambiente.

La Ley del Medio Ambiente en el artículo 49, establece que los criterios de supervisión para la disponibilidad y calidad del agua estarán contenidos en

un reglamento especial, donde se establecerán las normas técnicas para tal efecto.

2.5.2 Reglamento Especial de Aguas Residuales y Manejo de Lodos Residuales

El Reglamento Especial de Aguas Residuales y Manejo de Lodos Residuales (Decreto No. 29), tiene por objeto “desarrollar las disposiciones de la Ley del Medio Ambiente, vinculadas a la gestión de las aguas residuales y lodos, y establecer los criterios técnicos y requisitos que deben cumplirse para su manejo, tratamiento, uso, reúso y disposición final”. La creación de este Reglamento surge por derogatoria del Decreto Ejecutivo No. 39. Reglamento Especial de Aguas Residuales, de fecha treinta y uno de mayo del año dos mil, publicado en el Diario Oficial número 101, Tomo número 347, de fecha 1 de junio del dos mil.

Todos los límites permisibles de los parámetros que se indican en el Reglamento están establecidos en el Reglamento Técnico Salvadoreño. Parámetros de Calidad de Aguas Residuales para Descarga y Manejo de Lodos Residuales (RTS 13.05.01:2018).

En los artículos 9 y 10 del Reglamento se definen los parámetros físico-químicos y microbiológicos que se deben realizar en función del origen del agua residual (véase Tabla 2.9): *aguas de tipo ordinario, o de tipo especial.*

Las aguas de tipo ordinario son las generadas por las actividades domésticas de los seres humanos, tales como uso de servicios sanitarios, lavatorios, fregaderos, lavado de ropa y otras similares.

Las de tipo especial, son aquellas generadas por las actividades agroindustriales, industriales, hospitalarias y todas aquellas que no se consideran de tipo ordinario.

Tabla 2.9
Análisis de aguas residuales según su clasificación por origen.

Análisis de aguas residuales de tipo ordinario	Análisis de aguas residuales de tipo especiales
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Demanda Bioquímica de Oxígeno
Potencial de hidrógeno	Demanda Química de Oxígeno
Grasas y aceites	Potencial de hidrógeno
Sólidos sedimentables	Grasas y aceites
Sólidos suspendidos totales	Sólidos sedimentables
Coliformes totales	Sólidos suspendidos totales
Cloruros	Temperatura
Caudal	Caudal

Tomado de Reglamento Especial de Aguas Residuales y Manejo de Lodos Residuales RTS 13.05.01:2018

Sin embargo, para las aguas de tipo especial, es necesario caracterizar, además, ciertos parámetros especiales, que dependen del tipo de actividad que las generan. Dentro de estos parámetros, existe uno que se solicita para cualquier tipo de agua especial: La turbidez. Este parámetro no está regido bajo ningún límite permisible, solo es necesario reportarlo. En la legislación actual, se deroga parcialmente el artículo 19 del Reglamento Especial de Normas Técnicas de calidad, emitido por Decreto Ejecutivo número 40, de fecha treinta y uno de mayo del año dos mil, publicado en el Diario Oficial número 101, Tomo número 347, de fecha 1 de junio del año dos mil, referente al límite del parámetro de Turbiedad. En este artículo se establece que: “la calidad del agua como medio receptor se fundamentará en los parámetros de calidad para cuerpos de agua superficiales, según los límites siguientes: No deberá incrementarse más de 5 unidades de turbiedad sobre los límites ambientales del cuerpo receptor”.

2.5.3 Reglamento Técnico Salvadoreño de Agua. Agua Residuales. Parámetros de Calidad de Aguas Residuales para Descarga y Manejo de Lodos Residuales (RTS 13.05.01:2018).

Este reglamento técnico salvadoreño tiene como objeto establecer los límites permisibles para los parámetros de calidad de las aguas residuales y sus lodos, previo a su disposición final, así como los mecanismos y

procedimientos técnicos para la gestión de los mismos; y contribuir a la recuperación, protección y aprovechamiento sostenible del recurso hídrico. Es aplicable a toda actividad, obra o proyecto que realice gestión de aguas residuales previo a la descarga a un medio receptor, independientemente de la procedencia y destino, ubicados en el territorio nacional.

Los límites permisibles de parámetros de aguas residuales de tipo ordinario para vertido a medio receptor descritos en dicho reglamento se muestran en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10

Límites permisibles de parámetros de aguas residuales de tipo ordinario para vertido a medio receptor.

Parámetro	Límite permisible	Unidad
Demanda Química de Oxígeno	150	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno	60	mg/L
Sólidos suspendidos totales	60	mg/L
Sólidos sedimentables	1	mg/L
Aceites y Grasas	20	mg/L
Potencial de hidrógeno	6.0 - 9.0	Unidades de pH
Coliformes fecales	Reportar	NMP/100 mL
Caudal	Reportar	m ³ /día
Sustancias Activas al Azul de Metileno	Reportar	mg/L

Tomado de Reglamento Técnico Salvadoreño de Agua. Aguas Residuales. Parámetros de Calidad de Aguas Residuales para Descarga y Manejo de Lodos Residuales (RTS 13.05.01:2018).

Los límites permisibles de parámetros básicos de calidad de aguas residuales de tipo especial vertidas a medio receptor se muestran en el Anexo A función de la actividad de su efluente.

2.5.4 Norma para Regular Calidad de Aguas Residuales de Tipo Especial Descargadas al Alcantarillado Sanitario.

Esta norma tiene como objeto regular las descargas de aguas residuales para proteger los sistemas de alcantarillado sanitario y evitar las interferencias con los tratamientos biológicos. El ámbito de aplicación de esta norma es para todas las descargas de efluentes líquidos de actividades

comerciales, industriales, agroindustriales, hospitalarias o de cualquier otro tipo que afecten o pudiesen afectar directamente los sistemas de alcantarillado sanitario. En la Tabla 2.11 se muestran algunos de los límites máximos permisibles para descarga de aguas residuales especiales contenidos en esta norma.

Tabla 2.11

Parámetros máximos permisibles para descarga de aguas residuales especiales a alcantarillado.

Parámetros	Valor máximo	Unidades
Aceites y grasas	150	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno	400	mg/L
Demanda Química de Oxígeno	1000	mg/L
Potencial de hidrógeno	5.5 – 9.0	Unidades de pH
Sólidos sedimentables	20	mg/L
Sólidos suspendidos totales	450	mg/L

Tomado de Norma para Regular Calidad de Aguas Residuales de Tipo Especial Descargadas al Alcantarillado Sanitario.

Capítulo 3

Capítulo 3 Metodología de la investigación

3.1 Tipo de investigación

La investigación a desarrollar es de tipo *aplicada* con enfoque *cuantitativo*, dado que busca encontrar una solución determinada a una problemática que generalmente es de tipo social. Esta investigación se considera como el primer acercamiento científico a un determinado problema que aún no ha sido abordado o lo suficientemente estudiado. Los resultados obtenidos, permiten habilitar el paso a investigaciones posteriores. El problema planteado está relacionado con la valorización de los desechos provenientes de los negocios de venta camarón del Malecón del Puerto de La Libertad. Para valorizar estos residuos y solventar dicha problemática, se busca extraer quitosano a partir de los exoesqueletos de camarón y formular un coagulante para el tratamiento de aguas residuales, evaluar su rendimiento en función de los exoesqueletos de camarón utilizados como materia prima, al igual que, su efectividad en términos de porcentaje de remoción de turbidez comparado con un coagulante de uso común.

El alcance de la investigación es de tipo *exploratorio* ya que no existen datos sobre la cantidad de desechos provenientes de la comercialización de camarón en el Malecón, ni datos sobre la efectividad de un coagulante a base de quitosano, proveniente de los desechos (exoesqueletos) del camarón en el tratamiento de aguas residuales. En esta investigación no se plantea un diseño experimental en la que involucren repeticiones durante las fases de experimentación, dado que se presentan limitaciones en el acceso a equipo de laboratorio, sin embargo, se puede desarrollar una marcha experimental preliminar.

Sin embargo, es complicado realizar una investigación sin mezclar tipos de estas, por lo tanto, en función de los objetivos planteados se requiere aplicar más de un tipo de investigación, en la Tabla 3.1 se muestra los tipos de investigación aplicados en la problemática planteada.

Tabla 3.1

Abordaje de los diferentes tipos de investigación para todo el alcance de esta investigación

Aplicada	Cuantitativa	Exploratoria
Busca resolver el problema sobre la generación de desechos de camarón. Se definen aplicaciones de estos desperdicios según investigaciones previas (extracción de quitosano), y según datos obtenidos a nivel de campo.	Recolección de datos para análisis estadísticos que permitan saber cuántos desperdicios de camarón hay en la zona. Obtención de datos a partir de la formulación y prueba de un coagulante a base de quitosano para determinar eficiencia.	No existen datos sobre cuanto desperdicio genera el camarón en la zona. Se investigan aplicaciones del desperdicio de camarón, entre las cuales destaca la extracción de un polímero (quitosano), que puede funcionar como un coagulante.

Los datos para determinar el volumen de desechos de camarón generados por la comercialización en el Malecón se obtienen mediante la investigación *cuantitativa*. Toda esta información recopilada a través de métodos de muestreo y análisis estadístico, para determinar un valor promedio de desechos de camarón generados en el Malecón.

Para la determinación de eficiencia del coagulante a base de quitosano proveniente de los desechos del Malecón es necesario: estimar los de desechos generados, formular el coagulante y evaluar el rendimiento del mismo, como se muestra en la Figura 3.1.

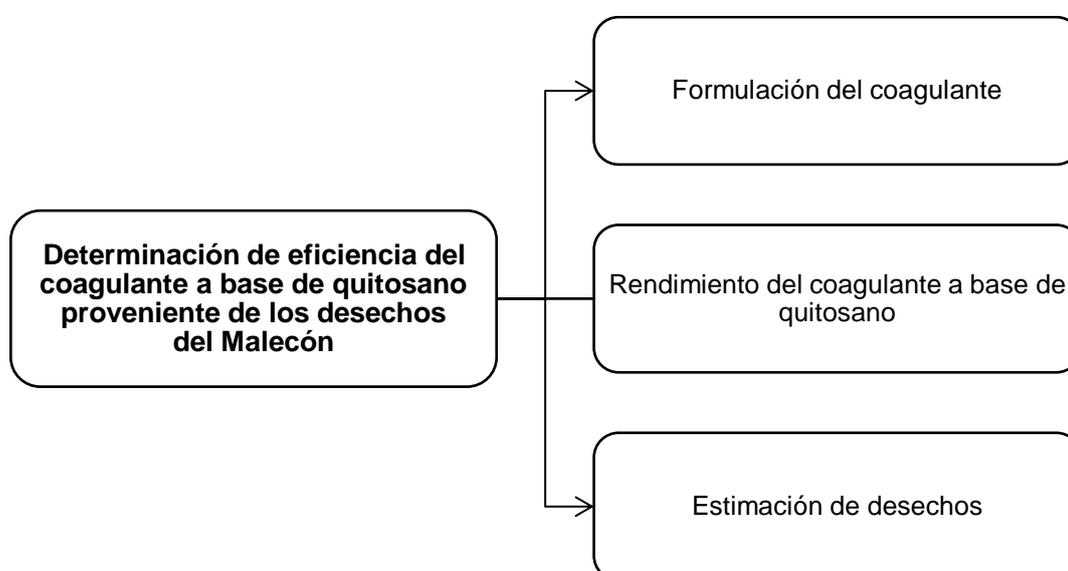


Figura 3.1 Resumen para la determinación de eficiencia del coagulante a base de quitosano

3.2 Área de estudio, universo y muestra

3.2.1 Estimación de desechos de camarón provenientes de la zona del Malecón del Puerto de La Libertad.

La ubicación del área de estudio es el Mercado del Mar ubicado en El Malecón, del Puerto de La Libertad, departamento de La Libertad. En la Figura 3.2 se encuentra delimitada la zona de estudio.



Figura 3.2 Vista aérea del Malecón del Puerto de La Libertad. Encerrado a la derecha, el Mercado del Mar (Google Earth, 2022).

El Complejo Turístico del Puerto de la Libertad, está comprendido por el Malecón, el mercado del mar y el área de restaurantes. En el Malecón se dan únicamente las actividades de pesca y cabe aclarar que las ventas de mariscos están prohibidas en esta área. El área del mercado del mar, concentra toda la venta de mariscos del Complejo Turístico en 90 cubículos de venta, de los cuales 75 se encuentran activos; parte de los productos que comercializan en ellos tienen como destino los 12 restaurantes que conforman la plaza gastronómica. (Calderón, 2022). En la Figura 3.3, se muestra la cadena productiva de los mariscos comercializados en el área.

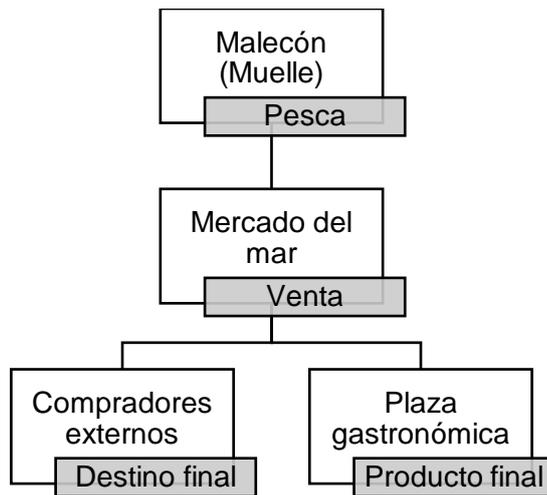


Figura 3.3 Esquema de la cadena productiva y de distribución de los mariscos en el Complejo Turístico del Puerto de La Libertad

La población de estudio es de 75 cubículos de venta, como se aprecia en la Figura 3.4, que se encuentran activos en la zona del Mercado del Mar, y que concentran la venta de la actividad pesquera de camarones del Malecón del Puerto de La Libertad. Dado el tamaño finito de la población no es necesario establecer un tamaño de muestra para la recolección de datos.



Figura 3.4 Vista del interior del Mercado del Mar, Puerto de la Libertad.

La recolección de datos se hace bajo la modalidad de entrevistas anónimas, con el aval de las autoridades del Complejo Turístico del Puerto de La Libertad. Mediante dos visitas de campo a la zona del mercado del mar, la cual es la que concentra el comercio de mariscos del malecón, se determinó la distribución de los locales, el cual se contempla en la Figura 3.5.

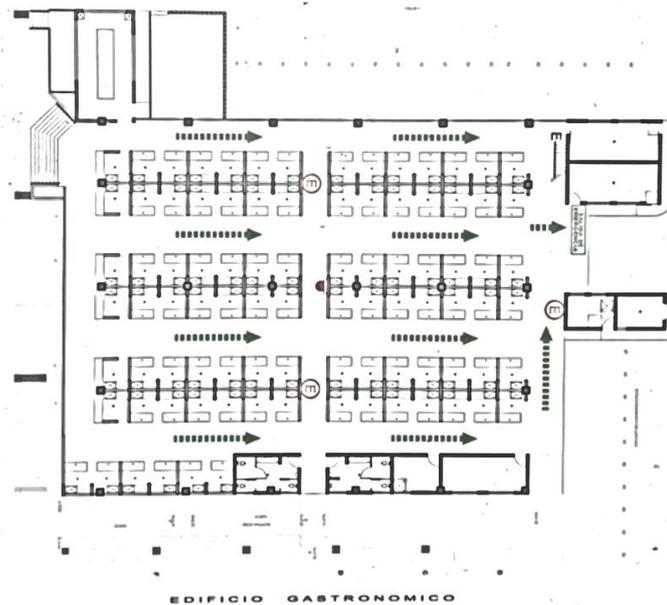


Figura 3.5 Plano de distribución de locales en Mercado del Mariscos (CORSATUR, 2022)

Debido a que muchos de los vendedores, presentan dificultad en reconocer el correlativo de sus negocios, se decidió numerarlos según lo contemplado en la Figura 3.6, con el fin de organizar los datos cuantitativos. Además, se sondeó cuales negocios venden camarón.

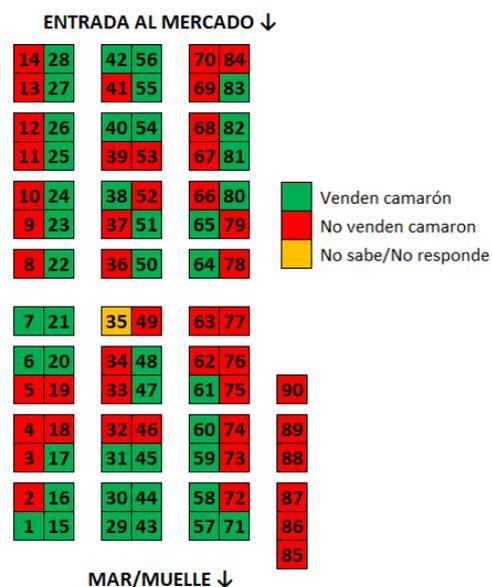


Figura 3.6 Distribución de negocios que comercializan camarón en el Mercado del Mar, Puerto de La Libertad.

La encuesta se utiliza para recopilar datos cuantitativos como cualitativos. La entrevista cuantitativa permite recopilar datos a través de preguntas objetivas, las cuales deberán ser estandarizadas, con el fin de que cada individuo sea interrogado de forma igual, para tener datos certeros. Sustancialmente, la entrevista contempla las siguientes preguntas:

- a) ¿Qué tipos de camarón comercializa?
- b) ¿Cuánta cantidad comercializa de cada uno en un tiempo definido (días o semanas)?
- c) ¿Qué procesamiento le brinda al camarón? ¿Pelado, descabezado o entero?
- d) ¿Cómo lo comercializa? ¿Crudo o cocido?
- e) ¿Cuál es el origen de su camarón? ¿Marino o de granja?

La entrevista, además de permitir la recolección de datos cuantitativos, puede ser una herramienta útil para la recopilación de información adicional valiosa, debido a ser una técnica que permite la interacción con la población de estudio.

3.3 Técnicas e instrumentos de investigación

La primera etapa de la investigación comprende la determinación de la cantidad de desechos se genera por comercialización del camarón en el Malecón del Puerto de La Libertad. Se recolectan datos in situ, sobre la actividad comercial del camarón, esto a través de una encuesta, véase el Anexo C.1. Formulario de encuestas para negocios de venta de camarón. El objetivo de la encuesta, es determinar el volumen diario de comercialización de camarón para cada uno de los negocios de la zona, con el fin de estimar la cantidad promedio de desechos que se generan en un determinado período de tiempo.

A través de las pruebas de jarras se obtienen datos de carácter cualitativo descriptivo y cuantitativo. Cualitativamente se puede determinar el grado de remoción de turbidez por inspección visual. Mientras que, de manera cuantitativa, estas pruebas pueden apoyarse con la evaluación de parámetros

fisicoquímicos referentes a la remoción de contaminantes. Para el caso, el parámetro de interés, es la turbidez.

3.4 Procedimiento experimental

3.4.1 Caracterización y pesada de las muestras de camarón

A continuación, se lista el procedimiento para la pesada de las muestras de camarón:

1. Obtención de muestras de camarón.

Esta etapa consiste en la obtención de muestras comerciales frescas de camarón, que conserven su exoesqueleto (cascarilla) y de preferencia la cabeza. Las muestras comerciales de camarón se obtendrán de cualquier establecimiento de venta de mariscos en el área de estudio. Inmediatamente, deberán ser puestas en refrigeración.

2. Pesada directa de las muestras de camarón.

Con ayuda de una balanza se tomarán algunas muestras de camarón, y se pesarán por duplicado.

3. Pelado y descabezado.

A continuación, se deberá retirar el exoesqueleto de camarón al igual que la cabeza, con cuidado de no remover los tejidos blandos del camarón. El exoesqueleto y cabezas removidas deberán ser inmediatamente pesadas, para su posterior almacenaje en completa refrigeración, para su posterior uso en la etapa de síntesis de quitina y quitosano.

4. Pesada directa del exoesqueleto y cabeza.

Se deberán pesar los exoesqueletos y cabezas de las muestras de camarón.

5. Cálculos.

Con el peso promedio total de una muestra individual de camarón, y el peso de los desechos (exoesqueletos y cabeza) provenientes del mismo, se

puede determinar el porcentaje de materia que se desecha por camarón, esto se resume en la Ecuación 3.1.

$$\% \text{ de desecho} = \frac{m_{\text{exoesqueleto}}}{m_{\text{camarón}}} \times 100\%$$

Ecuación 3.1 Determinación de porcentaje % de desecho por muestra de camarón.

Donde:

$m_{\text{exoesqueleto}}$: Masa de desecho (exoesqueletos) de una muestra de camarón.

$m_{\text{camarón}}$: Masa de una muestra de camarón.

En la Figura 3.7 se resume el proceso a seguir en esta etapa, para determinar la masa y caracterizar las muestras de camarón.

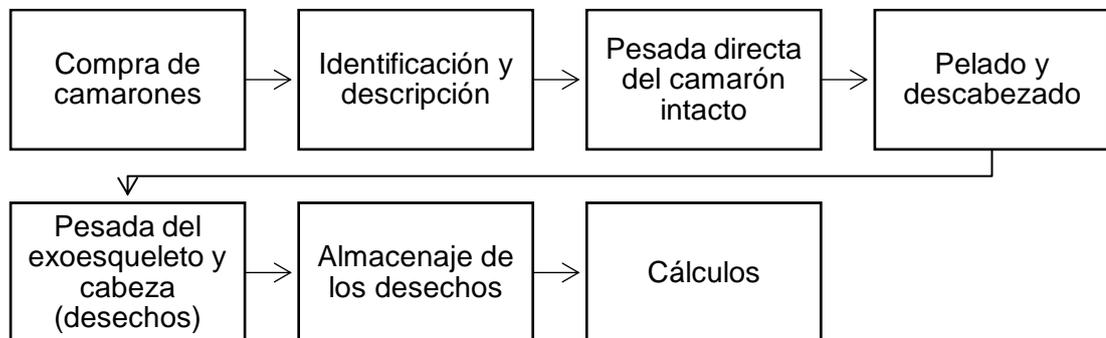


Figura 3.7 Esquema de la metodología para pesada de las muestras de camarón

3.4.2 Proyección estadística para estimación de cantidad de desechos.

Con la información recopilada a través de las encuestas se procede a tabular, sacar promedio de la cantidad de camarón que se comercializa en el Malecón para cada clase de camarón posteriormente hace uso de la Ecuación 3.2:

$$m_{\text{Desecho}} = (\% \text{ de desecho}) \times m_{cc}$$

Ecuación 3.2 Promedio de cantidad de desechos de camarón comercializados en el área de estudio

Donde:

m_{desecho} : Masa de desechos de camarón promedio.

m_{cc} : Masa de Camarón Comercializado en promedio.

3.4.3 Metodología experimental para elaboración de coagulante a base de quitosano

3.4.3.1 Materiales y equipos

Los equipos a utilizar para la síntesis del coagulante a base de quitosano, su caracterización y para determinar su eficiencia se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2

Equipos a utilizar para la marcha experimental de la investigación

Equipos de laboratorio	Descripción	Imagen de referencia
Equipo de prueba de jarras	Se utiliza para la determinación de la dosis óptima de floculantes y coagulantes para lograr la sedimentación en el tratamiento de aguas. El equipo posee paletas de agitación. Se utilizará para evaluar la efectividad del quitosano como coagulante en el tratamiento de aguas residuales.	
Turbidímetro	Se utiliza para medir la densidad de las partículas suspendidas de un líquido y así determinar el nivel de turbidez. El equipo está compuesto por una fuente lumínica, una celda para contener la muestra y de un detector de luz. este equipo. Con este equipo se mide el grado de remoción de los sólidos suspendidos de la muestra de agua residual para determinar la eficiencia de quitosano como coagulante.	
Medidor de pH	Este equipo se utiliza para el control de pH durante las etapas del acondicionamiento del quitosano como coagulante y para la caracterización del mismo a través de la valoración potenciométrica. En su defecto se utilizarán tiras indicadoras de pH.	

Continúa...

Tabla 3.2

Equipos a utilizar para la marcha experimental de la investigación (continuación).

Equipos de laboratorio	Descripción	Imagen de referencia
Horno de secado	Para eliminar la mayor cantidad de humedad después del tratamiento con una solución de NaOH.	
Balanzas analíticas y semi-analíticas	Utilizadas durante toda la etapa experimental desde la determinación de la cantidad de desechos hasta la evaluación de la eficiencia del quitosano como coagulante.	
Agitador magnético con calentador	Necesario para la agitación correcta y para suministrar calor para que se lleven a cabo las reacciones químicas involucradas en la síntesis de quitina y quitosano.	

A continuación, se muestra un listado de la cristalería y reactivos a ser utilizados en el desarrollo experimental de la síntesis de quitosano.

Cristalería y otros

1. Vasos de precipitado de diversos volúmenes (50 ml a 500 ml)
2. Pipetas
3. Matraz Erlenmeyer de diversos volúmenes (100 ml a 250 ml)
4. Agitador
5. Bureta (500ml o más)
6. Papel filtro y embudo
7. Tamiz

Reactivos

1. Ácido Clorhídrico
2. Hidróxido de sodio
3. Ácido acético
4. Bicarbonato de sodio
5. PAC
6. Sulfato de magnesio
7. Sulfato de amonio
8. Triple 15 (fertilizante)

3.4.3.2 Procedimiento de acondicionamiento de la muestra

a) Limpieza y descongelado.

Las muestras de desecho (exoesqueletos y cabeza) de los camarones, previamente almacenadas en refrigeración o de preferencia en congelación, se deben descongelar, lavar y secar con toallas de papel para eliminar la mayor cantidad de humedad posible.

b) Pesado de las muestras de desecho.

Una vez retirado el exceso de humedad, se pesará una muestra de desechos de camarón. Este valor de masa, será el punto de partida para el resto de la marcha experimental de síntesis de quitina y quitosano.

c) Secado.

El proceso de secado consiste en eliminar al máximo la humedad presente en la muestra de desecho. Para llevar a cabo este proceso, se tienen dos alternativas:

- i. *Secado con estufa.* La temperatura de trabajo debe estar entre 60°C y 70°C, para evitar calcinar y quemar las muestras hasta que no se registre variación en el peso de la muestra.
- ii. *Secado con exposición al sol.* En su defecto, si no se dispone de una estufa con regulación de temperatura, las muestras pueden ser expuestas al sol, un mínimo de 8 horas. Las muestras serán extendidas sobre una lona, en un área protegida de la lluvia, y otros agentes (polvo, hojas, insectos, etc).

Para evaluar que no existe humedad en la muestra de desechos, esta será pesada constantemente a lo largo del proceso de secado, hasta que el valor de la masa sea constante. Otro indicador de que la muestra está lista para su posterior tamizado es que al manipularla se quiebra con facilidad.

d) Macerado y tamizado (harina de exoesqueletos).

Una vez que la muestra de desecho de camarón está completamente seca, se procede a macerar, con el fin de obtener un polvo o harina, lo suficientemente fino como para permitir una correcta dilución. Para el macerado se hará uso de un mortero y pistilo, además, para separar el tamaño de las partículas de la muestra, se utiliza un tamiz con malla n°60.

Es importante realizar pesadas con una báscula analítica, o semianalítica, en cada etapa del acondicionamiento de las muestras. En la Figura 3.8 se muestra un flujograma del proceso de acondicionamiento de la muestra.

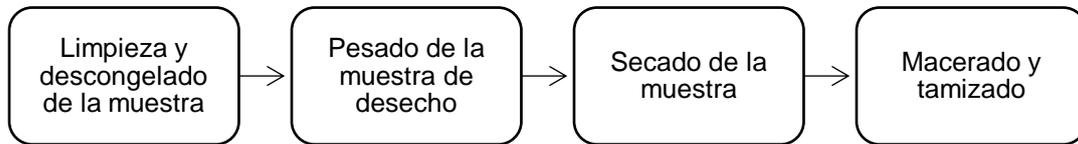


Figura 3.8 Proceso de acondicionamiento de la muestra

3.4.4 Extracción de quitina

Para obtener quitosano es necesario extraer la quitina presente en la muestra previamente acondicionada, este proceso se detalla a continuación.

3.4.4.1 Desmineralización

La desmineralización de la muestra pulverizada consiste en la eliminación de compuestos calcáreos, como carbonato de calcio (CaCO_3), entre otros, estas sustancias aportan dureza y rigidez al exoesqueleto de muchos crustáceos. Este proceso ocurre en ambientes cuyo pH es menor a 5.5, por lo que, a través de un baño ácido, es posible eliminar este tipo de compuestos. Haciendo uso de este concepto, como primer paso para aislar las moléculas de quitina presentes en el exoesqueleto del camarón se deben someter las muestras pulverizadas a un baño con ácido clorhídrico.

Asumiendo que la totalidad de sales minerales presentes en el exoesqueleto son carbonato de calcio, se tiene la reacción química mostrada en la Ecuación 3.3 para el proceso de desmineralización.



Ecuación 3.3 *Reacción balanceada de desmineralización.*

El carbonato de calcio reacciona con el ácido clorhídrico, formando cloruro de calcio, dióxido de carbono gaseoso, esto en un medio acuoso. El cloruro de calcio, al tratarse de una sal iónica, se disocia en agua, por lo que, al eliminar la solución acuosa del proceso, quedan aislados el resto de componentes del exoesqueleto del camarón.

Se hace uso de este tipo de ácido, debido a que se trata de un ácido fuerte que, al disociarse completamente en solución, permite que las reacciones químicas que lo involucran, sean más completas y rápidas.

Los desechos provenientes del camarón presentan la siguiente composición química: proteínas (40 %), minerales (35 %), quitina (14 % al 30 %) (Curbelo Hernández y Palacio Dubois, 2021).

Para encontrar la relación entre la masa de los desechos y la cantidad de HCl, se deben realizar cálculos estequiométricos como los mostrados a continuación, dado que los minerales en su mayoría son CaCO_3 :

$$\frac{100 \text{ g desechos}}{35 \text{ g CaCO}_3} \times \frac{100 \text{ g CaCO}_3}{1 \text{ mol CaCO}_3} \times \frac{1 \text{ mol CaCO}_3}{2 \text{ mol HCl}} \times \frac{1 \text{ mol HCl}}{36.5 \text{ g HCl}} = 3.9 \frac{\text{g desechos}}{\text{g HCl}}$$

El ácido clorhídrico (HCl) concentrado puede ser peligroso y muy reactivo con la muestra, por lo que se diluye. Un punto de partida es utilizar una solución HCl 1.5 N (aproximadamente 0.054 g/ml o 5.4%).

$$3.9 \frac{\text{g desechos}}{\text{g HCl}} \times 0.054 \frac{\text{g HCl}}{\text{ml agua}} \times \frac{1000 \text{ ml agua}}{1054 \text{ ml sol } 5.4\%} = 0.2 \frac{\text{g desechos}}{\text{ml sol } 5.4\%}$$

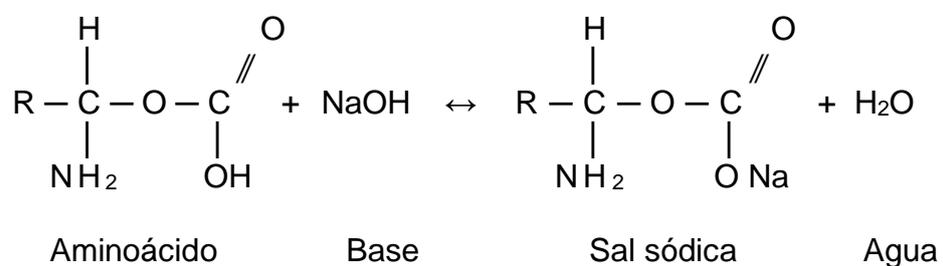
La relación anterior se puede simplificar a 1:5 (una parte de exoesqueletos pulverizados en 5 partes de solución de HCl al 5.4%). Esta reacción se llevará a cabo a temperatura ambiente, con agitación constante durante un mínimo de 2 horas.

Superado el tiempo de reacción, la solución se debe filtrar y enjuagar vigorosamente, hasta que se alcance la neutralidad química (pH=7).

El producto se somete a secado, para retirar la mayor cantidad de humedad posible. Se pueden seguir los procesos de secado planteados en la sección 3.4.3.2

3.4.4.2 Desproteínización

Las proteínas presentes en el exoesqueleto del camarón están conformadas por aminoácidos (combinación de grupos amino y grupos carboxilo). Los grupos carboxílicos tienen la capacidad de agruparse con otros grupos funcionales para formar ácidos, por lo que, siguiendo el principio de la neutralización química, si se añade una base fuerte, está reacciona con el grupo carboxílico, formando así una sal completamente soluble en agua (véase la Ecuación 3.4). Siguiendo este mecanismo de reacción, se consigue aislar el producto de interés (quitina).



Ecuación 3.4 *Reacción de neutralización de aminoácidos*

Según Curbelo Hernández y Palacio Dubois (2021), un 40% del contenido de los desechos del camarón son proteínas. Una vez la muestra pulverizada ha sido desmineralizada y sometida a secado, esta

debe someterse al proceso de neutralización antes mencionado, en medio básico y con alta temperatura, para eliminar las proteínas presentes del exoesqueleto.

Según Pinelli Saavedra y Esquerra Brauer (1998), la relación de proporción muestra y solución de NaOH es de 1:7, con una solución de NaOH que debe rondar entre 0,4% y 2%, agitación constante y temperatura de 60°C, durante una hora. Con este procedimiento es posible alcanzar rendimientos de hasta el 97%.

Al finalizar con la neutralización, la quitina se somete a lavado y filtrado con agua destilada hasta alcanzar la neutralidad (pH=7). Posteriormente, se debe secar empleando los métodos descritos anteriormente.

3.4.5 Síntesis de quitosano

El quitosano se obtiene mediante la desacetilación parcial de la quitina, la cual está formada únicamente por unidades de N-Acetilglucosamina (véase la Figura 3.9) se pueden observar estas unidades con algunos grupos funcionales de importancia.

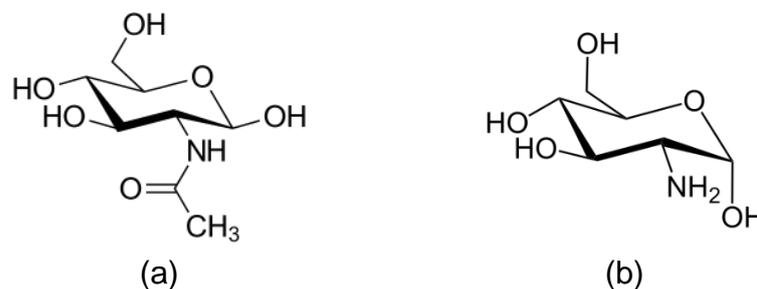


Figura 3.9 Unidades presentes en la quitina y quitosano (Natural Poland, 2021). (a) N-Acetilglucosamina, (b) Glucosamina (Química Alkano, 2022)

La N-acetilglucosamina está formada por un grupo amino -NH₂ que a su vez ha sido acetilado, es decir, se la incorporado un grupo acetil -CO-CH₃. En la Figura 3.10 se muestra la estructura de una molécula de quitina, obsérvense los grupos amida (grupos amino acetilados).

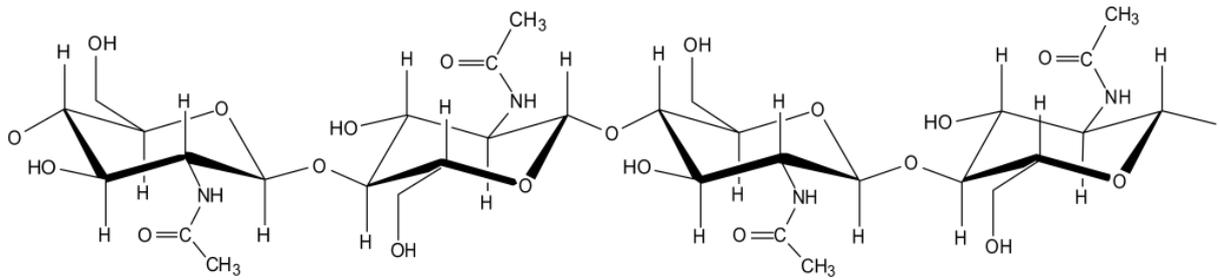


Figura 3.10 Molécula de quitina compuesta por unidades de N-Acetilglucosamina (Pinto, 2011).

En la Figura 3.11, se muestra la estructura de la molécula de quitosano, en ella se pueden notar los grupos amina, producto de la desacetilación que, al ser parcial, no elimina completamente los grupos acetilamida.

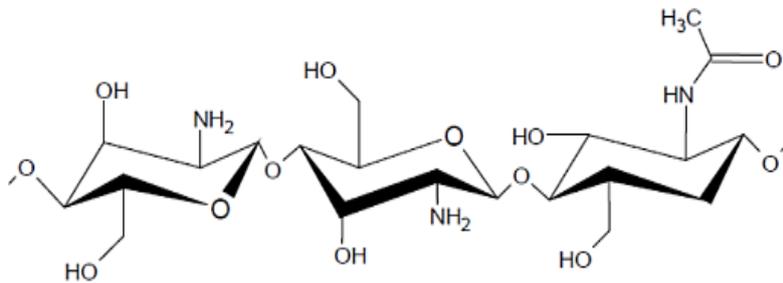


Figura 3.11 Molécula de quitosano, compuesta por unidades de glucosamina y N-Acetilglucosamina (Pinto, 2011).

La presencia de grupos amina, los cuales tienen carácter básico, vuelven la molécula catiónica.

3.4.5.1 Desacetilación de quitina

Consiste en la eliminación de los grupos acetilo de carácter ácido, característicos en la quitina, mediante la neutralización en medio básico. Cabe aclarar que, para obtener quitosano la desacetilación es parcial.

La reacción de N-desacetilación de la quitina con el hidróxido de sodio, ocurre con una hidrólisis en la que el ión hidróxido, fuertemente nucleofílico, ataca inicialmente a los grupos acetamida presentes en el C(2) mediante un mecanismo de adición y sustitución nucleofílica (Marinela, 2014).

En la adición nucleofílica, se elimina un enlace π , para poder adicionar el nucleófilo. Por lo general, los enlaces π , son más débiles que los enlaces σ . En los enlaces dobles C=O, tanto el carbono como el oxígeno pueden formar un enlace π y hasta tres enlaces σ (Véase Figura 3.12).

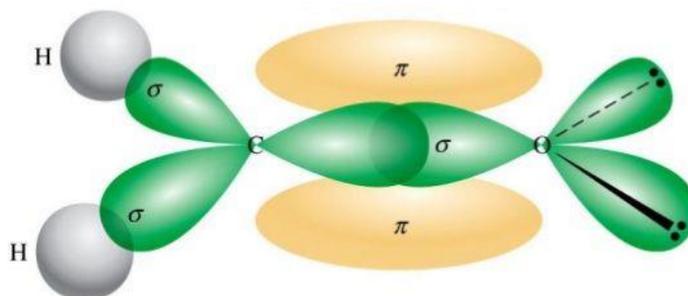


Figura 3.12 Hibridación sp^2 entre C y O. Tomada de: Teoría del enlace-valencia en <https://slideplayer.es/slide/10700542/>

La hibridación le permite al carbono formar hasta tres enlaces híbridos (sp) σ , y un enlace π (orbital p). De igual manera el oxígeno, presenta las mismas características.

En la Figura 3.13a se puede observar el proceso de desacetilación global, como se elimina el grupo acetamida, para dar lugar al grupo amina, y a la vez como se forma el anión acetato, para posteriormente formar una sal (acetato de sodio).

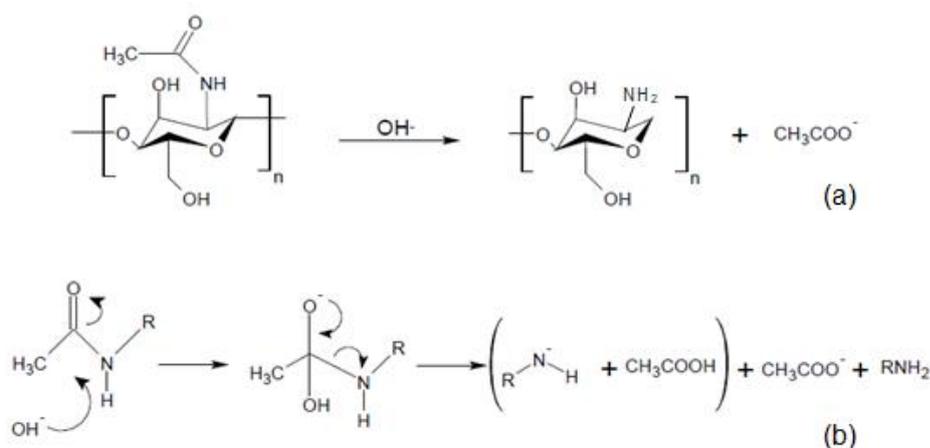


Figura 3.13 Mecanismo de reacción en el proceso de desacetilación (a) Reacción general de desacetilación en medio básico. (b) Mecanismo de reacción (ataque nucleófilo, eliminación). (Colina y otros, 2014).

Para realizar la desacetilación de la quitina, esta debe tener libre la mayor cantidad posible de proteínas, minerales y humedad, por lo que, la muestra se debe someter a un proceso alcalino con NaOH al 60%, en relación 1:10, a una temperatura de entre 80°C a 90°C, con agitación constante durante un mínimo de 3 horas, posteriormente el contenido deberá enjuagarse y filtrarse hasta alcanzar neutralidad (pH=7). Luego deberá secarse en un horno, o al sol, hasta eliminar la humedad.

3.4.5.2 Determinación de rendimiento del quitosano en términos de masa

Una vez se tenga la muestra seca, se pesa y compara con el peso inicial de la muestra. Esto se realiza con la balanza analítica, la masa de la muestra inicial y la masa de quitosano obtenido al final del proceso se calcula el rendimiento con la Ecuación 3.5:

$$R = \frac{P_q}{P_{qo}}$$

Ecuación 3.5 *Cálculo de rendimiento*

En donde:

R es el rendimiento del quitosano (masa).

P_q es el peso del quitosano obtenido.

P_{qo} es el peso de la muestra de desechos inicial.

3.4.6 Caracterización del quitosano

3.4.6.1 Valoración potenciométrica ácido-base

Según (Muñoz, Suarez, y Hidalgo, 2008) a partir de una valoración ácido-base, se puede determinar el grado de desacetilación, mediante la cantidad de grupos aminos formados que son capaces de reaccionar con un ácido. El procedimiento se realizará sometiendo una muestra a exceso de ácido (HCl). La titulación se realizará con una sustancia básica. Se deberá utilizar un electrodo para determinación de pH, y posteriormente se trazará una curva de valoración, pH contra volumen.

Según el método de Muñoz, Suarez, e Hidalgo (2008), para la valoración potenciométrica se pesan 0.25 g de muestra y se disuelven con 10 ml de HCl 0.3 M para titular posteriormente con NaOH 0.1 M. Mientras se mide el cambio de pH que presenta la solución en cada adición de 1 ml de NaOH hasta completar un volumen de 50 ml y se tabulan de acuerdo a lo señalado en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3
Modelo de recolección de datos de valoración potenciométrica

Volumen (ml)	Variación de pH	Volumen promedio de NaOH 0.1 M (ml)
1		
2		
3		
⋮		
50		

Se grafica volumen vs variación de pH para observar la tendencia y los dos puntos de inflexión. Una vez calculados los puntos de inflexión inferior y superior es posible utilizar la Ecuación 3.6, planteada por Muñoz, Suarez, e Hidalgo (2008), para determinar el grado de desacetilación.

$$\% \text{ de desacetilación} = 100 - FC \frac{(V_2 - V_1)}{m} \times M$$

Ecuación 3.6 *Grado de desacetilación del quitosano*

Donde:

V_2 es el punto mayor de inflexión

V_1 es el punto menor de inflexión

M es la molaridad del NaOH

m es la masa de la muestra en gramos

FC factor constante = 16.1

3.4.7 Determinación de eficiencia del coagulante formulado a base de quitosano

3.4.7.1 Preparación de muestras de aguas residuales

La formulación de aguas residuales se hace de acuerdo a una relación porcentual de componentes específicos presentes en las aguas residuales de tipo doméstico. La Tabla 3.4 presenta la propuesta de un sustrato que trata de reproducir las proporciones típicas de lípidos, proteínas, carbohidratos, y otros componentes de un agua residual. La formulación del agua residual consistirá en la preparación del sustrato simple para un volumen de 1 litro de agua para conseguir un agua residual sintética madre (muestra madre) y se mide el valor de turbidez. Ya que el objetivo es evaluar la remoción de coloides del agua residual no se añaden inóculos de microorganismos a la preparación del agua residual sintética.

Tabla 3.4

Composición del sustrato sintético para preparación de agua residual sintética.

Componente	Composición (mg/L)	Porcentaje
Gelatina	34	5.8%
Almidón	171	29.4%
Leche en polvo	102	17.5%
Jabón de tocador	3	0.5%
MgSO ₄ ·7H ₂ O	3	0.5%
KH ₂ PO ₄	44.5	7.6%
(NH ₄) ₂ SO ₄	74.2	12.8%
NaHCO ₃	150	25.8%
Total	581.7	100%

Fuente: U. de Valencia (2000)

De la muestra madre se toman 50 ml para ser diluida con agua, con el fin de obtener una muestra hija con un determinado grado de turbidez, con esta se realiza las pruebas de jarras a varias concentraciones de coagulantes. En la Figura 3.14 se presenta un esquema del procedimiento anterior.

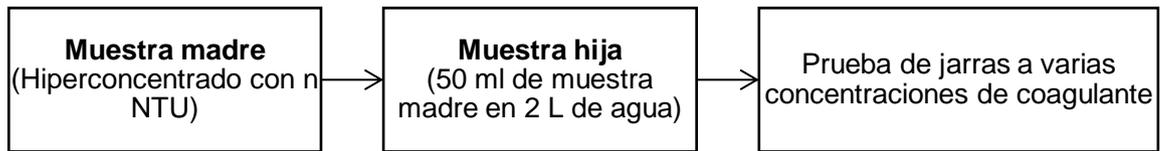


Figura 3.14 Esquema de preparación de muestras de simulación de agua residual sintética

3.4.7.2 Acondicionamiento del quitosano para su uso como coagulante.

El quitosano puro es insoluble en soluciones superiores a pH 6 por lo que se hará uso de un disolvente orgánico para acondicionarlo para su uso como coagulante. (Vásquez Lara y Vidal López, 2011). Se utiliza como disolvente una solución de ácido acético y agua que sea menor a pH 6 y se prepara una solución de quitosano al 0.25% p/v, 0.5%, 1% p/v y 1.5% p/v.

3.4.7.3 Prueba de jarras

Las concentraciones de quitosano a utilizar para la prueba de jarras son las mencionadas en la sección 3.4.7.2, y estas mismas serán empleadas para las pruebas con policloruro de aluminio. Los volúmenes a añadir de coagulante son 0.25 ml, 0.5 ml, 1 ml, 1.5 ml, 2 ml y 3 ml.

De la muestra hija se extraen volúmenes de 400 ml, para cada jarra a realizar, la con velocidad de agitación de 220 RPM durante 20 minutos, posteriormente las jarras se dejan en reposo durante 20 minutos. Se extrae del clarificado de la jarra (parte superior) para medir el valor de turbidez.

3.5 Metodología para análisis de datos

Los resultados de la etapa experimental, serán comparados bajo los siguientes puntos:

3.5.1 Determinación de la eficiencia del coagulante a base de quitosano

Los datos obtenidos de las pruebas de jarras con muestras de agua residual sintética y el coagulante formulado, serán comparados con el

porcentaje de eliminación de turbidez típico de una etapa de coagulación-floculación y sedimentación.

La Tabla 3.5 muestra los porcentajes de eliminación de algunos constituyentes importantes, siendo el de interés principal, la turbidez. Un valor típico de eliminación de turbidez ronda valores mayores al 50%. Este valor será el punto de partida para determinar si el coagulante a base de quitosano es efectivo para un proceso típico de coagulación-floculación y sedimentación. Los valores de remoción de turbidez se obtienen, partiendo de los datos obtenidos de las respectivas pruebas de jarras, efectuadas a las muestras de agua a diferentes grados de turbidez (tres muestras con alta, media y baja turbidez).

Tabla 3.5

Algunos procesos y operaciones unitarias empleados en la recuperación del agua residual y potencial de eliminación de contaminantes.

Constituyentes	Proceso u operación unitaria		
	Tratamiento primario	Coagulación-Floculación y sedimentación	Lodos activados
DQO	25-50%	50%	50%
DBO	25-50%	50%	50%
SST	50%	50%	50%
Turbiedad	25-50%	50%	50%

Adaptado de (Metcalf & Eddy Inc., 1995).

Si el porcentaje de remoción de turbidez, para la jarra con la calidad visual más aceptable, es mayor al porcentaje de eliminación de turbidez típica del proceso de coagulación-floculación y sedimentación, el coagulante se considera *efectivo*.

Otra propuesta para determinar qué tan efectivo es el coagulante formulado, es comparar con datos de turbidez que son propios del agua aceptable para consumo humano. La Organización Mundial de la Salud establece que el límite máximo permisible para el agua de consumo humano es de 5 NTU.

Otro método para evaluar eficiencia del coagulante elaborado es: medir los valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno y la Demanda Química de Oxígeno a través de métodos estandarizados y comparar dichos valores respecto a otros coagulantes inorgánicos de uso común, para verificar los valores que más se acerquen a los presentados en la norma salvadoreña referente a aguas residuales (véase la Tabla 3.6).

Tabla 3.6

Parámetros de DQO y DBO permisibles de Norma Salvadoreña para descarga de agua de cuerpos receptores y alcantarillados sanitarios

Parámetros	Descarga en cuerpos de agua	Descarga al alcantarillado sanitario
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO. Límites permisibles (mg/L)	150	400
Demanda Química de Oxígeno DQO. Límites permisibles (mg/L)	60	1000

Adaptado de Plan Hidro 2019 y del RTS 13.05.01:2018

El método para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno DBO es complejo y requiere de 5 días para su determinación. El método para la determinación de DQO es menos complejo, pero requiere de un equipamiento más sofisticado al igual que reactivos de elevados costos. Para el alcance exploratorio de esta investigación, las numerosas corridas a realizar en los ensayos de jarras, y la falta de recursos disponibles, no es viable la determinación de la eficiencia bajo el monitoreo de estos parámetros. Adicionalmente, es difundido el uso de la turbidez como parámetro de control para determinar la efectividad de los coagulantes en las pruebas de jarras, dada la rapidez y confiabilidad de los resultados.

3.5.2 Determinación de mejor dosis y comparación de resultados del coagulante formulado contra un coagulante inorgánico.

Se pretende determinar para una turbidez T inicial, definida y constante, la dosis óptima del coagulante formulado a base de quitosano.

Posteriormente, el coagulante formulado a base de quitosano será comparado con un coagulante inorgánico de uso común; en este caso en

particular se optó por el Policloruro de aluminio (PAC) como coagulante de referencia, principalmente por: (1) su disponibilidad inmediata en el mercado, (2) es un coagulante ampliamente utilizado para el tratamiento de aguas residuales, y (3) su bajo costo lo vuelve una opción asequible para el desarrollo de este trabajo.

Los datos a recolectar de las pruebas de jarras se basan en la Tabla 3.7. Para cada concentración C_n de los coagulantes, se deberá realizar una prueba de jarras a diferentes dosis. Del clarificado resultante, se tomará la turbidez por duplicado.

Tabla 3.7
Ejemplo de ficha para registro de datos de prueba de jarras

Quitosano		PAC	
Concentración C_n (%)		Concentración C_n (%)	
Dosis (ml)	Turbidez (x2)	Dosis	Turbidez (x2)
d_1	T_{Q1}	d_1	T_{P1}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
d_{n-1}	T_{Qn-1}	d_{n-1}	T_{Pn-1}
d_n	T_{Qn}	d_n	T_{Pn}

En el caso de las pruebas de jarras realizadas con el quitosano, cuando $T_{Qn} > T_{Qn-1}$, a determinada concentración C_n es recomendable no continuar con las pruebas. En este punto se considera que el sistema comienza a saturarse (sobredosificación). El valor anterior T_{Qn-1} , se considera como la dosis óptima. Sin embargo, se puede estandarizar el procedimiento estableciendo concentraciones y dosificaciones definidas, para la realización de pruebas de jarras para ambos coagulantes.

Es importante mantener las condiciones iniciales del agua residual sintética formulada, lo más constantes posible para la ejecución de cada prueba de jarras.

Una vez obtenidos los datos, pueden graficarse para ambos coagulantes, a las distintas concentraciones experimentadas. Un comportamiento esperado, es el de la Figura 3.15.

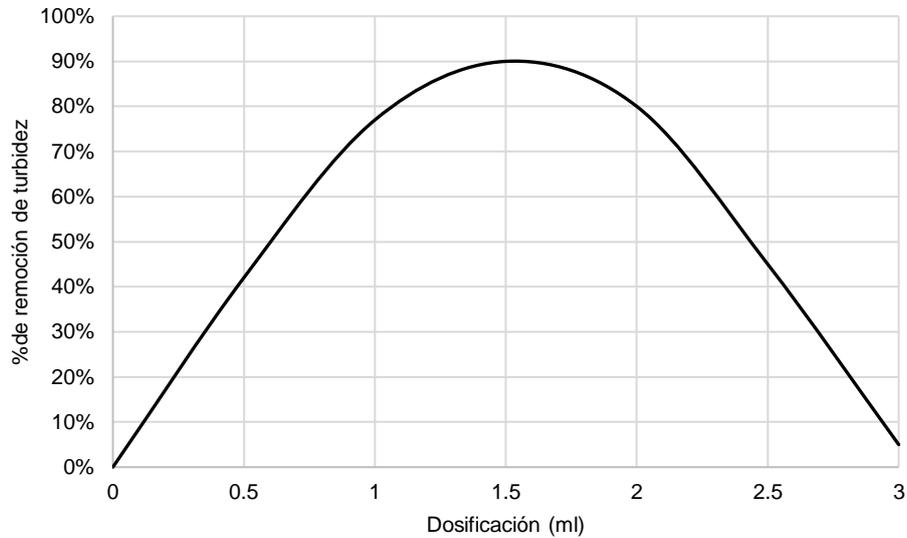


Figura 3.15 Curva de %remoción en función de la dosificación de coagulante

El porcentaje de remoción de turbidez para desarrollar el comportamiento gráfico de los coagulantes se calcula según la Ecuación 3.7.

$$\%Remoción = \frac{Turbidez\ inicial - Turbidez\ final}{Turbidez\ inicial} \times 100$$

Ecuación 3.7 Determinación del porcentaje de remoción de turbidez

La turbidez inicial corresponde a la turbidez del agua residual sintética formulada. La turbidez final corresponde a la lectura de turbidez del clarificado del agua residual, luego de ser sometida a la prueba de jarras a una concentración de coagulante C_n , y a una dosis d_n ,

3.5.3 Correlación desechos-coagulante

A partir de la estimación de la cantidad de los desechos generados en la zona del Malecón del Puerto de La Libertad al día, y el rendimiento para producir quitosano a partir de determinada cantidad experimental de desechos (exoesqueletos) de camarón, se puede determinar la cantidad de quitosano que puede producirse al día.

Partiendo de la Ecuación 3.2 para estimar los desechos de exoesqueletos de camarón de la zona de estudio, se puede determinar mediante la Ecuación 3.8, la cantidad de quitosano que podría producirse, según la cantidad de desechos de camarón que se generan a diario en la zona de estudio.

$$m_{\text{quitosano/día}} = m_{\text{Desecho/día}} \times R$$

Ecuación 3.8 *Estimación de quitosano que se puede extraer de la masa de desecho de camarón para la zona de estudio*

Donde:

R es el rendimiento del quitosano en términos de masa

3.6 Marcha experimental

3.6.1 Procedimiento para determinación de masa de exoesqueletos de camarón.



De las cantidades compradas en el Mercado del Mar, se seleccionaron camarones al azar, para verificar su aspecto. En la imagen se observan camarones pequeños.



Luego se tomó una cantidad al azar de camarones a los cuales se les retiró al máximo la humedad. En este caso, la muestra corresponde a una libra comercial aproximadamente. Se registró el peso de esta muestra.



Se procedió a retirar con mucho cuidado los exoesqueletos, cabeza y cola de la muestra de camarones.



Los exoesqueletos, cabeza y cola retirados, fueron pesados, para determinar el porcentaje en peso húmedo que representan de la masa total de camarones. Se registraron los pesos.

El procedimiento se repitió por cada tipo de camarón: colita, pequeño, mediano, grande y jumbo.

3.6.2 Procedimiento de secado de muestras de camarón



Los exoesqueletos de las muestras de camarón obtenidas en la zona del Malecón del puerto de La Libertad, fueron sometidas a secado en una estufa, a 70°C durante 3 horas



Cada cierto tiempo, se revisaron los pesos de las muestras, hasta que los pesos de las muestras no mostraron variación entre pesadas.



Una vez se determinó que el peso de las muestras era constante, se dejó enfriar y se almacenó en bolsas herméticas, para su posterior pulverizado.



Las muestras secas se pulverizaron con ayuda de un mortero con pistilo, con el fin de reducir el tamaño de las muestras.



A



Las muestras se pulverizaron hasta un tamaño adecuado para lograr un buen contacto partícula-reactivos. Estas se almacenaron herméticamente.

3.6.3 Procedimiento de extracción de quitina



La muestra previamente acondicionada se desmineralizó con una solución de ácido clorhídrico (HCl) al 5.4% p/v en una relación 1:5, durante 2 horas con agitación constante 170 rpm.



La desproteínización se realizó con una solución de NaOH 0.1 M en una relación de 1:10, durante 1 hora a 60°C con agitación constante a 170 rpm



B

B



La quitina obtenida se enjuagó con agua destilada hasta alcanzar pH neutro.



La quitina neutralizada (pH=7) sometió a un proceso de secado con el que se estimó la cantidad de carbonatos de calcio y proteínas que se eliminaron en la desmineralización y desproteínización.

3.6.4 Síntesis de quitosano



Para la síntesis de quitosano se utilizó una solución de NaOH al 60% p/v a 70°C con agitación constante de 320 rpm, durante 8 horas.

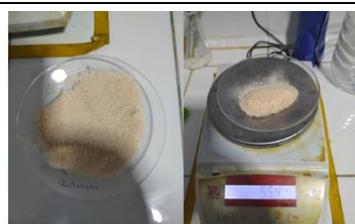


C

C



Se filtró y lavo con agua destilada hasta obtener pH neutro.



Se sometió a un proceso de secado en estufa.

3.6.5 Caracterización del quitosano obtenido

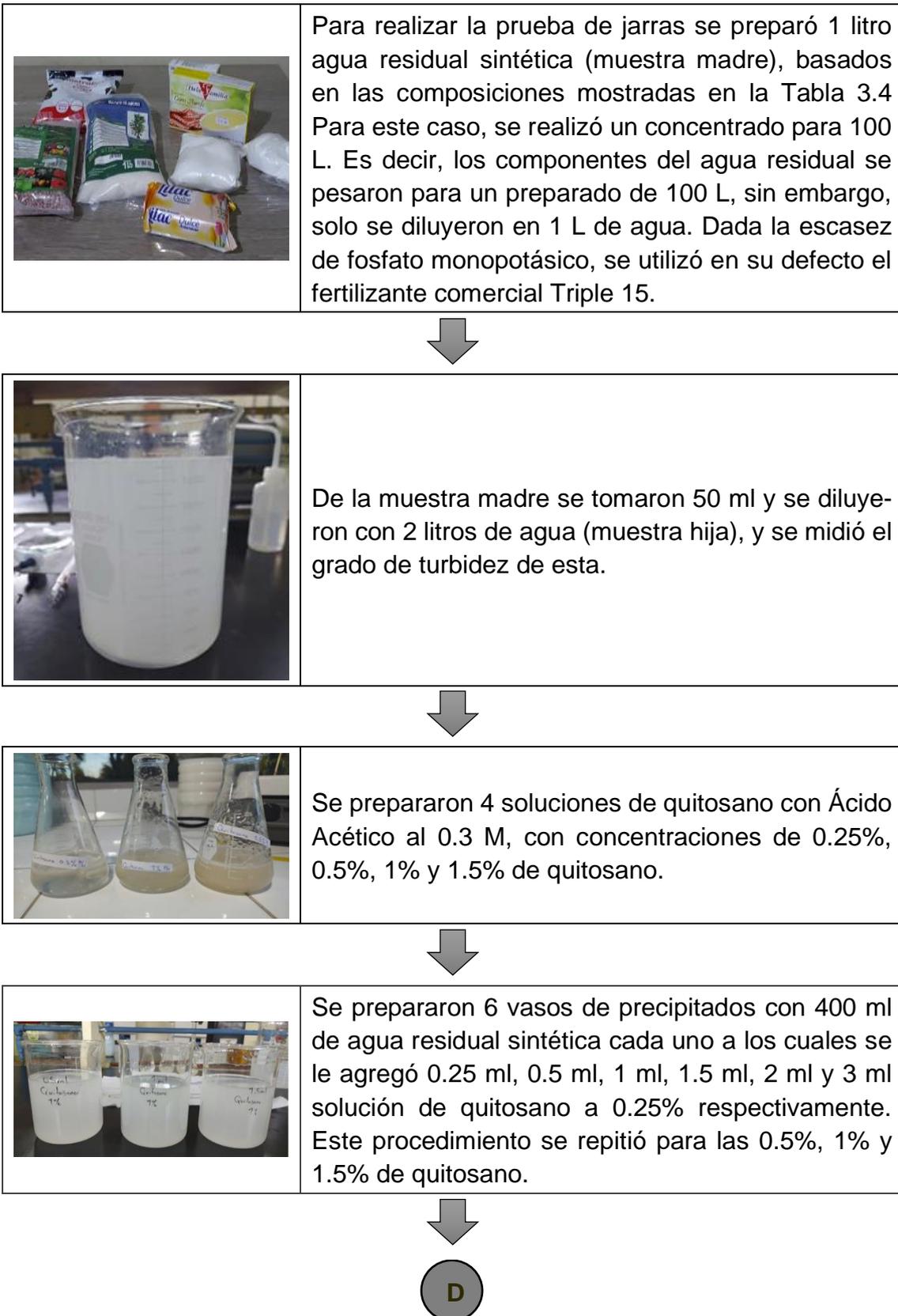


Se realizó una valoración potenciométrica ácido-base, disolviendo 0.5 g de quitosano en 10ml de alícuota de ácido clorhídrico con una concentración de 0.3 M.



Se tituló agregando 1 ml a la vez de hidróxido de sodio 0.1 M hasta alcanzar un total de 50 ml añadidos. Con cada ml de hidróxido de sodio dosificado, se registró el pH de toda la solución.

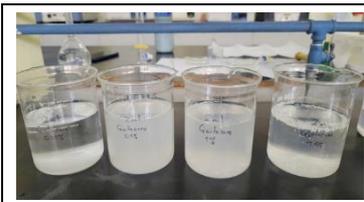
3.6.6 Procedimiento para evaluación de la eficiencia de quitosano



D



Cada vaso de precipitado se coloca en agitación en el equipo para pruebas de jarras contante a 220 rpm por 20 min.



Al pasar los 20 minutos de agitación constante, las jarras se dejaron reposar durante 20 minutos para que los coágulos formados se estabilicen en reposo.



Transcurrido el reposo se midió la turbidez de clarificado de cada jarra por duplicado.



El mismo procedimiento se siguió para prueba de jarras con PAC, excepto que el disolvente para coagulante es agua destilada.

Capítulo 4

Capítulo 4 Análisis y discusión de resultados

4.1 Estimación del volumen de camarón comercializado y sus desechos en la zona del Malecón del puerto de La Libertad

Previamente se realizó un sondeo para determinar la cantidad de negocios activos, con el fin de entrevistar a los negociantes responsables de ellos. Del total de puestos operativos en el área de la galería de mariscos (75), un 52% comercializa camarón, un 40% comercializa otro tipo de mariscos, principalmente pescado, y un 8% de los puestos se dedica a la venta de ceviches preparados tanto de camarón, pescado, calamar, curiles, etc.

La distribución de productos del mar se muestra en la Figura 4.1. La venta de camarón es la más popular, y a pesar de los períodos de veda del camarón, los cuales a partir de 2022 se estarán implementado en mayo y octubre (MAG, 2022), los comerciantes de este tipo de marisco, se avocan a la venta de camarón de granja, para poder cubrir la demanda durante estos períodos.

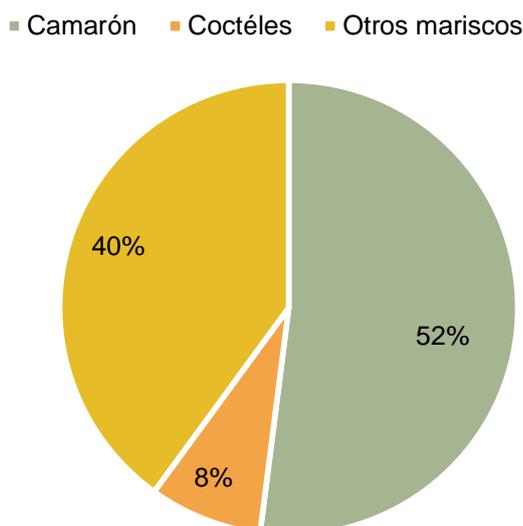


Figura 4.1 Clasificación de los comercios en la zona del Malecón del Puerto de La Libertad.

Los comerciantes lejos de clasificar los camarones por su taxonomía o morfología (especies, color, etc), lo hacen de acuerdo a su tamaño y según el lugar de procedencia (pesca o granja). Las categorías de clasificación principales consisten en: chacalín (colita), pequeño, mediano, grande, jumbo y extra

jumbo. Al observar todos los negocios de venta de camarón, la especie predominante es el camarón tití o camaroncillo (chacalín), seguido del camarón blanco (con tres especies predominantes. En menor medida se encuentran el camarón rojo y el camarón café. En la Figura 4.2, se puede observar como una vendedora muestra camarones clasificados como jumbo.



Figura 4.2 Camarones jumbo. Una libra puede contener entre 8 a 9 camarones.

En la Figura 4.3 se puede observar cómo se distribuyen las ventas de camarón según su tamaño en el Mercado del Mar, en la cual se comercializa todo el camarón capturado en la zona del malecón, y en algunos casos, camarón de granja.

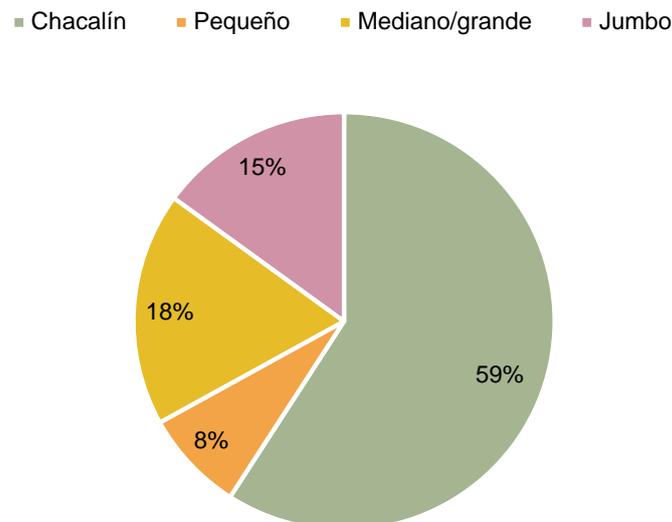


Figura 4.3 Distribución de los distintos tipos de camarón que se comercializan según su tamaño en la zona del Malecón

El instrumento utilizado para las entrevistas se basó en el mostrado en el Anexo C.1. Formulario de encuestas para negocios de venta de camarón. Este se utilizó para entrevistar a cada uno de los responsables de los distintos negocios de venta de mariscos operativos, obteniéndose los resultados mostrados en la Tabla 4.1, los cuales reflejan las ventas totales de los distintos tipos de camarón en libras por día.

Tabla 4.1
Camarón comercializado a diario en la zona del Malecón, por tipo de camarón.

Tipo de camarón	Cantidad (lb/d)
Chacalín	1,047.22
Pequeño	139.00
Mediano/grande	320.47
Jumbo	265.19
Total	1,771.86

El volumen de ventas de camarón en general, es de *1771.86 libras al día* en promedio, tomando en cuenta la temporada alta como la temporada baja, e incluyendo la época de veda, donde por lo general se comercializa camarón de granja.

4.1.1 Uso alternativo de la cascarilla de camarón.

Según los negociantes del área del Mercado del Mar, la cascarilla del camarón, puede ser utilizada para la elaboración de una especie de consomé, que otorga sabor a las sopas de mariscos y arroz. La metodología para su elaboración consiste en el secado, triturado, hervido y colado. El colado en cuestión, es utilizado para aportar sabor.

Otro método alternativo, consiste en hervir las cascarillas frescas. El caldo generado más las cascarillas hervidas, se someten a licuado, y este licuado, se cuela, para obtener un concentrado de las cascarillas que otorga mucho sabor a los platillos a base de mariscos.

4.1.2 Cantidad de cascarilla que puede obtenerse a partir del camarón.

Según los comerciantes de la zona, de un quintal de camarones (chacalín por lo general), 65 libras son de carne y 35 libras corresponden al exoesqueleto o carapacho como comúnmente le llaman. Es decir, empíricamente ellos han establecido que un 35% del camarón corresponde al exoesqueleto.

4.1.3 Pesada de cascarillas de camarón.

De las muestras obtenidas de camarón, se obtuvo el peso de las cascarillas, y se determinó el porcentaje que representa del total de la masa de camarón. En la Tabla 4.2, se muestran los resultados de los promedios de las pesadas de muestras que se realizaron por duplicado.

Tabla 4.2
Resumen de pesada de muestras de camarón

Nombre comercial	Cantidad muestra (g)	Exoesqueleto (g)	% de exoesqueleto
Jumbo	615.52	127.01	21
Pequeño	537.05	91.17	17
Mediano	407.32	80.97	20
Colita	738.08	267.43	36

En la Tabla 4.3, se resumen el porcentaje que representa en general el exoesqueleto de un camarón. Se debe tomar en cuenta que, para el caso, experimentalmente se realizó una determinación de 4 tipos de camarón comercializados en la zona del Malecón. Empíricamente, los comerciantes han establecido un promedio de exoesqueletos provenientes del camarón, de acuerdo a la cantidad que capturan. Bibliográficamente, según Perlera de Escalante, Pacheco de Jordán, y Calderón de Zacatares, (2017), del procesamiento industrial del camarón se estima que el 40% son desechos orgánicos, comprendidos principalmente por el exoesqueleto del camarón y que adicionalmente incluyen el desvicerado.

Tabla 4.3

Resumen del porcentaje que representa el exoesqueleto de camarón respecto a la masa consumible. Se indican tres fuentes de información.

Experimental (promedio)	Empírico	Bibliográfico
29.4%	35%	40%

Para el estudio en cuestión, se hará uso de los porcentajes determinados experimentalmente, para la determinación de la cantidad de desechos generados diariamente en la zona del Malecón y alrededores, por la comercialización del camarón. La Tabla 4.4 muestra en resumen, la cantidad de desechos comprendidos por el exoesqueleto que podrían generarse en promedio a diario por las actividades de comercialización del camarón.

Tabla 4.4

Resumen del escalamiento para determinación de generación diaria de desechos de camarón en la zona del Malecón del puerto de La Libertad

Nombre comercial	% de exoesqueleto	Cantidad de camarones (lb/día)	Cantidad de exoesqueletos (lb/día)
Jumbo	21	265.19	55.69
Mediano/Grande	20	320.47	64.09
Pequeño	17	139.00	23.63
Colita	36	1,047.22	376.99
Total		1,771.86	520.55

En promedio, la comercialización de camarón en la zona del Malecón podría generar *520.55 libras al día*, de desechos relacionados con el exoesqueleto del mismo. En un mes estos representarían *15,616.50 libras* y en un año *190,000.75 libras*.

4.2 Caracterización de quitosano

La caracterización de quitosano se realizó mediante un método de titulación potenciométrica ácido – base. El quitosano en cuestión se disolvió en ácido sulfúrico, para luego ser valorado mililitro a mililitro con hidróxido de sodio. Con cada ml de solución de hidróxido de sodio, se tomó y se registró una

lectura de pH. Posteriormente, con los datos de volumen añadido de hidróxido de sodio contra pH, fue posible determinar los puntos de inflexión exactos, los cuales son necesarios para la determinación del grado de desacetilación de la quitina, según la Ecuación 3.6 (ecuación de caracterización).

Comercialmente, se considera quitosano si existe una conversión de cerca del 60% o más de los grupos amida presentes en la quitina, a grupos amino, característicos en el quitosano (Romero–Serrano y Pereira, 2020). Sin embargo, otros autores consideran que a partir de un 50% de desacetilación, el producto en cuestión se trata de quitosano (Dima, Sequeiros, y Zaritzky, 2016).

Si la quitina perdiera en su totalidad todos los grupos acetilamida (desacetilación al 100%), el producto químico resultante se denomina *quitano*.

4.2.1 Síntesis preliminar de quitosano

En el Anexo B.1. Titulación potenciométrica ácido - base y sus respectivos cálculos para determinación de los puntos de inflexión, de la primera corrida experimental de síntesis de quitosano, se muestra una tabla resumen con los resultados de la primera corrida de síntesis de quitosano. Los puntos de inflexión corresponden a la dosificación de 4 y 8 mililitros de hidróxido de sodio, y fueron determinados mediante el método numérico de la primera derivada. Con esos datos tabulados es posible generar curvas que indiquen los puntos de inflexión.

En la Figura 4.4 se pueden observar las curvas que representan los datos obtenidos de la titulación potenciométrica ácido-base para la determinación del grado de desacetilación. Para esta primera corrida de síntesis de quitosano, la Figura 4.4a muestra una curva de pH contra volumen, y si bien muestra dos puntos de inflexión, estos no son tan prominentes como es característico en una caracterización de quitosano. La Figura 4.4b muestra los puntos máximos mostrados en la curva ΔpH vs $\Delta\text{pH}/\Delta V$, corresponden a los puntos de inflexión exactos.

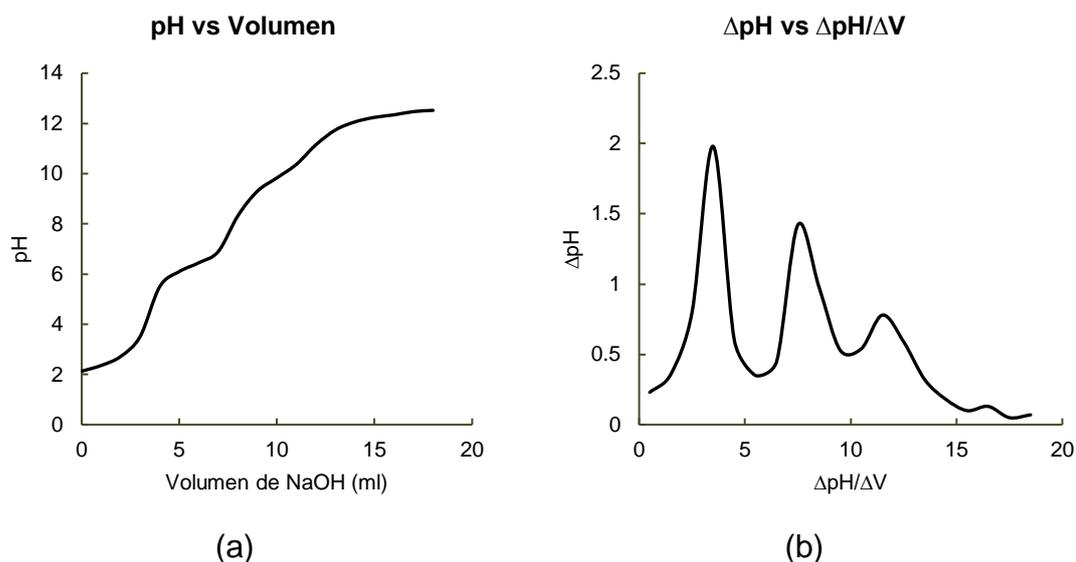


Figura 4.4 Curvas representativas del grado de desacetilación según puntos de inflexión de la síntesis de quitosano preliminar.

La diferencia entre los dos puntos de inflexión indica la cantidad de ácido requerido para protonar los grupos amino del quitosano. Mediante la Ecuación 3.6, se determinó que el porcentaje de desacetilación de esta corrida fue de 25.76%, lo que indica una baja conversión de quitina a quitosano, por lo que el producto obtenido finalmente no se considera quitosano, y se descarta.

4.2.2 Síntesis final de quitosano

Según los resultados del procedimiento de síntesis preliminar, se hizo una repetición aumentando el tiempo de contacto en medio básico en el proceso de desacetilación de la quitina. Dado el alcance exploratorio de la investigación, el interés es la obtención de quitosano para su aplicación como agente coagulante en aguas residuales, por lo que no se realizaron pruebas para estudiar la relación entre las variables que intervienen en el proceso de síntesis, por lo tanto, los resultados esperados se basan únicamente en las fuentes bibliográficas estudiadas anteriormente donde se estima que el grado de desacetilación debe ser mayor o igual que 50%.

En la caracterización de esta segunda corrida de síntesis de quitosano se obtuvieron los resultados que se muestran en el Anexo B.2. Titulación potenciométrica ácido base y sus respectivos cálculos para determinación de los puntos de inflexión, de la segunda corrida experimental de síntesis de quitosano. A partir de estos datos es posible generar las gráficas que se muestran en la Figura 4.5.

La Figura 4.5a muestra una curva de pH contra volumen, en la que se observa dos puntos de inflexión mu evidentes, como suele ser característico en una caracterización de quitosano. La Figura 4.5b muestra los puntos máximos mostrados en la curva ΔpH vs $\Delta\text{pH}/\Delta V$, los cuales corresponden a los puntos de inflexión exactos, según el método de la primera derivada.

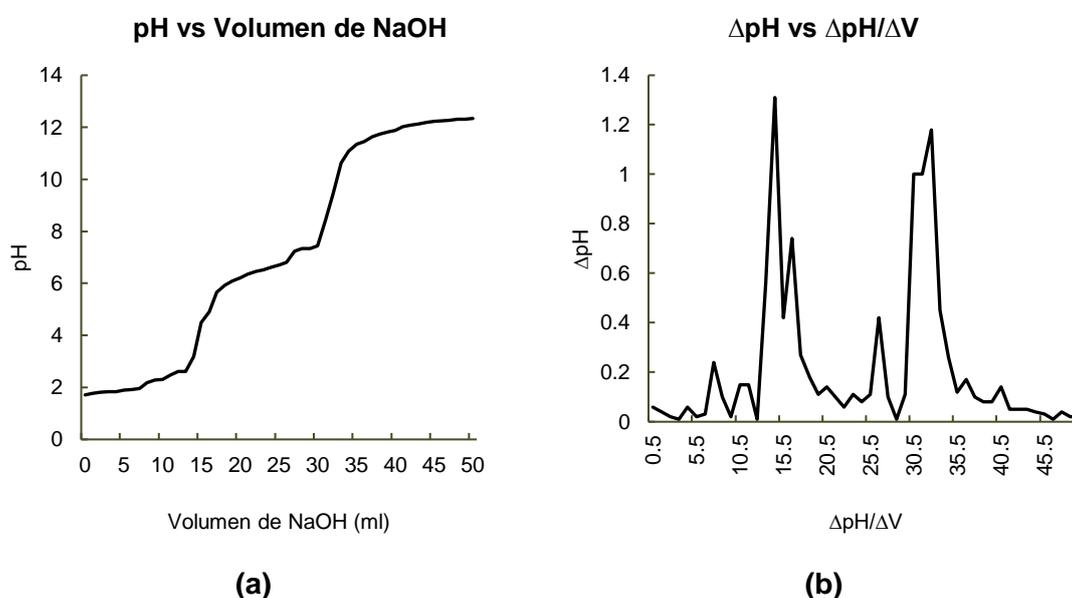


Figura 4.5 Curvas representativas del grado de desacetilación según puntos de inflexión, de la síntesis de quitosano final

Los puntos de inflexión corresponden a 15 y 33 ml de hidróxido de sodio. Mediante la Ecuación 3.6, se determinó que el porcentaje de desacetilación de esta corrida fue de 57.96%, el cual se considera un valor aceptable de desacetilación, para considerar el producto final como quitosano. El producto final a ser utilizado se denomina *Quitosano 58*.

4.3 Rendimiento del quitosano obtenido

Durante el procedimiento de síntesis de quitosano, se registraron las masas de las muestras de cada etapa, tal y como puede observarse en el esquema de la Figura 4.6.

La *muestra inicial* corresponde a la cantidad de cascarilla de camarón fresca, la cual fue de 267.43 g.

La *muestra seca* se refiere a la cantidad de cascarilla de camarón libre de humedad. De esta muestra se utilizaron 33.55 g para macerar, y utilizar como muestra para su respectiva desmineralización, desproteínización y desacetilación.

La *muestra triturada* presenta pérdidas de masa mínimas, respecto a la muestra antes de macerar, esto debido a que, en el proceso de macerado, la muestra desprende algunas partículas muy pequeñas que se suspenden con facilidad en el aire.

La *masa desproteínizada y desmineralizada*, es la resultante del proceso de desproteínización y desmineralización, en el que se da la pérdida de las proteínas y minerales de la muestra de cascarilla de camarón. Esta dio un resultado de 22.99 g.

Finalmente, del proceso de desacetilación (*masa de quitosano*), la masa resultante fue de 5.54 g, correspondientes a Quitosano 58.

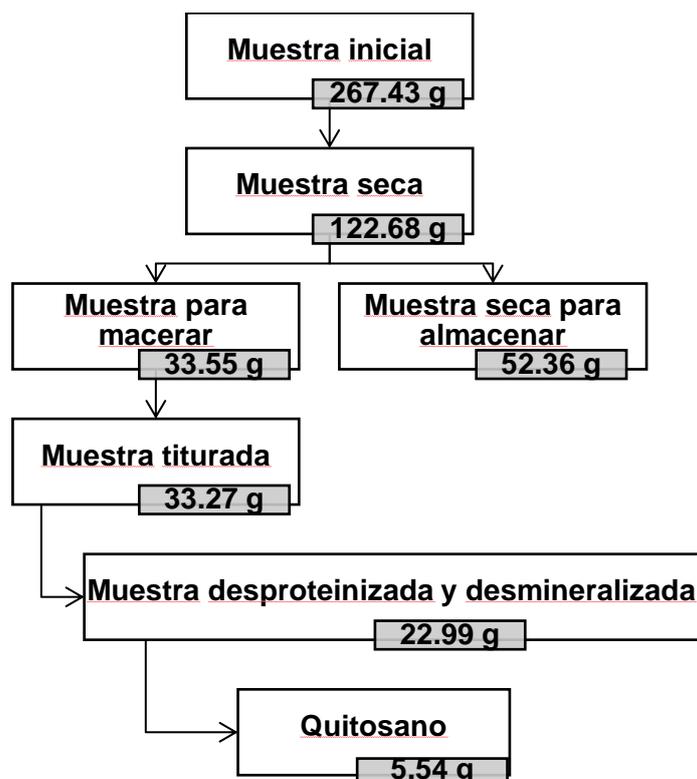


Figura 4.6 Resumen de las masas obtenidas durante todo el proceso de síntesis de quitosano

El rendimiento del quitosano obtenido mediante la Ecuación 3.5 respecto a la muestra inicial de exoesqueletos es de 7.6%, es decir, de cada 100 g de exoesqueletos se obtienen 7.6 g de Quitosano 58.

Partiendo del rendimiento anterior se puede determinar la cantidad de quitosano que podría obtenerse de los desechos de camarón generados en la zona del Malecón al día, a través de la Ecuación 3.8. Esto da un resultado de 17.94 kg de Quitosano 58 al día.

4.4 Determinación de la eficiencia de un coagulante formulado a base de Quitosano 58.

4.4.1 Pruebas de jarras en agua residual sintética con diferentes concentraciones del coagulante formulado.

Se preparó una muestra madre de agua residual formulada en laboratorio diluida al 25% en agua de grifo, como la que se aprecia en la Figura 4.7.

Se midió la turbidez y el pH de esta dilución continuamente entre cada preparación a ser vertida en las respectivas jarras, dando en promedio un valor de 374.1 NTU , y un pH de 7.51 .

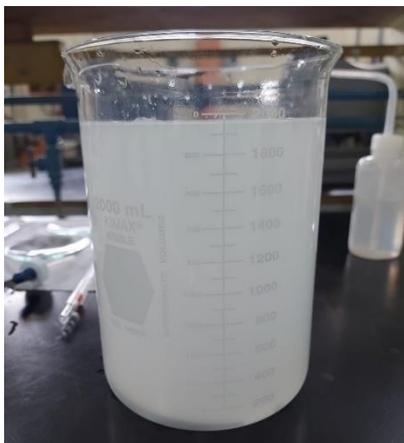


Figura 4.7 Aspecto visual del agua residual sintética formulada con una turbidez promedio de 374.1 NTU

Las pruebas de jarras se realizaron con un volumen de agua residual de 400 ml . A cada jarra se le aplicaron 6 dosificaciones diferentes a una concentración de 0.25% , 0.5% , 1% , 1.5% de solución de Quitosano 58 diluido con ácido acético al 0.3 M . A estas soluciones coagulantes las denominaremos Quitosano 58 al 0.25% , Quitosano 58 al 0.5% , Quitosano 58 al 1% y Quitosano 58 al 1.5% .

La agitación para el ensayo se realizó a una velocidad de 220 rpm , durante 20 min . El tiempo de sedimentación establecido fue de 20 min .

Al clarificado resultante de la prueba de jarras se le realizó una determinación de turbidez por duplicado. Los resultados de las mediciones de turbidez, así como el porcentaje de remoción se resumen en la Tabla 4.5 y Tabla 4.6.

Tabla 4.5

Resultados de las pruebas de jarras realizadas con Quitosano 58 al 0.25% y al 0.50%, en función de la turbidez

Volumen (ml)	Quitosano 58 al 0.25%		Quitosano 58 al 0.50%	
	Turbidez (NTU)	Remoción (%)	Turbidez (NTU)	Remoción (%)
0	374.1	0.0%	374.1	0.0%
0.25	223.6	40.2%	175.7	53.0%
0.5	138.7	62.9%	39.5	89.4%
1	15.5	95.9%	42.0	88.8%
1.5	5.5	98.5%	38.1	89.8%
2	4.1	98.9%	175.2	53.2%
3	6.8	98.2%	114.8	69.3%

Tabla 4.6

Resultados de las pruebas de jarras realizadas con Quitosano 58 al 1% y al 1.5%, en función de la turbidez

Volumen (ml)	Quitosano 58 al 1%		Quitosano 58 al 1.5%	
	Turbidez (NTU)	Remoción (%)	Turbidez (NTU)	Remoción (%)
0	374.1	0.0%	374.1	0.0%
0.25	19.1	94.9%	7.0	98.1%
0.5	35.5	90.5%	25.9	93.1%
1	70.0	81.3%	18.1	95.2%
1.5	98.5	73.7%	15.1	96.0%
2	89.2	76.2%	19.4	94.8%
3	22.1	94.1%	12.9	96.5%

La mejor dosificación corresponde al valor de turbidez más bajo. El menor valor de turbidez obtenido fue de 4.1 NTU, correspondiente a una dosificación de 2 ml de Quitosano 58 al 0.25%, según como puede apreciarse en la Tabla 4.5. En la Figura 4.8, se muestran los resultados de esta dosificación. El porcentaje de remoción de turbidez a esa dosificación y concentración corresponde a un 98.9%. Este valor es superior a los porcentajes de remoción comunes de los procesos de coagulación-floculación y sedimentación, los cuales rondan en un 50% de remoción de turbidez, según puede observarse en la Tabla 3.5.

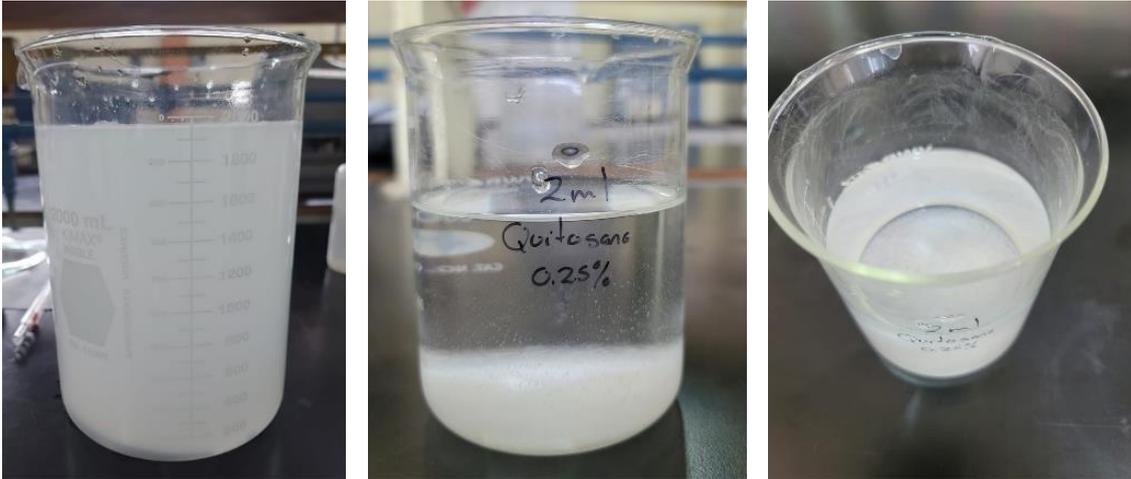


Figura 4.8 Resultados de la mejor corrida del ensayo de jarras con Quitosano 58. A la izquierda muestra madre (374.1 NTU), centro y derecha, resultado luego de dosificar (4.1 NTU).

La concentración de Quitosano 58 al 0.25% entregó los mejores resultados, según lo que puede observarse en la Tabla 4.6. Sin embargo, para determinar el comportamiento en general de cada una de las concentraciones del coagulante, los datos tabulados en las Tabla 4.5 y Tabla 4.6, pueden ser graficados, como se muestra en la Figura 4.9.

A simple vista se puede concluir que el mejor comportamiento en remoción de turbidez corresponde a la concentración de Quitosano 58 al 0.25%, según se muestra en la Figura 4.9a, en ella se muestra un comportamiento típico de una curva de coagulación. La trayectoria de la curva se muestra casi constante a lo largo de una dosificación entre 1 y 3 ml, lo que indica que este rango se trata de la dosificación óptima.

A medida se aumenta la concentración de quitosano, los resultados en la remoción de turbidez son más bajos. Sin embargo, el comportamiento en remoción de turbidez de la concentración de Quitosano 58 al 1.5%, según se muestra en Figura 4.9d, muestra resultados aceptables. En la práctica, las altas dosificaciones en los coagulantes, pueden generar problemas por su viscosidad, además de ser menos rentables en los costos de operación.

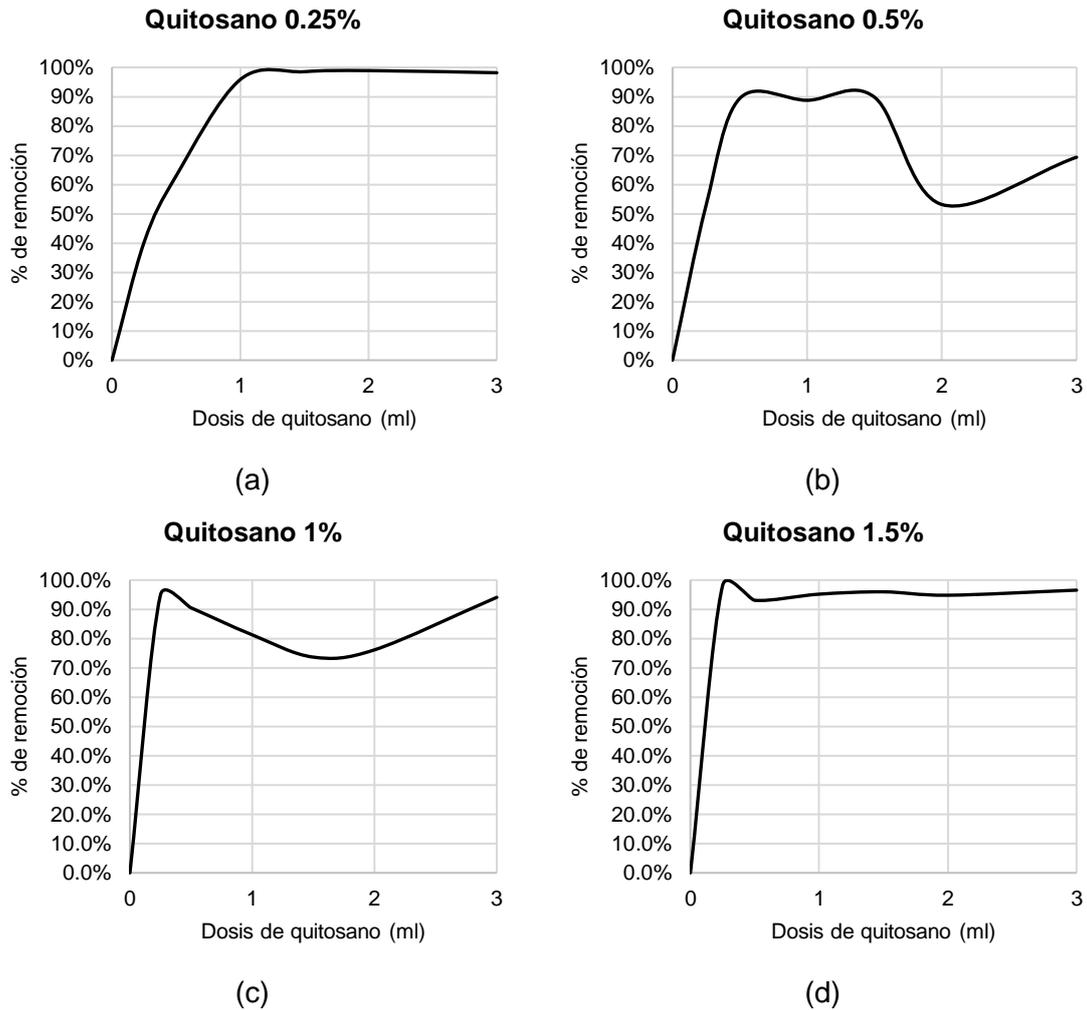


Figura 4.9 Curvas de remoción de turbidez contra dosificación de Quitosano 58

4.4.2 Pruebas de jarras en agua residual sintética con policloruro de aluminio

Se realizaron pruebas de jarras con policloruro de aluminio PAC, para comparar la efectividad de este coagulante con el coagulante a base de Quitosano 58, bajo las mismas condiciones de operación (220 rpm, 20 minutos de sedimentación, 400 ml de agua residual a las mismas condiciones), y las mismas concentraciones y dosificaciones que en el caso del Quitosano 58.

Los resultados de este ensayo se resumen en la Tabla 4.7 y Tabla 4.8.

Tabla 4.7

Resultados de las pruebas de jarras realizadas con PAC al 0.25% y al 0.50%, en función de la turbidez

Volumen (ml)	PAC al 0.25%		PAC al 0.50%	
	Turbidez (NTU)	Remoción (%)	Volumen (ml)	Turbidez (NTU)
0	374.1	0.0%	374.1	0.0%
0.25	224.0	40.1%	227.4	39.2%
0.5	224.5	40.0%	225.9	39.6%
1	217.5	41.9%	219.5	41.3%
1.5	219.0	41.5%	197.9	47.1%
2	215.0	42.5%	183.5	51.0%
3	210.8	43.7%	149.9	59.9%

Tabla 4.8

Resultados de las pruebas de jarras realizadas con PAC al 1% y al 1.5%, en función de la turbidez

Volumen (ml)	PAC al 1%		PAC al 1.5%	
	Turbidez (NTU)	Remoción (%)	Volumen (ml)	Turbidez (NTU)
0	374.1	0.0%	374.1	0.0%
0.25	220.7	41.0%	91.2	75.6%
0.5	207.2	44.6%	68.0	81.8%
1	187.5	49.9%	109.7	70.7%
1.5	173.0	53.8%	95.4	74.5%
2	146.7	60.8%	89.9	76.0%
3	115.7	69.1%	19.7	94.7%

La tendencia de los resultados de los ensayos realizados con el policloruro de aluminio, muestra que se necesita dosificar soluciones a mayor concentración, para que este sea efectivo, según puede observarse en la Tabla 4.8, en la cual el valor más bajo de turbidez de todo el ensayo es de 19.7 NTU, cuyo porcentaje de remoción corresponde a un 94.7%, para una dosis de 3 ml de policloruro de aluminio al 1.5%.

La comparación entre coagulantes se resume en la Figura 4.10, en la cual se encuentran graficados los datos recolectados en la Tabla 4.5, Tabla 4.6, Tabla 4.7 y Tabla 4.8. Si se observa, en ninguno de los casos la curva de remoción de turbidez del policloruro de aluminio supera la curva del

Quitosano 58, lo que indica que, a las mismas condiciones de concentración y dosificación, el policloruro de aluminio no es eficaz.

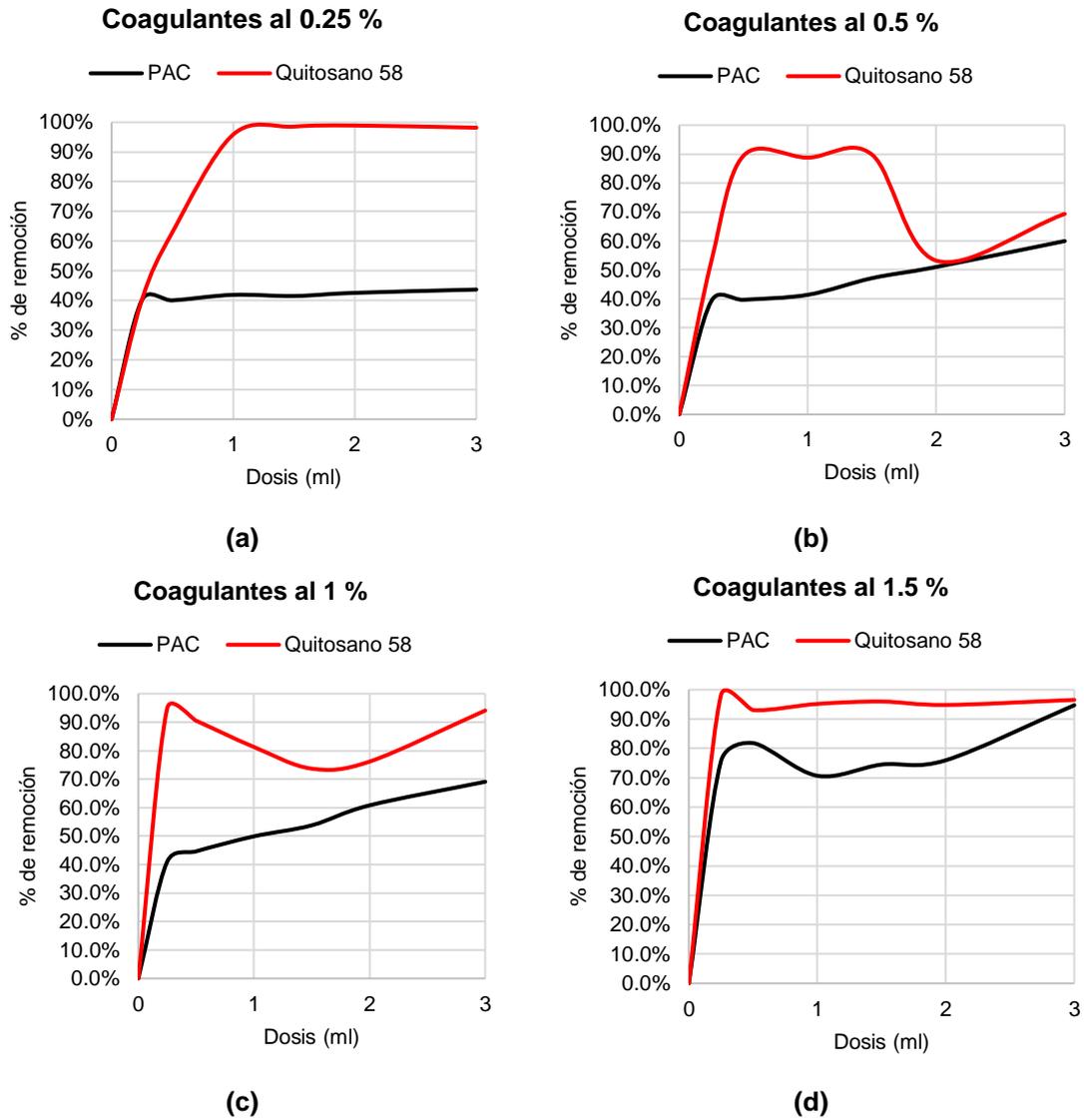


Figura 4.10 Curvas de remoción de turbidez contra dosificación, Quitosano 58 y PAC

Conclusiones

1. Se elaboró un coagulante a base de quitosano, el cual se denominó Quitosano 58, en función de su grado de desacetilación de 58%, partiendo de los desechos de camarón (exoesqueletos) provenientes de los negocios de venta de mariscos del Malecón del Puerto de La Libertad, y cuyo rendimiento fue de 7.6 g de Quitosano 58 por cada 100 g de exoesqueletos de camarón. Este resultó ser efectivo para la remoción de turbidez hasta en un 98.9% de una muestra de agua residual formulada en laboratorio con una turbidez promedio de 374.1 NTU.
2. La cantidad de desechos sólidos generados por el consumo y comercialización de camarón en la zona del Malecón del Puerto de La Libertad, es de 236.12 kg al día (520.55 lb/día). Si estos se consideraran en su totalidad para elaborar Quitosano 58, se podría sintetizar un total de 17.94 kg/día.
3. Se desarrolló una marcha de laboratorio satisfactoria para la síntesis de un coagulante a base de quitosano, en el que se detalla el procedimiento para la formulación del Quitosano 58, así como sus respectivas pruebas de eficiencia, con las cuales se demostró una efectividad superior al 90% en cuanto a remoción de la turbidez de una muestra de agua residual sintética, comparándola además contra la dosificación de policloruro de aluminio bajo las mismas condiciones.
4. Se realizaron pruebas de jarras con Quitosano 58 al 0.25%, 0.5%, 1% y 1.5% en ácido acético 0.3M, y con policloruro de aluminio a las mismas concentraciones y condiciones iniciales, en aguas residuales sintéticas formuladas en el laboratorio con los componentes típicos de un agua residual común: grasas, carbohidratos, proteínas, sales, nitrógeno, fósforo y potasio. Las pruebas se estandarizaron a una agitación de 220 rpm durante 20 min, y 20 min de sedimentación. Con estas pruebas se demostró la efectividad del quitosano para la remoción de hasta un 98.9% de turbidez, respecto al policloruro de aluminio cuyo máximo valor de remoción fue de 94.7%. El 46% de los datos

obtenidos en las pruebas de jarras del Quitosano 58 muestran un porcentaje de remoción de turbidez superior al 90%. El 4% de los valores obtenidos en las pruebas de jarras del policloruro de aluminio presentan un porcentaje de remoción de turbidez superior al 90%

5. Tras realizar el ensayo de jarras con Quitosano 58, se determinó su eficiencia con base al porcentaje de remoción de turbidez, el cual se determinó analizando la turbidez de las muestras del clarificado de cada jarra. El mejor resultado fue de 4.1 NTU, el cual representa un porcentaje de remoción del 98.1% para una turbidez inicial de 374.1 NTU. Este resultado se logró con una dosis de 2 ml de Quitosano 58 al 0.25%. Esta concentración de Quitosano 58, presenta un rango de dosificaciones (entre 1ml a 3 ml) con un promedio del 97.9%, el cual es superior al esperado normalmente en los procesos fisicoquímicos (50%). El quitosano en mayores concentraciones, muestra una baja en cuanto a la remoción de turbidez, comportamiento típico de los polímeros empleados como coagulantes, los cuales funcionan mejor a bajas concentraciones.

6. Se compararon soluciones al 0.25%, 0.5%, 1% y 1.5% del Quitosano 58 formulado, contra soluciones de policloruro de aluminio a las mismas concentraciones. Se realizaron pruebas de jarras con las soluciones de policloruro de aluminio, bajo las mismas condiciones: agitación constante a 220 rpm durante 20 min y 20 min de reposo para la sedimentación. El mejor resultado fue de 19.7 NTU con un porcentaje de remoción de 94.7% para una turbidez inicial de 374.1 NTU, correspondiente a una dosis de 3 ml de PAC al 1.5%. La mejor corrida es para la concentración de PAC al 1.5%, con lo que se muestra una tendencia en la que se necesita una mayor concentración y/o dosificación de policloruro de aluminio, comparado con la baja concentración necesaria en el caso del quitosano, cuya mejor corrida, corresponde al 0.25% de Quitosano 58.

Recomendaciones

1. El estudio sobre la síntesis de quitosano puede retomarse para determinar una metodología experimental que permita obtener un mayor grado de conversión de quitina a quitosano, tomando en cuenta parámetros como temperatura, concentración de hidróxido de sodio, y tiempo de agitación, así como su variación durante la etapa de desacetilación de la quitina, para evaluar como influyen en la misma. Para enriquecer aún más esta investigación, se sugiere considerar la caracterización del quitosano mediante técnicas de espectroscopia infrarroja (IR). Esta adición permitiría una comprensión más completa de las propiedades químicas y estructurales del quitosano.
2. La investigación sobre la eficiencia del quitosano en el agua residual puede ampliarse, una vez establecida la formulación del coagulante, con ensayos de jarras en los que se controle la influencia de parámetros como la temperatura, el pH, dureza, y en general, la naturaleza de agua residual (doméstica o industrial), en la remoción de parámetros como DQO, DBO, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, color y turbidez.
3. En el caso de retomarse la presente investigación, se podría explorar la posibilidad de reemplazar las pruebas de turbidez con mediciones de absorbancia. Este cambio podría ofrecer una evaluación más precisa y cuantitativa de los resultados, lo que fortalecería la robustez de los hallazgos y su aplicabilidad en la gestión de desechos de camarón en el Malecón del Puerto de La Libertad.
4. Se puede determinar la rentabilidad económica de la producción de quitosano, partiendo de la cantidad de desechos generados en la zona del Malecón, a través de un estudio económico que implica el diseño de una planta de producción de quitosano, con sus respectivos costos operativos y gastos de capital.

5. Para enriquecer esta investigación, Además, se podría explorar la posibilidad de reemplazar las pruebas de turbidez con mediciones de absorbancia. Este cambio podría ofrecer una evaluación más precisa y cuantitativa de los resultados, lo que fortalecería la robustez de los hallazgos y su aplicabilidad en la gestión de desechos de camarón en el Malecón del Puerto de La Libertad.

6. Considerando los valiosos hallazgos y recomendaciones resultantes de esta investigación sobre la generación de desechos de camarón en el Malecón del Puerto de La Libertad, se alienta a explorar la posibilidad de aplicar estos conocimientos en granjas de producción de camarón. Las estrategias de manejo de residuos y las prácticas sostenibles identificadas aquí podrían adaptarse y transferirse con éxito a entornos de producción de camarón, con el potencial de mejorar significativamente la eficiencia operativa y reducir el impacto ambiental en la industria acuícola. Esto abriría nuevas oportunidades para la implementación de medidas responsables en el manejo de residuos en la producción de camarón a nivel local y nacional, contribuyendo así a la sostenibilidad de esta importante industria.

Bibliografía

- Sistema de la Integración Centroamericana (SICA), S. d., y Organización del Sector Pesquero y Acuícola del Istmo (OSPESCA), O. d. (Septiembre de 2018). *Climapesca*. Obtenido de *Litopenaeus occidentalis*: <https://climapesca.org/2018/09/litopenaeus-occidentalis/>
- Adragana, C., Jurczynszyn, S., Cid, M., y Comin, R. (2018). *Impresión 3D y caracterización de andamios de colágeno extraído de piel porcina para uso biomédico*. Córdoba, España: Universidad de Córdoba. Obtenido de <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/6522>
- Agencia de Cooperación Internacional del Japón. (2002). *Estudio Sobre la Pesca Artesanal en El Salvador*. San Salvador, El Salvador.
- Aguilar, M., Sáez, J., Lloréns, M., Soler, A., y Ortuño, J. (2002). *Tratamiento fisicoquímico de aguas residuales: coagulación - floculación*. Murcia, España: Universidad de Murcia.
- Amador, J. J. (2010). *Peces, Crustáceos y Moluscos del Istmo Centroamericano*. Antiguo Cuscatlán, El Salvador: Organización del Sector Pesquero y Acuícola de Istmo (OSPESCA).
- Arias Andrade, Y. V., Veloza, L. A., y Sepúlveda Arias, J. C. (2020). Nanocompuestos de quitosano aplicados al campo de la medicina regenerativa. Una revisión sistemática. *Scientia Et Technica*, 604-615.
- Barra, A. A., Romero, A. S., y Beltramino, J. B. (2012). Obtención de quitosano. *Sitio Argentino de Producción Animal*. Obtenido de Obtención de quitosano: <https://n9.cl/quitosano>
- Calderón, M. (12 de Noviembre de 2022). Directora administrativa de CORSATUR. (V. Montti, A. Rodríguez, y C. Baños, Entrevistadores) La Libertad, El Salvador.
- CentralAmericaData. (5 de Diciembre de 2018). Camarón congelado: Exportaciones crecen 53%. Obtenido de https://www.centralamericadata.com/es/article/home/Camarn_congelado_Exportaciones_crecen_53

- Conxemar (2022). *Catálogo de especies*. Vigo, España. Obtenido de <https://conxemar.com/es/especies-comerciales-pesca>
- Colina, M., Ayala, A., Dianela, R., Molina, J., Medina, J., Yncierte, R., Monitlla, B. (Enero de 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* , 21-43. España. Obtenido de <https://n9.cl/262mva>
- Curbelo Hernández, C., Palacio Dubois, Y., y Fanego Hernández, S. (2018). DESACETILACIÓN DE QUITINA OBTENIDA POR VÍA QUÍMICA DE EXOESQUELETOS DE CAMARÓN LITOPENAEUS VANNAMEI. La Habana, Cuba: *Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”*. Obtenido de <https://n9.cl/v8en1>
- De Feo, G., De Gisi, S., & Gala, M. (2012). *Ingegneria sanitaria ambientale: Acque reflue : progettazione e gestione di impianti per il trattamento e lo smaltimento*. Palermo, Italia: Dario Flaccovio.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2009). *Penaeus vannamei* (Boone, 1931) [*Penaeidae*]. Obtenido de Cultured Aquatic Species Fact Sheets: https://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es_whitel egshrimp.htm
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2019). *El Salvador GLOBEFISH Market Profile*. Roma: FAO. Obtenido de Fisheries and Aquaculture: <https://www.fao.org/fishery/en/publications/293261>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2022). *Fishery and Aquaculture Country Profiles: El Salvador*. Obtenido de Fisheries and Aquaculture Division [online]: <https://www.fao.org/fishery/en/facp/slv?lang=es>

- Food and Agriculture Organization (FAO). (2022). Fishery and Aquaculture Statistics. *Global production by production source 1950-2020 (FishStatJ)*. Obtenido de FAO Fisheries and Aquaculture Division [online]: www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en
- Food and Agriculture Organization (FAO) e Instituto de Investigación Senckenberg. (1995). *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca*. Obtenido de Pacífico Centro-Oriental. Volumen 1. Plantas e Invertebrados: <https://decapoda.nhm.org/pdfs/38959/38959.pdf>
- Flamenco, D. A. (2012). *Guía Didáctica para Seminarios de Investigación Social*. San Salvador, El Salvador: Talleres Gráfico UCA.
- Flórez, J. M. (Enero de 2011). CLARIFICACIÓN DE AGUAS USANDO COAGULANTES POLIMERIZADOS: CASO DEL HIDROXICLORURO DE ALUMINIO. *DYNA*, 78(165), 18-27. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25636>
- Google Earth. (s.f.). [La Libertad]. Recuperado el 11 de septiembre de 2022 de https://earth.google.com/web/search/Malec%c3%b3n,+La+Liber-tad/@13.486687,-89.3186141,8.46280998a,386.2062985d,35y,-51.04830999h,44.98791189t,0r/data=CoABGIYSUAoIMHg4ZjdjZDM4NjEzYmMzMjdiOjB4OWY4ODJmZlZlOTI0ODkwZBnviuB_K_kqQCHdI5urZIRWwCoVTFsZWPDs24sIExhIExpYmVydGFkGAlgASImCiQJF4kmL3K7NEARF4kmL3K7NMAZVIAwjQLtPEAhRjvDYXFkUsA
- Hach Company. (11 de 2024). *Manual de Usuario Turbidímetro Hach*. Obtenido de <https://www.hach.com/asset-get.download.jsa?id=10510977251>.
- Holthuis, L. B. (1980). *Shrimps and prawns of the world. Vol 1. (Vol. 1)*. (F. a. (FAO), Ed.) Rome, Italy. Obtenido de FAO SPECIES CATALOGUE.
- Kumar, S., Mukherjee, A., & Dutta, J. (2020). *Chitosan based nanocomposite films and coatings: Emerging antimicrobial food packaging alternatives*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
- Kurita, K. (2006). *Chitin and Chitosan: Functional Biopolymers from Marine Crustaceans*. Tokyo, Japan.

- Lapeña, M. R. (1990). *Tratamiento de aguas residuales: Aguas de proceso y residuales*. Barcelona, España: Marcombo.
- Lara, J. L. (2011). *CARACTERIZACION Y ALTERNATIVA DE USO DE UNA PELICULA BIODEGRADABLE DE QUITOSANO A PARTIR DE LA EXTRACCION DE QUITINA DE LANGOSTINO (Pleuroncodes planipes) PARA LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS*. San Salvador, El Salvador: Universidad de El Salvador.
- López Martínez, W. A., y Espinoza Navarrete, J. J. (2005). *ESTRUCTURA POBLACIONAL Y UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y BATIMÉTRICA DE LAS ESPECIES: Farfantepenaeus californiensis, F. brevitrotris, Litopenaeus vannamei, L. Stylirostris y L. occidentalis EN LA COSTA SALVADOREÑA*. San Salvador, El Salvador: Universidad de El Salvador.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2022). *EL SALVADOR PROTEGE CAMARÓN MARINO CON VEDA NACIONAL*. Obtenido de Ministerio de Agricultura y Ganadería: <https://www.mag.gob.sv/2022/10/04/ministro-de-agricultura-anuncia-veda-de-camaron-marino/#:~:text=La%20protecci%C3%B3n%20del%20crecimiento%20y,octubre%20al%202%20de%20noviembre>.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2012). *Caracterización de la Cadena Productiva de Acuicultura (Camarón de Mar)*. San Salvador, El Salvador. Obtenido de <http://simag.mag.gob.sv/uploads/pdf/Contribuciones2014311103526.pdf>
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2007). *La Zona Costero Marina de El Salvador*. Obtenido de Dirección General de Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales: <https://www.snet.gob.sv/ver/oceanografia/oceanografia+en+el+salvador/la+zona+costero+marina+de+el+salvador/>
- Martel, A. B. (2004). Capítulo 4. Coagulación. En A. B. Martel, *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría*. (Vol. 1). Lima, Perú: Organización Panamericana de la Salud (OPS). Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/cuatro.pdf>

- Metcalf & Eddy Inc. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales* (Vol. II). Madrid, España: McGraw Hill.
- Metcalf & Eddy Inc. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización*. (Vol. I). Madrid, España: McGraw Hill.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2015). *Política Nacional de Pesca y Acuicultura 2015-2030*. Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura (CENDEPESCA). Obtenido de <https://www.mag.gob.sv/download/politica-nacional-de-pesca-y-acuicultura-ultima-version/?wpdmdl=1972&refresh=622fa8d34bcb91647290579>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (21 de Diciembre de 2021). *En busca de una genética de camarón blanco originaria de El Salvador*. Obtenido de Ministerio de Agricultura y Ganadería: <https://www.mag.gob.sv/2021/12/21/en-busca-de-una-genetica-de-camaron-blanco-originaria-de-el-salvador/>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG. (2019). *EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA PESQUERÍA DE CAMARÓN MARINO (PENAEIDAE) EN LA COSTA DE EL SALVADOR*. Santa Tecla, El Salvador. Obtenido de <https://www.mag.gob.sv/wp-content/uploads/2021/06/Informe-final-camaron-2019-pao-REV-1.pdf>
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (s.f.). *Visualizador Geográfico de Evaluación Ambiental VIGEA*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2022, de <http://mapas.marn.gob.sv/VIGEA/nepamap.aspx?wherestr=LA%20LIBERTAD&searchtype=departamentos>
- Moreno Botella, R. (2021). *Los Coloides*. Madrid, España: CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Obtenido de <https://elibro.net/es/ereader/biblioues/177352?page=77>
- Muñoz, M., Suarez, Y., e Hidalgo, C. (2008). Validación de una técnica potenciométrica para determinar el grado de acetilación de la quitosana. *ARS Pharmaceutical Journal*, 3(49), 245-257.

- Natural Poland (2021) N-acetilglucosamina, Obtenido de <https://naturalpoland.com/es/productos/productos-para-la-industria-farmaceutica-y-medica/aditivos-para-complementos-alimenticios/n-acetilglucosamina/#>
- No, H. K., & Meyers, S. P. (2000). Application of Chitosan for Treatment of Wastewaters. *Environ Contam Toxicol*, 163, 1-28. Obtenido de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4757-6429-1_1
- Oddone, N., y Beltrán T., C. (2014). *Diagnóstico de la Cadena de Camarón de Cultivo en El Salvador*. CEPAL. México D.F., México: Naciones Unidas. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36760/LCMEXL1137s_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pacheco López, N. A. (2013). *EXTRACCIÓN BIOTECNOLÓGICA DE QUITINA PARA LA PRODUCCIÓN DE QUITOSANOS: CARACTERIZACIÓN Y APLICACIÓN*. Iztapalapa, México: Universidad Autónoma Metropolitana. Obtenido de <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00807945/document>
- Paul, W., Sharma, C. P., & Pillai, C. (2009). Chitin and chitosan polymers: Chemistry, solubility and fiber formation. *Progress in Polymer Science*, 34, 641–678. Obtenido de *Progress in Polymer Science* 34: <https://n9.cl/tam87>
- Pinto, L.A.A. (2011). Quitina e Quitosana obtidas de rejeitos de pescado e aplicações no tratamento de efluentes (Capítulo 4.8 – p. 435-444). In: Gonçalves, A. A. (Ed.). *Tecnologia do pescado: ciência, tecnologia, inovação e legislação*. São Paulo: Atheneu.
- Perlera de Escalante, A. E., Pacheco de Jordán, M. J., y Calderón de Zacatares, V. R. (2017). Aprovechamiento integral del camarón de cultivo de la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, para su desarrollo industrial para su desarrollo bajo normas de calidad e inocuidad. *Producción Agropecuaria y Desarrollo Sostenible. Universidad Católica de El Salvador*, 73-85. Obtenido de <http://www.diyys.catolica.edu.sv/wp-content/uploads/2018/01/5CamaronPAyDSVol6.pdf>
- Química Alkano. (s.f.). Glucosamina sulfato. Recuperado de <http://quimicaalkano.com/product/glucosamina/>

- Rodríguez Pedroso, A. T., Bautista Baños, S., Ramírez Arrebato, M. Á., Plascencia Jatomea, M., y Hernández Ferrer, L. (2021). *Quitosano y sus derivados, polímeros naturales con potencial para controlar a Pyricularia oryzae (Cav.)*. La Habana, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.
- Rodriguez, M. A. (1979). *Historia Natural de los Camarones del Pacifico de Costa Rica*. San José, Costa Rica. Obtenido de http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual/M40-4202.pdf
- Rodríguez, Y., Oñate, H., Gutiérrez, E., y Caldera, Y. (2012). Eficiencia del quitosano como coagulante en el tratamiento de aguas asociadas a la producción de petróleo mediano. *Revista Arbitrada Venezolana*, 7(2), 218-228. Obtenido de <https://n9.cl/x7vbj>
- Romero–Serrano, A., y Pereira, J. (2020). Quitosano, un biomaterial versátil. Estado del Arte desde su obtención a sus múltiples aplicaciones. *Revista INGENIERÍA UC*, 27, 118-135. Obtenido de <https://n9.cl/dld7o>
- Taquez Bueno, L. A., y Vargas Torres, G. F. (2018). *Obtención y evaluación del quitosano a nivel de laboratorio para la depuración de aguas residuales industriales provenientes de un laboratorio cosmético*. Bogotá, Colombia: Universidad nacional Abierta y a Distancia.
- Vásquez Lara, J. L., y Vidal López, M. B. (Enero de 2011). *CARACTERIZACION Y ALTERNATIVA DE USO DE UNA PELICULA BIODEGRADABLE DE QUITOSANO A PARTIR DE LA EXTRACCION DE QUITINA DE LANGOSTINO (Pleuroncodes planipes) PARA LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS*. Obtenido de Sistema Bibliotecario Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador: <https://n9.cl/2h27r5>
- Weber Jr., W. J. (1979). *Control de la calidad del agua. Procesos fisicoquímicos*. Barcelona, España: Reverté.

Anexos

Anexo A: Resumen de datos de comercialización de camarón por tipo de camarón

A.1. Resumen de datos de comercialización de chacalín

Chacalín (lb/día)							
Correlativo de negocio	Origen		Venta		Procesamiento		
	Mar	Vivero	Crudo	Cocido	Entero	Descabezado (colita)	Pelado
1	14.3			14.3			14.3
6	500.0		500.0		500.0		
7							
15	20.0			20.0			20.0
16							
17	15.0		15.0			15.0	
20	20.0		20.0			15.0	5.0
21							
22	75.0		75.0			75.0	
23							
24	20.0		20.0			20.0	
25							
26	17.5		17.5		17.5		
27							
28							
29	10.0			10.0			10.0
30	7.0		7.0			7.0	
31							
38							
40	17.9		17.9			17.9	
42							
43	10.0			10.0			10.0
44	20.0		20.0			20.0	
45							
47	4.0		4.0			4.0	
48	3.0		3.0			3.0	
50	25.0		25.0			25.0	
51	11.0		11.0			11.0	
54	30.0		30.0			25.0	5.0
55							
56	10.0			10.0			10.0
57	10.0			10.0			10.0

Continúa..

Resumen de datos de comercialización de chacalín (continuación).

Chacalín							
Correlativo de negocio	Origen		Venta		Procesamiento		
	Mar	Vivero	Crudo	Cocido	Entero	Descabezado (colita)	Pelado
58	60.0		60.0			25.0	35.0
59							
60	60.0		60.0			60.0	
61							
64	60.0		60.0			60.0	
65							
71	9.3			9.3			9.3
80	4.0		4.0			4.0	
81							
82	14.3		14.3			14.3	
83							
TOTAL	1047.2	0.0	963.7	83.5	517.5	401.1	128.6

A.2. Resumen de datos de comercialización de camarón pequeño

Pequeño (lb/día)							
Correlativo	Origen		Venta		Procesamiento		
	Mar	Vivero	Crudo	Cocido	Entero	Descabezado (colita)	Pelado
1							
6							
7							
15							
16							
17		8.0		8.0	8.0		
20		11.0	11.0		11.0		
21							
22	15.0		15.0		15.0		
23							
24							
25							
26							
27							
28	10.0			10.0	10.0		
29							
30							
31							
38							
40		45.0	45.0		45.0		
42							

Continúa...

Resumen de datos de comercialización de camarón pequeño (continuación).

Pequeño (lb/día)							
Correlativo	Origen		Venta		Procesamiento		
	Mar	Vivero	Crudo	Cocido	Entero	Descabezado (colita)	Pelado
43							
44							
45							
47							
48							
50							
51							
54							
55							
56							
57							
58							
59							
60	50.0		50.0		50.0		
61							
64							
65							
71							
80							
81							
82							
83							
TOTAL	75.0	64.0	121.0	18.0	139.0	0.0	0.0

A.3. Resumen de datos de comercialización de camarón mediano

Mediano (lb/día)							
Correlativo	Origen		Venta		Procesamiento		
	Mar	Vivero	Crudo	Cocido	Entero	Descabezado (colita)	Pelado
1							
6							
7							
15							
16	4.0			4.0	4.0		
17	7.5		7.5		7.5		
20	15.0		15.0		15.0		
21							
22	35.0		35.0		20.0	15.0	
23							

Continúa...

Resumen de datos de comercialización de camarón mediano (continuación).

Mediano (lb/día)							
Correlativo	Origen		Venta		Procesamiento		
	Mar	Vivero	Crudo	Cocido	Entero	Descabezado (colita)	Pelado
24	10.0	10.0	20.0		20.0		
25	10.0			10.0	10.0		
26	9.5		4.5	5.0	9.5		
27							
28							
29							
30	10.2		3.5	6.7	10.1		
31							
38		7.5		7.5	7.5		
40		25.7		25.7	14.3	11.4	
42	3.5			3.5	3.5		
43							
44		20.0	20.0		20.0		
45							
47							
48	20.0		20.0		20.0		
50	20.0		20.0		20.0		
51							
54							
55							
56							
57							
58	20.0		20.0		20.0		
59							
60	40.0		40.0		40.0		
61							
64	20.0		20.0		20.0		
65							
71							
80	4.0		4.0		4.0		
81							
82	14.3		14.3		14.3		
83							
TOTAL	243.0	63.2	243.8	62.4	279.8	26.4	0.0

A.4. Resumen de datos de comercialización de camarón jumbo

Jumbo (lb/día)							
Correlativo	Origen		Venta		Procesamiento		
	Mar	Vivero	Crudo	Cocido	Entero	Descabezado (colita)	Pelado
1							
6							
7							
15							
16							
17	5.0		5.0		5.0		
20	10.0		10.0		10.0		
21							
22	10.0		10.0		10.0		
23							
24	10.0		10.0		10.0		
25							
26	25.5		25.5		25.5		
27							
28							
29							
30	5.0		5.0		5.0		
31							
38							
40	14.3		14.3		14.3		
42							
43							
44							
45							
47	5.0	5.8	10.8		10.8		
48	7.0	3.0	10.0		10.0		
50	20.0		20.0		20.0		
51							
54	30.0	7.1	37.1		37.1		
55							
56							
57							
58	25.0		25.0		25.0		
59							
60	40.0		40.0		40.0		
61							
64	20.0		20.0		20.0		
65							
71							

Continúa...

Resumen de datos de comercialización de camarón jumbo (continuación).

Jumbo (lb/día)							
Correlativo	Origen		Venta		Procesamiento		
	Mar	Vivero	Crudo	Cocido	Entero	Descabezado (colita)	Pelado
80	11.0		11.0		11.0		
81							
82	11.4		11.4		11.4		
83							
TOTAL	249.2	15.9	265.2	0.0	265.2	0.0	0.0

Anexo B: Resumen de datos de la caracterización potenciométrica del quitosano.

B.1. Titulación potenciométrica ácido - base y sus respectivos cálculos para determinación de los puntos de inflexión, de la primera corrida experimental de síntesis de quitosano

No	Volumen V (ml)	pH	ΔV	$\Delta pH/\Delta V$
1	0	2.13	-	-
2	1	2.36	0.5	0.23
3	2	2.72	1.5	0.36
4	3	3.52	2.5	0.80
5	4	5.50	3.5	1.98
6	5	6.10	4.5	0.60
7	6	6.45	5.5	0.35
8	7	6.90	6.5	0.45
9	8	8.32	7.5	1.42
10	9	9.30	8.5	0.98
11	10	9.83	9.5	0.53
12	11	10.37	10.5	0.54
13	12	11.15	11.5	0.78
14	13	11.74	12.5	0.59
15	14	12.06	13.5	0.32
16	15	12.24	14.5	0.18
17	16	12.34	15.5	0.10
18	17	12.47	16.5	0.13
19	18	12.52	17.5	0.05
20	19	12.59	18.5	0.07

B.2. Titulación potenciométrica ácido - base y sus respectivos cálculos para determinación de los puntos de inflexión, de la segunda corrida experimental de síntesis de quitosano

No	V NaOH (ml)	pH	ΔV	$\Delta pH/\Delta V$
1	0	1.71	-	-
2	1	1.77	0.5	0.06
3	2	1.81	1.5	0.04
4	3	1.83	2.5	0.02
5	4	1.84	3.5	0.01
6	5	1.90	4.5	0.06
7	6	1.92	5.5	0.02
8	7	1.95	6.5	0.03
9	8	2.19	7.5	0.24
10	9	2.29	8.5	0.10
11	10	2.31	9.5	0.02
12	11	2.46	10.5	0.15
13	12	2.61	11.5	0.15
14	13	2.62	12.5	0.01
15	14	3.18	13.5	0.56
16	15	4.49	14.5	1.31
17	16	4.91	15.5	0.42
18	17	5.65	16.5	0.74
19	18	5.92	17.5	0.27
20	19	6.10	18.5	0.18
21	20	6.21	19.5	0.11
22	21	6.35	20.5	0.14
23	22	6.45	21.5	0.10
24	23	6.51	22.5	0.06
25	24	6.62	23.5	0.11
26	25	6.70	24.5	0.08
27	26	6.81	25.5	0.11
28	27	7.23	26.5	0.42
29	28	7.33	27.5	0.10
30	29	7.34	28.5	0.01
31	30	7.45	29.5	0.11
32	31	8.45	30.5	1.00
33	32	9.45	31.5	1.00
34	33	10.63	32.5	1.18
35	34	11.08	33.5	0.45
36	35	11.34	34.5	0.26
37	36	11.46	35.5	0.12
38	37	11.63	36.5	0.17
39	38	11.73	37.5	0.10

Continúa...

Titulación potenciométrica ácido - base y sus respectivos cálculos para determinación de los puntos de inflexión, de la segunda corrida experimental de síntesis de quitosano (continuación).

No	V NaOH (ml)	pH	ΔV	$\Delta pH/\Delta V$
40	39	11.81	38.5	0.08
41	40	11.89	39.5	0.08
42	41	12.03	40.5	0.14
43	42	12.08	41.5	0.05
44	43	12.13	42.5	0.05
45	44	12.18	43.5	0.05
46	45	12.22	44.5	0.04
47	46	12.25	45.5	0.03
48	47	12.26	46.5	0.01
49	48	12.30	47.5	0.04
50	49	12.32	48.5	0.02
51	50	12.34	49.5	0.02

Anexo C: Modelos de fichas y formularios.

C.1. Formulario de encuestas para negocios de venta de camarón.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA E INGENIERIA DE ALIMENTOS
ENCUESTA PARA COMERCIANTES DE CAMARÓN EN EL MALECÓN

Correlativo de negocio: _____ Fecha: _____

Alcance: El presente instrumento tiene como objetivo principal, para recolección de datos para determinar la cantidad de desechos que se producen por la comercialización de camarón en El Malecón.

Indicaciones: responda según la opción que se presentan en la cada numeral.

1. ¿En este puesto se vende camarón?

Sí No

Si en la pregunta anterior la respuesta fue "Sí", continuar con la entrevista, con las siguientes preguntas:

2. ¿Qué tipos de camarón comercializa?

3. ¿Cuánta cantidad comercializa de cada uno en un tiempo definido (días, semanas o como estime conveniente)?

C.2. Formato de control para determinación de remoción de turbidez y evaluación de dosis óptima en pruebas de jarras de quitosano.

Fe- cha	CONTROL DE PRUEBAS DE JARRAS							PARÁMETRO: TURBIDEZ		
Co- rrida	[] Quito- sano (% p/v)	V. jarra (ml)	pH	Turbidez (NTU)	N° de jarra	Dosis (ml)	rpm	t agitación (s)	Tiempo de se- dimentación	Turbidez clarifi- cado/filtrado (NTU)

C.3. Formato de control de pruebas de jarras para comparación de eficiencia del quitosano contra PAC

Fe- cha	CONTROL DE PRUEBAS DE JARRAS							PARÁMETRO: TURBIDEZ		
Co- rrida	[] PAC (% p/v)	V. jarra (ml)	pH	Turbidez (NTU)	N° de jarra	Dosis (ml)	rpm	t agitación (min)	Tiempo de se- dimentación (min)	Turbidez clarifi- cado/filtrado (NTU)

Anexo D: Límites Permisibles de Parámetros de Básicos de Calidad de Agua Residuales de Tipo Especial Vertidos a Medio Receptor

Actividad	DQO (mg/L)	DQO (mg/L)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Aceites y Grasas (mg/L)	Potencial de hidrógeno (pH)	Temperatura (°C)
Procesamiento de productos avícolas e incubación de aves	600	300	150	50	6.0 - 9.0	20 - 35
Matanza de ganado, preparación y conservación de carnes	400	200	125	50	6.0 - 9.0	20 - 35
Procesamiento de mariscos y sus derivados	500	250	250	100	6.0 - 9.0	20 - 35
Procesamiento del atún y sus derivados	1 300	400	250	30	6.0 - 9.0	20 - 35
Porcicultura	1 200	500	500	50	6.0 - 9.0	20 - 35
Producción agropecuaria	600	300	150	50	6.0 - 9.0	20 - 35
Productos de molinería	400	200	200	50	6.0 - 9.0	20 - 35
Beneficiado de café	1 600	800	600	30	6.0 - 9.0	20 - 35
Fabricación de productos de panadería	300	200	200	50	6.0 - 9.0	20 - 35
Fábricas y refinerías de azúcar	500	300	150	30	6.0 - 9.0	20 - 35
Fabricación de chocolate y artículos de confitería, procesamiento de cacao	400	250	150	50	6.0 - 9.0	20 - 35

Continúa....

Límites Permisibles de Parámetros de Básicos de Calidad de Agua Residuales de Tipo Especial Vertidos a Medio Receptor (continuación).

Actividad	DQO (mg/L)	DQO (mg/L)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Aceites y Grasas (mg/L)	Potencial de hidrógeno (pH)	Temperatura (°C)
Elaboración de alimentos preparados para animales	250	60	100	50	6.0 - 9.0	20 - 35
Extracciones de aceites y grasas	700	400	150	100	6.0 - 9.0	20 - 35
Refinadora de aceites y grasas	300	300	100	100	6.0 - 9.0	20 - 35
Fabricación de productos lácteos	700	350	250	50	6.0 - 9.0	20 - 35
Envasado y conservación de frutas y legumbres, incluyendo la elaboración de jugos	400	150	150	30	6.0 - 9.0	20 - 35
Elaboración de productos alimenticios diversos	400	150	150	30	6.0 - 9.0	20 - 35
Destilación, rectificación y mezcla de bebidas espirituosas	1 500	800	800	20	6.0 - 9.0	20 - 35
Bebidas malteadas y de malta	500	150 0	100	30	6.0 - 9.0	20 - 35
Industrias de bebidas no alcohólicas y aguas gaseosas	300	150	100	30	6.0 - 9.0	20 - 35
Industrias básicas de metales no ferrosos	200	60	50	30	6.0 - 9.0	20 - 35

Continúa...

Límites Permisibles de Parámetros de Básicos de Calidad de Agua Residuales de Tipo Especial Vertidos a Medio Receptor (continuación).

Actividad	DQO (mg/L)	DQO (mg/L)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Aceites y Grasas (mg/L)	Potencial de hidrógeno (pH)	Temperatura (°C)
Fabricación de vidrio y productos de vidrio	100	60	50	40	6.0 - 9.0	20 - 35
Fabricación de agroquímicos	180	60	50	30	6.0 - 9.0	20 - 35
Fabricación de pinturas, barnices y lacas	300	100	100	30	6.0 - 9.0	20 - 35
Fabricación de productos farmacéuticos y medicamentos	300	100	100	30	6.0 - 9.0	20 - 35
Fabricación de jabones y preparados de limpieza, perfumes, cosméticos y otros productos de tocador	300	150	150	40	6.0 - 9.0	20 - 35
Refinación o fabricación de productos diversos derivados del petróleo y del carbón	300	150	150	30	6.0 - 9.0	20 - 35
Fabricación o procesamiento de productos plásticos	100	50	60	30	6.0 - 9.0	20 - 35
Curtidurías y talleres de acabado	700	400	150	30	6.0 - 9.0	20 - 35
Fabricación de pulpa de madera, papel y cartón	350	200	200	20	6.0 - 9.0	20 - 35
Hilados, tejidos y acabados textiles	400	200	150	30	6.0 - 9.0	20 - 35

Continúa...

Límites Permisibles de Parámetros de Básicos de Calidad de Agua Residuales de Tipo Especial Vertidos a Medio Receptor (continuación).

Actividad	DQO (mg/L)	DQO (mg/L)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Aceites y Grasas (mg/L)	Potencial de hidrógeno (pH)	Temperatura (°C)
Servicios hospitalarios, clínicas médicas y otros centros de atención en salud humana y animal y laboratorios clínicos	200	100	100	20	6.0 - 9.0	20 - 35
Rellenos sanitarios y otras instalaciones de manejo de desechos	800	400	400	20	6.0 - 9.0	20 - 35
Generadores térmicos que queman hidrocarburos	400	200	150	50	6.0 - 9.0	20 - 35
Fabricación de componentes electrónicos	1 000	400	400	50	6.0 - 9.0	20 - 35

Tomado de Reglamento Técnico Salvadoreño de Agua. Aguas Residuales. Parámetros de Calidad de Aguas Residuales para Descarga y Manejo de Lodos Residuales