UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APLICACIÓN DE UN BIOPOLÍMERO EXTRAÍDO DE RESIDUOS DE CANGREJO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS POR PETRÓLEO, UCAYALI 2024

Tesis para optar el título profesional

INGENIERO AMBIENTAL

GENESIS OMAR SANCHEZ FERNANDEZ

Pucallpa, Perú

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL
COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
N° 259/2026-CGyT-UNU.

En la ciudad de Pucallpa, siendo a las 13:00 horas del día Viernes 29 de Enero del 2026, de acuerdo con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en forma presencial en el Laboratorio Microbiología y Parasitología del Pabellon IV, siendo designados con Memo Múltiple N° 006-2026-UNU-FCFyA-CGyT, Conformado por:

Dr. Roly Baldoceda Astete	Presidente
Dr. Mack Heny Pinchi Ramírez	Miembro
Mg. Letty Leonor Sandoval Mendoza	Miembro

Se procedió a la evaluación de sustentación de la tesis denominado: **"APLICACIÓN DE UN BIOPOLÍMERO EXTRAÍDO DE RESIDUOS DE CANGREJO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS POR PETRÓLEO, UCAYALI 2024"**, Presentado por el Bach. Genesis Omar Sánchez Fernández, asesorado por la M.Sc. Jenny Paola Zeña Rubio. Finalizada la sustentación por el bachiller, se procedió a la formulación de preguntas por parte del jurado evaluador las cuales fueron absueltas por el sustentante, en consecuencia, la tesis fue **APROBADA** por **UNANIMIDAD** y recomendación de publicación, quedando expedito por otorgamiento del **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL,** siendo las 14:00 horas del mismo día, se da por culminado el acto académico, firmado los jurados en señal de conformidad.

Dr. Roly Baldoceda Astete
Presidente

Dr. Mack Heny Pinchi Ramírez
Miembro

Mg. Letty Leonor Sandoval Mendoza
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN

En esta tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito parcial para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Dr. Roly Baldoceda Astete
Presidente

Dr. Mack Heny Pinchi Ramírez
Miembro

Msc. Letty Leonor Sandoval Mendoza
Miembro

Msc. Jenny Paola Zeña Rubio
Asesora

Bach. Genesis Omar Sánchez Fernández
Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Nº V/540-2025.

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que el trabajo académico de investigación, titulado:

"APLICACIÓN DE UN BIOPOLÍMERO EXTRAÍDO DE RESIDUOS DE CANGREJO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS POR PETRÓLEO, UCAYALI, 2024"

Autor(es)	:	SANCHEZ FERNANDEZ, GENESIS OMAR
Facultad	:	CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
Escuela	:	ING. AMBIENTAL
Asesor(a)	:	M.Sc. ZEÑA RUBIO JENNY PAOLA

Presenta un **porcentaje de similitud de 10%**, verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO,

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que todo trabajo de investigación no debe superar el 10%. **En tal sentido, se declara, que el presente trabajo de investigación presenta un porcentaje aceptable de similitud,** procediéndose a emitir la presente Constancia de Originalidad de Trabajo de Investigación (COTI) a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 30/09/2025

Dr. JOSÉ MANUEL CARDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, Gerwis Omar Sanchez Fernandez

Autor de la tesis titulada : "Aplicación de un biopolímero extraído de residuos de cangrejo para el tratamiento de aguas contaminados por petróleo, Ucayali 2024"

Sustentada el año 2026

Asesor(a): M.sc. Jenny Paola Zeña Rubio

Facultad: Ciencias Forestales y Ambientales

Escuela Profesional: Ingeniería Ambiental

Autorizo la publicación:

PARCIAL ☐ TOTAL ☒

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 17/02/2026

Email: fernandez@gmail.com Firma:

Teléfono: 976554962 DNI: 74254425

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico

A mis padres, Manuela Fernández Barboza y Carlos Antonio Costa Valdez por sus apoyo incondicional y consejos, por siempre estar conmigo en las buenas y las malas, por ser ejemplos que con ganas y dedicación podemos lograr lo que nos proponemos en la vida, por enseñarme a no rendirme y dar la motivación moral cuando muchas veces pensaba en rendirme, porque fueron las personas que siempre creyeron en mí, por brindarme todo su apoyo durante esta etapa de mi vida.

Se la dedico a mis hermanos Gala y Renato quienes me motivaron a poder ser un ejemplo para ellos a demostrar que si yo pude ellos también lo lograran.

Asimismo, se la dedico a mi abuelo Alberto que está en el cielo, por siempre motivarme mucho antes de empezar la carrera universitaria, sé que estará muy orgulloso de mi allá en el cielo, me hubiera gustado que pueda verme realizado como profesional, un abrazo al cielo abuelo agradecerte por los consejos brindados por esas charlas que al día de hoy extraño mucho, hay un dicho que dice no se muere quien se va solo se muere quien se olvida y créeme abuelito que para mí eres inolvidable.

Por último, se la dedico a mi compañera de vida Cecy Andrea, gracias por ayudarme a ser una mejor persona, la vida te puso en mi camino y no puedo estar más agradecido con dios por eso, gracias por la ayuda brindada en esta etapa universitaria, te estaré eternamente agradecido

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la fortaleza brindada, a mi familia por su apoyo incondicional durante todo este proceso, a mis docentes por su guía académica, a mi asesora la Ing. Jenny Zeña Paola Rubio por su orientación constante, y a la Universidad Nacional de Ucayali que hizo posible la ejecución de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL viii

ÍNDICE DE TABLAS x

ÍNDICE DE FIGURAS xi

RESUMEN xiii

ABSTRACT xiv

INTRODUCCIÓN xv

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 18

1.1. Descripción del problema 20

1.2. Formulación del problema 20

1.3. Objetivos de la investigación 20

CAPITULIO II MARCO TEÓRICO 22

2.1. Antecedentes del problema 22

2.1.1. Antecedentes Internacionales 22

2.1.2. Antecedentes Nacionales 26

2.1.3. Antecedentes Locales 28

2.2. Bases teóricas 28

2.3. Definición de términos básicos 42

CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 44

3.1.1. Tipo de la investigación 44

3.1.2. Nivel de la investigación 44

3.1.3. Diseño de la investigación..... 44

3.2. Ubicación del área experimental 45

3.3. Población y muestra..... 45

3.3.1. Población 45

3.3.2. Muestra..... 46

3.3.3. Técnicas e instrumento de recolección de datos..... 47

3.4. Tratamiento de datos 61

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... 62

4.1. Eficiencia del biopolímero extraído de residuos de cangrejo para el tratamiento de aguas contaminadas por petróleo 62

4.2. Efecto de la granulometría del biopolímero en la floculación del petróleo 65

4.3. Evaluación del tipo de flotabilidad que genera el biopolímero en acción con el petróleo 67

4.4. Evaluar la dosis óptima de acción del biopolímero en la floculación del petróleo. 68

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 74

5.1 Conclusiones..... 74

5.2 Recomendaciones..... 75

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores proximales del cangrejo *Platyxanthus* 37

Tabla 2 Valores de ácidos grasos del cangrejo *Platyxanthus*..... 38

Tabla 3 Valores de Minerales del cangrejo *Platyxanthus* 39

Tabla 4 Matriz experimental de los tratamientos 46

Tabla 6 Análisis de Varianza y Agrupación de Tukey según la eficiencia de los tratamientos del biopolímero de cangrejo..... 63

Tabla 7 Análisis de Varianza y Agrupación de Tukey según la eficiencia de reducción de petróleo de los tratamientos del biopolímero de cangrejo según la granulometría..... 66

Tabla 8 Análisis de Varianza y Agrupación de Tukey de en la eficiencia de reducción de petróleo de los tratamientos del biopolímero de cangrejo según la dosis. 69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Cadena de valor del petróleo y sus derivados 30

Figura 2 Estructura de la quitina y el quitosano 32

Figura 3 Agregación y la estabilización 34

Figura 4 Floculante se adsorbe en los floculos submicrónicos y facilita la reducción. Macroflóculos visiblemente en suspensión 35

Figura 5 Morfología de un cangrejo Vista dorsal del cefalotórax de Platyxanthus 36

Figura 6 Morfología de un cangrejo 37

Figura 7 Mapa de pesca y captura del cangrejo *Platyxanthus*..... 41

Figura 8 Lavado del residuo de exoesqueleto de cangrejo..... 50

Figura 9 Secado del material del residuo del exoesqueleto de cangrejo 50

Figura 10 Molienda de residuos de exoesqueleto de cangrejo 51

Figura 11 Formula para la determinación de aceites y grasas. 52

Figura 12 Proceso químico de obtención de quitina y quitosano utilizando etapas sucesivas. 53

Figura 13 Pesaje de materia prima el exoesqueleto procesado de cangrejo (molido) 53

Figura 14 Preparación de solución de Hidróxido de Sodio a diferentes concentraciones para la alcalinización 54

Figura 15 Agregado de solución alcalina al polvo de exoesqueleto de cangrejo molido..... 54

Figura 16 Sedimentado, lavado y filtrado de polvo de exoesqueleto de cangrejo luego de la alcalinización 55

Figura 17 Acidificación de polvo de exoesqueleto de cangrejo 55

Figura 18 Aplicación de calor al exoesqueleto de cangrejo 56
Figura 19 Lavado y filtrado final del polvo de exoesqueleto de cangrejo 56
Figura 20 Secado final de biopolímero obtenido de exoesqueleto de cangrejo 57
Figura 21 Identificación de tipo de floculo..... 57
Figura 22 Agregando el HTP para la simulación 58
Figura 23 Agregado del biopolímero de cangrejo en el agua contaminada con HTP 58
Figura 24 Observando la formación y forma de los flóculos generados por el biopolímero..... 59
Figura 25 Flóculos formados durante las pruebas experimentales de biopolímero..... 59
Figura 26 Comparación de resultados de análisis químico que quitosano químicamente puro, quitosano comercial y el biopolímero de cangrejo..... 60
Figura 27 Eficiencia del biopolímero extraído de residuos de cangrejo para el tratamiento de aguas contaminadas por petróleo..... 62
Figura 28 El efecto de la granulometría del biopolímero en la eficiencia de reducción de petróleo 65
Figura 29 Tipo de flotabilidad que genera el biopolímero en acción con el petróleo 67
Figura 30 Dosis de biopolímero en la eficiencia de reducción de petróleo ... 68

RESUMEN

El presente estudio busca evaluar la aplicación de un biopolímero extraído de residuos de cangrejo para el tratamiento de aguas contaminadas por petróleo, Ucayali, 2024. Para esto se utilizó los residuos de cangrejo para la obtención del biopolímero, que mediante un proceso químico se extrae el quitosano, pasando por un procesamiento de la materia prima, un secado, molienda, tamizaje, alcalinizado, acidificado y descatolizado, se aplicaron diferentes dosis de este biopolímero al agua contaminado de Petróleo. Los resultados obtenidos indica que la dosis óptima de acción del biopolímero en la floculación del petróleo es de 1 gr de Biopolímero por cada ml de petróleo con una eficiencia media de 71.8%, así mismo se determinó que el genera floculos flotables en tratamientos con granulometría menor a 1mm y según aumenta la granulometría se reduce la flotabilidad de estos. Se concluye que la aplicación de un biopolímero extraído de residuos de cangrejo con granulometría de 0.1 mm con una dosis de 1 gr/ ml HTP presenta una eficiencia promedio del 84% para el tratamiento de aguas contaminadas por petróleo.

Palabras clave: Floculante, petróleo, residuos, cangrejo, tratamientos.

ABSTRACT

This project seeks to evaluate the application of a biopolymer extracted from crab waste for the treatment of water contaminated by oil, Ucayali, 2024. For this, crab waste was used to obtain the biopolymer, which through a chemical process the chitosan is extracted, going through a processing of the raw material, drying, grinding, sieving, alkalized, acidified and decatholized, different doses of this biopolymer were applied to the water contaminated with oil. The results obtained indicate that the optimal dose of action of the biopolymer in the flocculation of oil is 1 gr of Biopolymer per ml of oil with an average efficiency of 71.8%, likewise it was determined that it generates floatable flocs in treatments with granulometry less than 1mm and as the granulometry increases, the floatability of these is reduced. It is concluded that the application of a biopolymer extracted from crab waste with a granulometry of 0.1 mm with a dose of 1 g/ml HTP presents an average efficiency of 84% for the treatment of water contaminated by oil.

Keywords: Flocculant, Oil, Waste, Crab, Treatments.

INTRODUCCIÓN

Las grandes industrias utilizan intensivamente hidrocarburos derivados del petróleo, cuya manipulación, transporte y almacenamiento generan frecuentemente derrames que constituyen una de las principales fuentes de contaminación ambiental, afectando agua, aire y suelo, además de provocar graves impactos en la biodiversidad, la salud y la economía de las comunidades (Pérez y otros., 2019; Serrano y otros., 2013). Un caso emblemático ocurrió el 15 de enero de 2022 en Ventanilla, donde un derrame de crudo durante operaciones en la Refinería La Pampilla contaminó gravemente el mar (MINAM, 2022). En la Amazonía peruana, la actividad petrolera desde la década de 1920, especialmente en el Lote 192, ha generado múltiples derrames que han afectado a comunidades ribereñas, como el ocurrido en el año 2000 cerca de San José de Saramuro. A ello se suma el impacto de residuos industriales, como los derivados del procesamiento de crustáceos. Las medidas de respuesta actuales, basadas en métodos físicos de absorción, suelen ser insuficientes, dejando residuos persistentes de hidrocarburos.

El Capítulo I aborda la problemática derivada del uso intensivo de hidrocarburos por parte de las grandes industrias, cuyos derrames generan severa contaminación del agua, suelo y aire, además de pérdida de biodiversidad y afectación a la salud humana. Estos eventos ocurren principalmente durante las etapas de producción, transporte y almacenamiento del crudo. Un caso emblemático fue el derrame ocurrido el 15 de enero de 2022 en Ventanilla, que ocasionó un grave daño ambiental marino. En la Amazonía peruana, los derrames históricos en el Lote 192 han

afectado por décadas a comunidades indígenas. Asimismo, el inadecuado manejo de residuos industriales y las limitadas respuestas de remediación agravan la persistencia del impacto contaminante.

El Capítulo II desarrolla el marco teórico sobre el tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos mediante biopolímeros, destacando especialmente el uso del quitosano. A nivel internacional, investigaciones con celdas de flotación tipo Jameson y quitosano derivado de camarones han logrado eficiencias de remoción superiores al 90%. En el ámbito nacional, estudios en Ucayali reportan remociones de hasta 96% usando biopolímeros de camarón de río y hasta 98% mediante coagulantes naturales. También se analiza el empleo de bagazo de quinua como adsorbente. Además, se abordan fundamentos del petróleo, sus impactos ambientales y la importancia ecológica y comercial de los cangrejos como fuente de biopolímeros.

El Capítulo III describe la metodología empleada para evaluar la eficiencia de un biopolímero derivado del exoesqueleto de cangrejo como floculante en la remoción de petróleo en agua. La investigación fue aplicada, experimental, con diseño completamente al azar (DCA), enfoque cuantitativo y temporalidad transversal, desarrollada en el laboratorio de química de la Universidad Nacional de Ucayali. Se trabajó con 60 unidades experimentales, variando tipo de floculante, granulometría y dosis, incluyendo controles. El biopolímero fue obtenido por desacetilación y caracterizado por FTIR. La remoción se evaluó mediante Soxhlet, y los datos fueron analizados con ANOVA y prueba de Tukey.

En el Capítulo IV se describen los resultados de la investigación y se discute con otros autores e investigaciones, así mismo en el Capítulo V se presentan las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

Las grandes industrias han utilizado de manera excesiva los hidrocarburos derivados del petróleo. Su manipulación, transporte y distribución conllevan frecuentemente derrames, los cuales representan una de las principales fuentes de contaminación ambiental, afectando el agua, el aire, el suelo y contribuyendo a la pérdida de biodiversidad. Estas situaciones generan impactos negativos en los aspectos sociales, económicos y de salud de comunidades, especialmente aquellas dedicadas a la ganadería, ya que los compuestos presentes en los hidrocarburos poseen características tóxicas, y muchos de ellos son mutagénicos y cancerígenos (Pérez y otros., 2019).

Los derrames accidentales de sustancias químicas son una amenaza constante derivada del crecimiento económico y social. En particular, los hidrocarburos suelen derramarse durante las etapas de extracción, transporte, comercialización y almacenamiento en centros de acopio y distribución (Serrano y otros., 2013).

Al mirar al pasado, los derrames de petróleo evocan imágenes trágicas de contaminación, muerte y destrucción. Un ejemplo reciente ocurrió el 15 de enero de 2022, cuando las aguas del mar de Ventanilla, en Lima, Perú, se contaminaron gravemente a causa de un derrame de crudo. Este incidente sucedió mientras el buque Mare Dorium, de bandera italiana, realizaba operaciones de carga y descarga en el terminal de boyas N° 2 de la Refinería La

Pampilla, en la provincia constitucional del Callao (Ministerio del Ambiente, 2022).

En cuanto a la cuenca amazónica baja, la actividad petrolera comenzó en la década de 1920, intensificándose a fines de los años 60 tras el hallazgo del Lote 1AB actualmente denominado Lote 192 por Petroperú en el distrito de Trompeteros, dentro de la cuenca del río Corrientes. Durante más de cuatro décadas de explotación en los lotes 192 y 8, se han registrado múltiples incidentes que han perjudicado a las comunidades ribereñas. Por ejemplo, en el año 2000, cerca de San José de Saramuro, se derramaron aproximadamente 5,000 barriles de petróleo debido al hundimiento de una barcaza, lo que llevó a las comunidades nativas a organizarse en asociaciones y federaciones para defender su territorio (Okamoto Mendoza, 2011).

Como en el caso de otros productos alimenticios, la industrialización de crustáceos también genera una gran cantidad de residuos. Si estos no son tratados adecuadamente, representan un grave riesgo ambiental (AQUA, 2006).

En la Amazonía peruana, una preocupación constante gira en torno al riesgo de derrames masivos de petróleo que puedan afectar sus ecosistemas: ríos, suelos, vegetación y fauna. Frente a estos eventos, las respuestas de emergencia son cruciales. Sin embargo, la mayoría de estas medidas son físicas y se centran en la absorción del crudo mediante diversos materiales, que en muchas ocasiones resultan ineficientes, ya que no logran una limpieza total y suelen quedar residuos de hidrocarburos. Además, estos materiales pueden saturarse fácilmente con agua o tierra.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

- ¿Es factible la aplicación de un biopolímero extraído de residuos de cangrejo para el tratamiento de aguas contaminadas por petróleo, Ucayali, 2024?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es el efecto de la granulometría del biopolímero en la floculación del petróleo?
- ¿Cuál es el tipo de flotabilidad que genera el biopolímero en acción con el petróleo?
- ¿Cuál es la dosis óptima de acción del biopolímero en la floculación del petróleo?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo General

- Aplicar un biopolímero extraído de residuos de cangrejo para el tratamiento de aguas contaminadas por petróleo, Ucayali, 2024.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el efecto de la granulometría del biopolímero en la floculación del petróleo.
- Evaluar el tipo de flotabilidad que genera el biopolímero en acción con el petróleo.
- Evaluar la dosis óptima de acción del biopolímero en la floculación del petróleo.

CAPITULIO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Yang y otros (2024), estudiaron el reciclaje de desechos de caparazón de cangrejo en biocarbón para el tratamiento de efluentes de plantas de aceite de palma mediante pirólisis y activación por microonda. En este estudio, se examinó la pirólisis por microondas de CSW utilizando técnicas de autopurga, vacío y activación por vapor para determinar el rendimiento de la producción de biocarbón y su desempeño en el tratamiento de efluentes de molinos de aceite de palma (POME). El biocarbón producido mediante pirólisis por microondas exhibe rendimientos que oscilan entre el 50 y el 61 % en peso, mostrando una textura dura, bajo contenido de materia volátil (≤34,1 %) y alto contenido de carbono fijo (≥58,3 %). El biocarbón activado con KOH demostró un área superficial de hasta 177 m 2 /g que está compuesta predominantemente de mesoporos , lo que proporciona una buena cantidad de sitios de adsorción para su uso como adsorbente. El biocarbón activado con vapor eliminó 8,3 mg/g de DBO y 42 mg/g de DQO del POME. Los resultados demuestran que la pirólisis por microondas de CSW es una tecnología prometedora para producir biocarbón de alta calidad como adsorbente para el tratamiento del POME.

Balakrishnan y otros (2023), analizaron las perlas a base de quitosano para el tratamiento de aguas residuales, centrándonos en los mecanismos de adsorción, la eliminación de contaminantes, la funcionalización, las estructuras

organometálicas, las perlas magnéticas, las perlas impresas y copoliméricas, y la regeneración. Descubrimos que las perlas de quitosano/Fe-hidroxiapatita presentan una capacidad de adsorción de 1385 mg/g para la eliminación de plomo. Las perlas magnéticas impresas de quitosano muestran una reutilización de 15 ciclos para la eliminación de níquel.

Rahman y otros (2023), en su estudio Quitosano modificado a base de camarones como adsorbente emergente que elimina metales pesados (cromo, níquel, arsénico y cobalto) del agua contaminada. La adsorción más alta de arsénico, níquel y cobalto fue de 98.50, 74.50 y 47.82%, respectivamente, a pH neutro, mientras que la adsorción más alta de cromo fue de 97.40% a pH 3. Correspondientemente, se observó que las capacidades máximas de adsorción de MSS para As, Cr, Ni y Co fueron 15.92, 20.37, 7.00 y 6.27 mg/g, respectivamente. La aplicación de los modelos de isotermas de Langmuir y Freundlich reveló que los procesos de adsorción para los metales pesados fueron estadísticamente significativos ($r^2 > 0.98$). Los estudios cinéticos de adsorción de metales, utilizando caparazones de camarón modificados, fueron bien explicados por el modelo cinético de pseudo-segundo orden con coeficientes lineales (r^2) de >0.97. Esta notable capacidad de adsorción sugiere que el MSS podría servir como un adsorbente prometedor, ecológico y económico para la eliminación de metales pesados tóxicos, como Cr, Ni, As y Co, y puede utilizarse en numerosas aplicaciones a gran escala para la depuración de aguas residuales.

Benettayeb y otros (2023), la investigación sobre nanopartículas de quitosano se revisa críticamente comparando varios métodos para su síntesis, con especial énfasis en el papel de las condiciones experimentales, las limitaciones y las

aplicaciones en el tratamiento de agua y aguas residuales. La recuperación de contaminantes mediante nanopartículas magnéticas es un importante proceso de tratamiento que ha contribuido a un mayor desarrollo y crecimiento sostenible. En esta revisión también se presenta la aplicación de dichas nanopartículas en la recuperación de metales, que demuestra una “tecnología de circuito cerrado” en los escenarios actuales.

Ahmed y otros (2021), utilizaron el quitosano extraído de desechos de caparazón de camarón en el tratamiento de aguas residuales como biosorbente de bajo costo. El quitosano se produjo con éxito en el laboratorio a partir de desechos de conchas. El rendimiento fue de aproximadamente 42,34 g de quitosano seco con una proporción del 15,3% de las conchas secas. El quitosano producido tiene buena solubilidad en solución de ácido acético al 1%, alcanzando hasta el 96,3%. Tiene % DDA con un valor del 63% al 80%. Sin embargo, tiene un buen desempeño en la eliminación de metales de aguas residuales industriales, no se recomienda usarlo en forma cruda debido a la presencia de caracteres indeseables; como baja resistencia mecánica, hinchamiento y solubilidad en medios ácidos. El compuesto de quitosano/carbón activado supera estas características indeseables del quitosano y brinda un buen desempeño en la remediación de aguas residuales.

Abdullah y otros (2021), la investigación actual se centra en la extracción de un biopolímero de quitosano a partir de caparazones de cangrejo mediante métodos ecológicos y su aplicación en el tratamiento de aguas residuales de refinerías. La estructura química y la cristalinidad del quitosano extraído se confirmaron mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y difracción de rayos X (DRX). La morfología superficial y la composición

elemental se determinaron mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) y análisis de rayos X por energía dispersiva (EDX). Las propiedades térmicas se detectaron mediante análisis termogravimétrico (TGA). El quitosano extraído se empleó con éxito en el tratamiento por lotes de efluentes de refinería mediante la variación de los parámetros experimentales (pH de la solución de efluente de refinería, tiempo de contacto, dosificación de quitosano y velocidad de agitación) y se establecieron las optimizaciones de las condiciones de procesamiento.

Sumaila y otros (2020), utilizaron caparazones de cangrejo para producir quitosano a través de tres etapas de desproteinización, desmineralización y desacetilación utilizando hidróxido de sodio y ácido clorhídrico bajo diferentes condiciones de tratamiento de temperatura y tiempo. El quitosano producido se caracterizó mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIRS), difracción de rayos X (DRX), microscopía electrónica de barrido de alta resolución (HRSEM), espectroscopia de dispersión electrónica (EDS), dispersión dinámica de luz (DLS), Brunauer Emmett Teller (BET) y análisis termogravimétrico (TGA). El comportamiento de adsorción del quitosano para eliminar arsénico (As) y cobre (Cu) de las aguas residuales de galvanoplastia se examinó mediante un proceso de adsorción por lotes en función de la dosis de adsorbente, el tiempo de contacto y la temperatura. Los análisis FTIR, XRD, HRSEM y EDS confirmaron, respectivamente, la presencia de grupos funcionales -NH2 y -OH, con fases amorfas/cristalinas, índice de cristalinidad del 69,54%, morfología acicular y carbono (C), oxígeno (O) y nitrógeno (N) en el quitosano producido. Mientras que DLS, BET y TGA mostraron, respectivamente, que el quitosano tiene un tamaño promedio de partícula de 729 nm, es moderadamente polidisperso, tiene 12,67 m 2 /g de área superficial, es

mesoporoso por naturaleza y con estabilidad térmica de hasta 143 0 C. La dosis óptima de adsorbente, tiempo de contacto y valores de temperatura para eliminar As y Cu por quitosano fueron 15 mg, 45 minutos, 333 K y 25 mg, 60 minutos, 349 K, respectivamente. Bajo las condiciones empleadas, el quitosano tiene un área superficial baja, mostrando alta capacidad de adsorción para ambos iones metálicos.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Fuentes y Gutiérrez (2023), en su investigación “Eficiencia en la adsorción de hidrocarburos de aceites lubricantes mediante bagazo de quinua en cuerpos de agua a nivel de laboratorio”, evaluaron el uso del bagazo de quinua como material adsorbente para hidrocarburos derivados de aceites lubricantes. Se elaboró una emulsión compuesta por 10 % de aceite y 90 % de agua, con un volumen total de 800 mL. Posteriormente, se caracterizó el bagazo y se aplicaron cuatro tratamientos con distintas dosis (5 g y 10 g) y tiempos de exposición (30 y 60 minutos), cada uno con tres repeticiones. Los resultados de adsorción fueron positivos, con eficiencias de remoción que oscilaron entre el 75 % y el 100 %, destacando el tratamiento D2T1 (5 g y 30 min) con una reducción de aceites y grasas desde 105.16 mg/L a 21.99 mg/L. Además, se observaron mejoras significativas en las propiedades del agua: la turbidez disminuyó de 17.10 NTU a 2.61 NTU, el color bajó de 5 UC a menos de 5 UC, la DBO_5 pasó de 7.80 mg/L a 6.35 mg/L, la DQO de 19.50 mg/L a 15.87 mg/L y el pH se ajustó ligeramente de 7.94 a 7.70.

Flores (2022) desarrolló la investigación “Remediación de agua de mar contaminada con petróleo crudo utilizando un biopolímero modificado a partir de los exoesqueletos de Litopenaeus vannamei (langostino)”. En este estudio, se

obtuvo quitosano a escala de laboratorio mediante un proceso que incluyó el uso de NaOH al 50 % (p/v), con reflujo a 123 °C durante tres horas, en una proporción sólido-líquido de 1:8 y con partícula malla 10. Se elaboraron dos formas del biopolímero: hojuelas (QHR) y perlas gel reticuladas con TPP al 0.1 %, a pH 3 y con 60 minutos de contacto a 300 rpm para las pruebas de remediación en agua marina contaminada con crudo. El análisis FTIR reveló diferencias estructurales entre el quitosano sin reticular y el reticulado, observándose dos picos característicos (1653 cm^{-1} y 1586 cm^{-1}) en la forma reticulada, atribuibles a la interacción iónica NH_2–TPP. Las pruebas se realizaron con tres concentraciones de emulsión crudo-agua de mar: 200, 500 y 1000 mg/L, utilizando 10 g de quitosano reticulado en ambas presentaciones. La mayor eficiencia de remoción, alcanzando un 97.08 %, se obtuvo con la muestra QPGR2 (perlas gel).

Dávalos y otros (2022), titulado “Efecto de Remoción de Aceites y Sólidos en Agua de Formación Mediante Separación Gravimétrica y Tratamiento Químico con Dosificación Adecuada de Agentes Coagulante y Floculante”, se investigó el tratamiento de agua de formación procedente de la explotación de petróleo en la cuenca Oriente ecuatoriana. Se aplicaron dos procesos unitarios: separación gravimétrica (desnatado) y sedimentación química. En el primer proceso se logró separar eficientemente las fases oleosa y acuosa en tan solo 0.22 horas. La caracterización del tamaño promedio de las gotas de aceite (300 micras) se obtuvo mediante microscopía óptica y análisis estadístico basado en una distribución Gaussiana. Para la sedimentación química, se utilizaron una resina tánica como coagulante (4 mg/L) y una emulsión de látex como floculante (6 mg/L), seleccionados a través de pruebas de jarras. El dimensionamiento del sedimentador se basó en la curva de asentamiento de sólidos. Los resultados

mostraron una remoción del 96 % de aceites y del 98 % de sólidos suspendidos, evidenciando la eficacia de la estrategia de tratamiento combinada.

2.1.3. Antecedentes Locales

Reátegui y Valera (2020), en su investigación titulada “Aplicación de un biopolímero extraído a partir del exoesqueleto del camarón de río (Cryphiops caementarius) para la floculación de aguas contaminadas por derrames de petróleo, Ucayali 2019”, evaluaron la efectividad de un biopolímero derivado del quitosano, obtenido a partir del exoesqueleto del camarón de río (Cryphiops caementarius), como agente floculante en el tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos totales de petróleo (HTP), en condiciones de laboratorio. Para simular un derrame, se prepararon mezclas con una proporción constante de 5 mL de petróleo en 100 mL de agua, a las que se les aplicaron distintas dosis del biopolímero (BPC), variando desde 0.5 g hasta 5 g. Se observó un proceso de floculación visible y el petróleo fue retirado mediante una malla filtrante. Los resultados mostraron una notable reducción del contenido de petróleo en el agua. La dosis óptima fue de 0.3 g de BPC por mL de HTP, con un tiempo de acción de apenas 15 segundos, alcanzando una eficiencia de remoción del 96.6 %, superando hasta por tres veces la efectividad del quitosano comercial.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Petróleo

El petróleo en estado líquido suele encontrarse acompañado de capas de gas natural. Este recurso se localiza en yacimientos subterráneos que han permanecido ocultos durante millones de años, cubiertos por formaciones rocosas en la corteza terrestre. Su composición está dominada por

hidrocarburos, formados por átomos de hidrógeno y carbono, incluyendo principalmente parafinas, naftenos y compuestos aromáticos, además de proporciones variables de derivados saturados del metano. Se trata de un recurso natural no renovable, cuya disponibilidad constituye la principal fuente de energía utilizada por la mayoría de los países a nivel mundial (Jaimes y Miguel, 2012).

2.2.1.1. Clasificación del petróleo

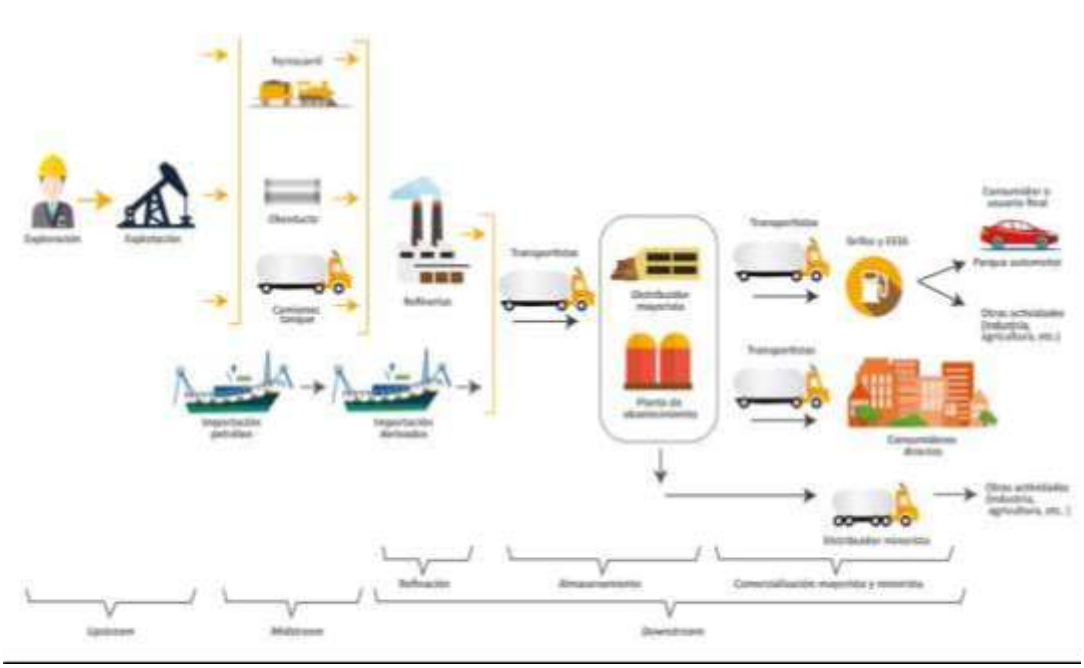
La industria petrolera a nivel mundial clasifica el petróleo en función de su densidad o gravedad específica, utilizando la escala establecida por el American Petroleum Institute (API). Según esta clasificación, el petróleo se categoriza en cuatro tipos: crudo liviano, con una gravedad superior a 31,1° API; crudo mediano, con valores entre 22,3° y 31,1° API; crudo pesado, cuya gravedad oscila entre 10° y 22,3° API; y crudo extra pesado, con una gravedad inferior a 10° API (Jaimes & Miguel, 2012).

2.2.1.2. Cadena de valor de los hidrocarburos líquidos

La cadena de valor de los hidrocarburos líquidos que incluye el petróleo, sus derivados y los líquidos del gas natural (LGN) se divide en dos grandes segmentos: upstream (también denominado “río arriba”) y downstream (“río abajo”). El segmento upstream abarca actividades como la exploración de nuevas reservas y la explotación, es decir, la extracción de petróleo y/o gas natural (GN).

Figura 1

Cadena de valor del petróleo y sus derivados



2.2.1.3. Impactos ambientales de los derrames de petróleo

- Los derrames de petróleo generan una película superficial en el agua que bloquea el paso de la luz solar, lo que impide que las plantas acuáticas realicen el proceso de fotosíntesis. Esto conlleva alteraciones en la cadena alimenticia, ya que muchas especies dependen directamente de estas plantas. Además, la capa de petróleo se adhiere a las plumas de las aves costeras, dificultándoles el vuelo y llevándolas, en muchos casos, a la muerte. Por otro lado, existe también una contaminación interna en los organismos acuáticos, ya que pueden absorber hidrocarburos y otras sustancias tóxicas, siendo los organismos más pequeños los más afectados (Salazar y otros, 2022).

- Asimismo, los derrames de petróleo representan una amenaza significativa para los macroinvertebrados bentónicos en cuerpos de agua dulce, alterando de forma importante sus comunidades y funciones ecológicas (Lafuente y otros, 2019).
- A largo plazo, la ausencia de algas producto de un derrame de petróleo puede provocar un desequilibrio en la cadena alimentaria acuática, ya que muchas especies dependen de ellas para su subsistencia (SPDA, 2022).
- Algunos compuestos químicos presentes en el petróleo, especialmente en el caso del crudo ligero, pueden resultar altamente tóxicos; al evaporarse, estos contaminantes no solo afectan al ecosistema marino, sino que también migran a la atmósfera, generando un nuevo foco de contaminación (SPDA, 2022).

2.2.2. Biopolímeros de Quitina y quitosano

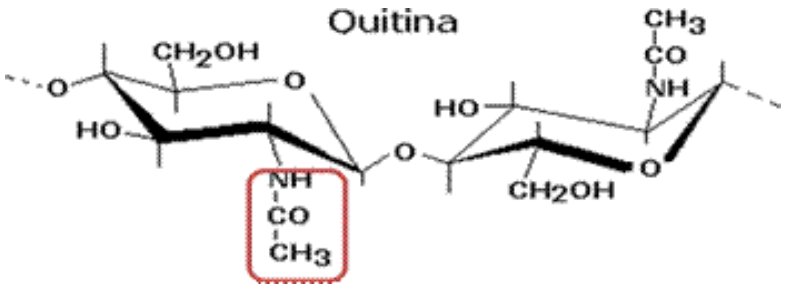
La quitina es un biopolímero compuesto por unidades de N-acetil-D-glucosamina unidas mediante enlaces β(1→4). Se encuentra principalmente en el exoesqueleto de crustáceos, moluscos, insectos y otros organismos, actuando como una barrera protectora frente al entorno. No obstante, a nivel industrial, la obtención de este biomaterial se centra principalmente en el procesamiento de las conchas de diversos crustáceos como camarones, langostas, cangrejos y krill. Esto se debe a que estos residuos son abundantes y fácilmente disponibles como subproductos de las plantas procesadoras de mariscos (Lárez Velásquez, 2006).

La transformación de quitina en quitosano, conocida como desacetilación, se lleva a cabo generalmente en estado sólido bajo condiciones alcalinas,

utilizando hidróxido de sodio (NaOH) concentrado. Alternativamente, también puede realizarse mediante hidrólisis enzimática con la enzima quitina desacetilasa. Este proceso consiste en la eliminación de los grupos acetilo de la cadena de quitina, lo que permite la formación de grupos amino libres (NH_2). La eficiencia de esta conversión depende de varios factores, como la concentración del álcali, la temperatura, el tiempo de reacción y la proporción entre el solvente y el sólido (Arachchi e Ismail, 2018).

Figura 2

Estructura de la quitina y el quitosano



Fuente: (Escobar y otros, 2015)

El quitosano es el derivado más importante de la quitina, y ambos biopolímeros presentan un amplio rango de aplicaciones en distintos sectores económicos, incluyendo la tecnología alimentaria, la ciencia de materiales, la microbiología, la agricultura, el tratamiento de aguas residuales (donde actúa como coagulante), la liberación controlada de medicamentos, la ingeniería de tejidos, la bionanotecnología, así como en la fabricación de membranas funcionales y procesos de floculación, entre otros usos (Khoushab y Yamabhai, 2010; Cadeza, 2014; López y Correa, 2012).

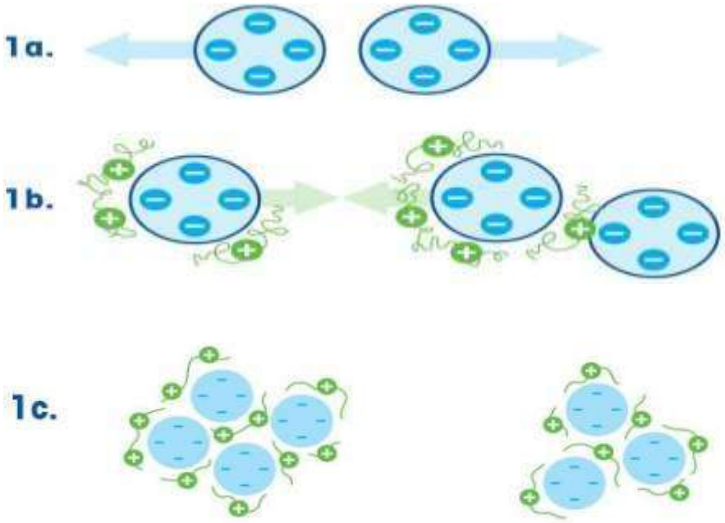
El quitosano se obtiene a través de un proceso de hidrólisis termoalcalina que desacetila la quitina. Este biopolímero lineal está conformado por dos unidades estructurales principales: la D-glucosamina (poli[β-(1,4)-2-desoxi-2-amino-D-glucopiranosa]) y la N-acetil-D-glucosamina (poli[β-(1,4)-2-desoxi-2-acetamido-D-glucopiranosa]), las cuales se distribuyen aleatoriamente a lo largo de la cadena polimérica (Cadeza, 2014).

2.2.2.1. Floculación

La floculación es un proceso que ocurre en dos etapas, mediante el cual numerosas partículas de pequeño tamaño se agrupan para formar una cantidad reducida de flóculos de mayor tamaño. El proceso inicia con la coagulación, ya que muchas de estas partículas presentan cargas negativas en su superficie, lo que impide su unión y estabilización (1a). Para contrarrestar este efecto, se añaden coagulantes químicos que se adsorben sobre las partículas, neutralizando sus cargas. Esto facilita la formación de flóculos submicrónicos estables en suspensión (1b). Para lograr una dispersión eficiente de estos coagulantes y favorecer el contacto entre las partículas, se requiere una mezcla rápida, lo cual incrementa las colisiones entre ellas y promueve la formación de los primeros agregados (1c) (Mettler Toledo, 2018).

Figura 3

Agregación y la estabilización



(1a). Flóculos submicrónicos estables y en suspensión (1b). Colisiones de las partículas y la formación de flóculos submicrónicos (1c)

Fuente: (Mettler Toledo, 2018).

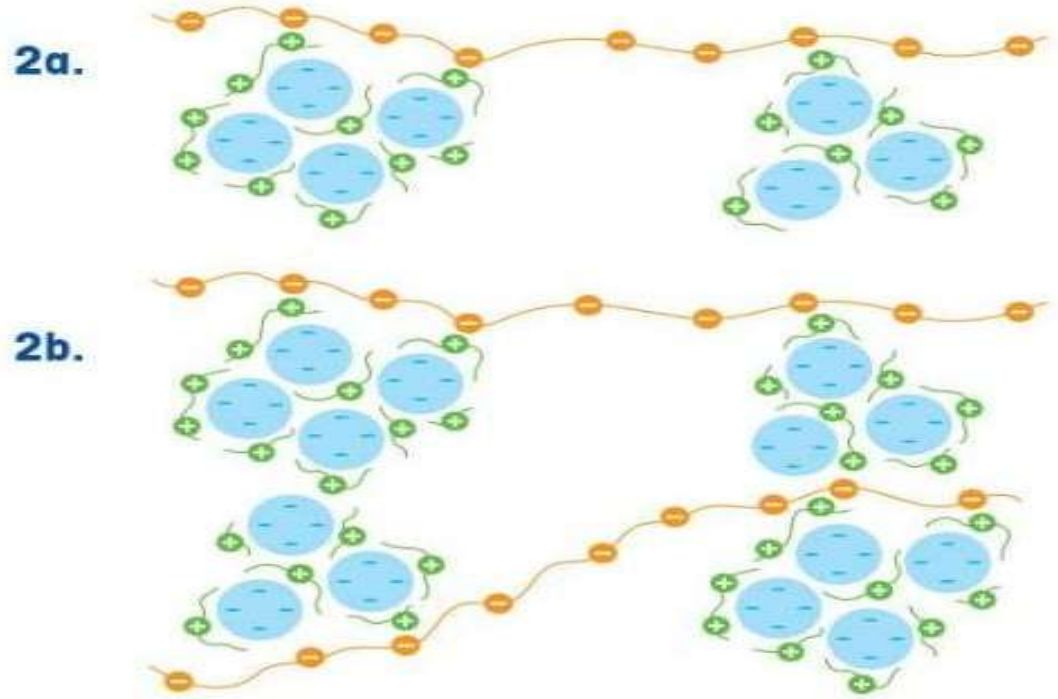
Durante la etapa de floculación, se requiere una mezcla lenta y controlada, así como el uso de un floculante polimérico de alto peso molecular. Este floculante se adsorbe sobre los flóculos submicrónicos previamente formados, ayudando a reducir el espacio entre ellos (2a). Al disminuir esta distancia, se activan las fuerzas de atracción de Van der Waals, lo que reduce la barrera energética para que ocurra la floculación y permita la formación de floculos más grandes, pero aún de estructura laxa.

A medida que avanza el proceso, las partículas continúan agregándose, uniéndose y fortaleciéndose, lo que da lugar a la formación de macroflóculos visibles en suspensión (2b). Una vez que estos macroflóculos adquieren un peso, tamaño y cohesión suficientes, se inicia su sedimentación. Cabe resaltar que

estos macroflóculos son muy sensibles a la agitación intensa, y si se someten a una fuerte fuerza de cizalladura, pueden desintegrarse, siendo difícil o incluso imposible que se reconstituyan.

Figura 4

Floculante se adsorbe en los floculos submicrónicos y facilita la reducción
Macroflóculos visiblemente en suspensión



Fuente: **(Mettler Toledo, 2018)**.

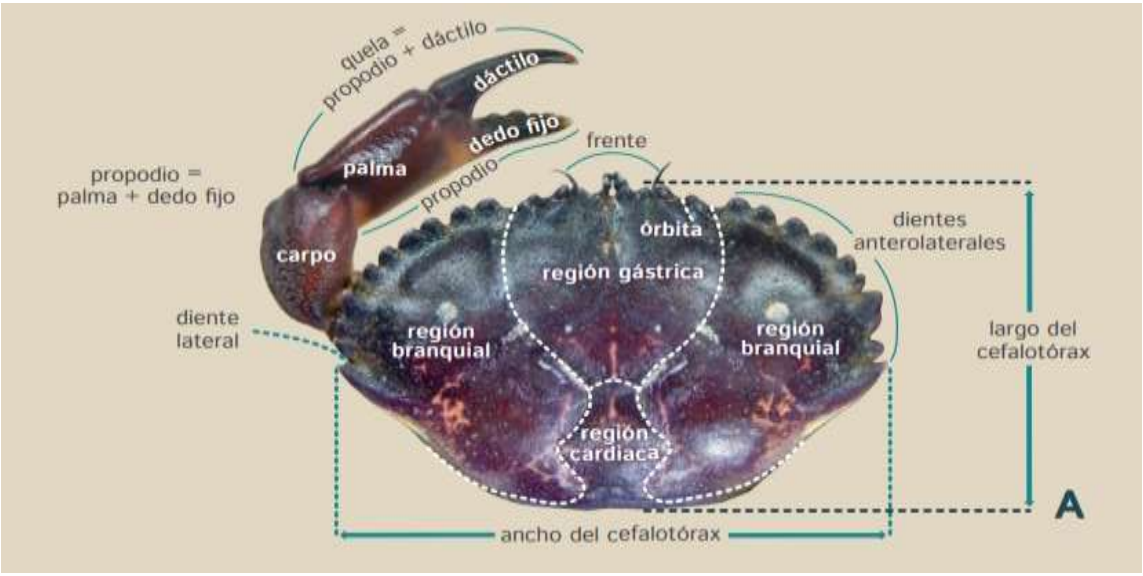
2.2.2.2. Cangrejos *(Platyxanthus)*

Los crustáceos braquiuros, conocidos como los "verdaderos cangrejos", se caracterizan por poseer el abdomen plegado bajo el cefalotórax, estructura compuesta por la fusión de la cabeza y el tórax. Por otro lado, los anomuros (Infraorden Anomura) presentan una morfología diversa, siendo reconocibles por el quinto par de periópodos reducido y oculto bajo el caparazón. Estos pueden tener apariencia similar a cangrejos (como las centollas o los cangrejos porcelana) o recordar a las langostas. Ambos grupos pertenecen al orden Decapoda, caracterizado por un caparazón que protege el cefalotórax y diez

apéndices locomotores (periópodos). Su cuerpo está dividido en cefalotórax y abdomen, y disponen de cinco pares de periópodos torácicos y cinco pares de pleópodos abdominales. El primer par de periópodos está modificado en forma de quelípedos, utilizados para defensa y alimentación. En los últimos cinco años, se han identificado 16 especies de decápodos braquiuros y anomuros marinos con valor comercial en el Perú. Estas especies son recolectadas de forma artesanal, mediante trampas, buceo en zonas submareales o recolección manual en zonas intermareales, mayormente en la costa del Pacífico. Los ejemplares comerciales tienen al menos 10 cm de ancho y pesan entre 80 y 200 gramos, siendo el propodio (pinza o garra frontal) la parte más valorada para consumo. El país produce anualmente entre 25 y 50 toneladas, destinando aproximadamente el 20% a la exportación. El precio del cangrejo en el mercado local oscila entre S/. 20.00 y S/. 50.00 por kilogramo, dependiendo de la temporada y del tamaño del espécimen (Carbajal y Santamaría, 2017).

Figura 5

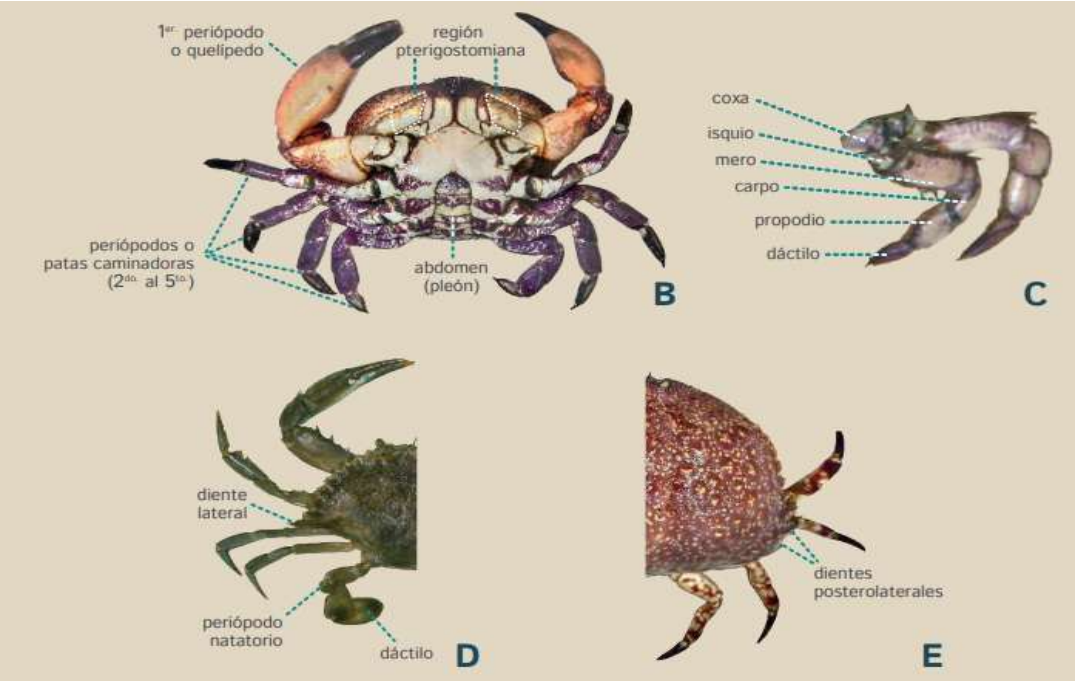
Morfología de un cangrejo Vista dorsal del cefalotórax de Platyxanthus



Fuene: (Carbajal y Santamaría, 2017).

Figura 6

Morfología de un cangrejo



B) Vista ventral de Homalaspis plana. C) Vista dorsal de los 2 últimos periópodos de Platyxanthus orbignyi. D) Vista dorsal de la mitad izquierda del cefalotórax de Callinectes toxotes E) Vista dorsal de la mitad derecha del cefalotórax Calappa convexa.

Fuente: (Carbajal y Santamaría, 2017).

2.2.2.2.1. Composición del cangrejo *Platyxanthus*

Tabla 1

Valores proximales del cangrejo Platyxanthus

Parámetro	Especie cangrejo Platyxanthus
Humedad (%)	71,39 ± 1,37
Proteína (%)	18,97 ± 1,35
Lípidos (%)	5,88 ± 0,55
Carbohidratos (%)	1,84 ± 0,21

Ceniza (%)	1,09 ± 0,11
Energía (Kcal/100 g)	136,13

Fuente: (Eswaran y otros, 2024)/ (Dima y otros. 2009)

La Tabla 1 muestra que la Especie cangrejo *Platyxanthus* presenta una humedad promedio de 71,39%, característica de tejidos musculares frescos. Destaca su alto contenido proteico (18,97%), lo que confirma su elevado valor nutricional, junto con un contenido moderado de lípidos (5,88%). Los carbohidratos (1,84%) y cenizas (1,09%) se mantienen en rangos bajos, propios de crustáceos marinos. El aporte energético es de 136,13 kcal/100 g, indicando que se trata de un alimento proteico, nutritivo y de densidad calórica moderada.

Tabla 2

Valores de ácidos grasos del cangrejo Platyxanthus

Ácido graso	**Átomo de C**	**Especie cangrejo *Platyxanthus***
Ácido mirístico	C14	2,30 ± 0,54
Ácido pentadecanoico	C15	0,86 ± 0,12
Ácido palmítico	C16	1,08 ± 0,52
Ácido margárico	C17	2,87 ± 0,48
Ácido esteárico	C18	2,22 ± 0,62
Estearato de metilo	C19	11,79 ± 0,60
Ácido araquídico	C20	1,06 ± 0,41
Total SFA (saturados)	—	22,17
Ácido palmitoleico	C16:1 n-7	5,16 ± 1,05
Ácido octadecenoico (oleico)	C18:1	1,12 ± 0,27

1-Heptacosanol		C27	1,75 ± 1,34
Total (monoinsaturados)	MUFA	—	8,03

Fuente: (Eswaran y otros, 2024)/ (Dima y otros. 2009)

La Tabla 2 evidencia que el perfil lipídico de la Especie *Platyxanthus* está dominado por los ácidos grasos saturados (SFA = 22,17), siendo el estearato de metilo (11,79) el componente más representativo, seguido del ácido margárico (2,87) y el ácido esteárico (2,22). Entre los monoinsaturados (MUFA = 8,03) predomina el ácido palmitoleico (5,16), lo que sugiere un perfil graso con aporte energético moderado y estabilidad oxidativa, típico de crustáceos marinos.

Tabla 3

Valores de Minerales del cangrejo *Platyxanthus*

Mineral	**Especie cangrejo *Platyxanthus***
Calcio (Ca)	278,25 ± 167,25
Magnesio (Mg)	48,72 ± 48,56
Hierro (Fe)	3,35 ± 2,01
Sodio (Na)	61,02 ± 26,48
Potasio (K)	60,50 ± 15,70
Manganeso (Mn)	41,22 ± 41,08
Zinc (Zn)	2,60 ± 2,48

Fuente: (Eswaran y otros, 2024)/ (Dima y otros. 2009)

La Tabla 3 muestra que el cangrejo *Platyxanthus* destaca por su alto contenido de calcio (278,25 mg/100 g), fundamental para la salud ósea, y por aportes relevantes de magnesio (48,72 mg/100 g), potasio (60,50 mg/100 g) y

sodio (61,02 mg/100 g), esenciales para el equilibrio electrolítico. Asimismo, presenta hierro (3,35 mg/100 g) y zinc (2,60 mg/100 g), minerales clave en funciones metabólicas e inmunológicas. La variabilidad observada refleja la influencia del hábitat y la dieta.

2.2.2.2.2. Ubicación de pesca del cangrejo *Platyxanthus* en el Perú

El cangrejo Platyxanthus, conocido en diversas zonas del litoral como cangrejo violáceo, se distribuye de forma natural a lo largo de la costa peruana, especialmente en sectores caracterizados por fondos rocosos, arenosos y mixtos del ambiente marino costero. Su presencia ha sido registrada de manera recurrente en regiones del norte y centro del país como Lambayeque, La Libertad, Áncash y la franja costera de Lima, donde habita principalmente en el submareal somero, entre los 2 y 20 metros de profundidad, refugiándose entre rocas, grietas y zonas de alta complejidad estructural. La captura de esta especie se realiza mayormente mediante pesca artesanal, utilizando técnicas como la recolección manual por buzos, trampas rudimentarias y redes, siendo una actividad de pequeña escala y de carácter estacional (Carbajal y Santamaría, 2017).

En el Perú, el cangrejo Platyxanthus es aprovechado principalmente para el consumo humano directo, debido a su alto contenido proteico y buen valor nutricional. Es empleado en la preparación de diversos platos marinos tradicionales como ceviches, sudados, chupes y arroces con mariscos, sobre todo en zonas costeras donde su disponibilidad es mayor. Asimismo, en algunas localidades también se utiliza como carnada para actividades pesqueras artesanales, lo que incrementa su importancia dentro de la economía local. Desde el punto de vista científico, esta especie también es utilizada en estudios

ambientales como bioindicador, debido a su capacidad de bioacumular metales pesados, siendo objeto de investigaciones sobre contaminación marina, estrés oxidativo y calidad sanitaria de los ecosistemas costeros, bajo la supervisión de entidades como IMARPE (Carbajal y Santamaría, 2017).

La comercialización del cangrejo Platyxanthus en el Perú es local y de baja escala, realizándose principalmente en caletas artesanales, mercados pesqueros regionales y mediante venta directa de los pescadores. Su oferta es variable según la temporada de captura, el tamaño del ejemplar y las condiciones ambientales. Los precios suelen fluctuar desde montos accesibles para el cangrejo entero fresco hasta valores mayores cuando se comercializa únicamente la carne (Carbajal y Santamaría, 2017).

Figura 7

Mapa de pesca y captura del cangrejo Platyxanthus



2.3. Definición de términos básicos

- **Biopolímero:** Macromolécula de origen natural formada por unidades repetitivas (monómeros) producidas por seres vivos, como polisacáridos o proteínas. En esta tesis, el biopolímero se obtiene del exoesqueleto de cangrejo y se emplea como floculante para remover petróleo del agua. (Lárez Velásquez, 2006; Maćczak y otros., 2020)
- **Granulometría**: Distribución de tamaños de partícula del biopolímero (por ejemplo, <1 mm, 1–2,5 mm, 2,5–5 mm), parámetro que influye en la formación, estabilidad y flotabilidad de los flóculos, afectando la eficiencia de remoción de petróleo en los ensayos de laboratorio. (IDEAM, 2007; Maćczak y otros., 2020)
- **Hidrocarburos Totales de Petróleo:** Conjunto de compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno presentes en el petróleo y sus derivados, cuya concentración en agua se evalúa como aceites y grasas totales para determinar el grado de contaminación. (Jaimes y Miguel, 2012; James, 2017)
- **Quitina:** Polisacárido estructural constituido por unidades de N-acetil-D- glucosamina unidas por enlaces β(1→4), presente en el exoesqueleto de crustáceos, insectos y otros invertebrados, y utilizada como materia prima para la producción de quitosano. (Lárez Velásquez, 2006; Poveda, 2018)

- **Quitosano:** Derivado desacetilado de la quitina, con grupos amino libres ($–NH_2$) que le confieren carga positiva en medio ácido, permitiendo su uso como coagulante y floculante en el tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos y otros contaminantes. (Khoushab & Yamabhai, 2010; Escobar y otros., 2015).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Metodología de la investigación

3.1.1. Tipo de la investigación

El tipo de investigación es aplicada, ya que se orienta a la resolución directa de una problemática ambiental específica, como es la contaminación por hidrocarburos. En el estudio se empleó una tecnología sostenible basada en el uso de un biofloculante como alternativa a los coagulantes químicos convencionales, con el propósito de incrementar la eficiencia de remoción de petróleo en cuerpos de agua contaminados. Los resultados obtenidos permiten una aplicación práctica inmediata, contribuyendo a la gestión ambiental, la mitigación de impactos y la protección de los ecosistemas acuáticos.

3.1.2. Nivel de la investigación

El nivel de la investigación es experimental, debido a que se manipulan de manera controlada variables independientes como el tipo de floculante y la granulometría, con el fin de evaluar su efecto sobre la eficiencia de remoción de petróleo en el agua. Estas variables son sometidas a distintas condiciones en laboratorio, permitiendo observar, medir y comparar sus resultados, lo que hace posible establecer relaciones de causa–efecto, propias de un diseño experimental.

3.1.3. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es experimental, de tipo completamente al azar (DCA), ya que se aplicaron diferentes tratamientos definidos por el tipo de floculante y la granulometría, los cuales fueron asignados de manera aleatoria

a las unidades experimentales. Cada tratamiento fue evaluado bajo condiciones controladas de laboratorio, permitiendo comparar los resultados de la eficiencia de remoción de petróleo entre los grupos experimentales y establecer relaciones claras de causa–efecto entre las variables estudiadas.

Por tal se aplica la fórmula del Diseño Completamente al Azar (DCA)

$$Yij=\mu+\alpha i+\varepsilon ij$$

Donde

Yij: es la Variable aleatoria que representa la respuesta de la j-ésima unidad experimental asignada al i-ésimo tratamiento, con i=1,2,...,n y j=1,2,...,ni

μ; denota la respuesta global promedio

α : es el efecto del i-ésimo tratamiento sobre el promedio global La prueba de hipótesis asociada al ANOVA está dado por:

$H0=\mu1=\mu2=...=\mu i$

$H1=\mu1\neq\mu2\neq...\neq\mu i$

3.2. Ubicación del área experimental

El lugar de estudio que fue tipo experimental, se llevó a cabo en la Universidad Nacional de Ucayali, en el laboratorio de química de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población de estudio estuvo constituida por todas las aguas contaminadas con hidrocarburos totales de petróleo (HTP) susceptibles de ser tratadas mediante biopolímeros floculantes en condiciones de laboratorio, representadas

operacionalmente por el agua artificialmente contaminada con petróleo utilizada en los ensayos experimentales.

3.3.2. Muestra

La selección de la muestra fue no probabilística por conveniencia, de acuerdo con las condiciones de laboratorio y el diseño experimental propuesto. La muestra estuvo conformada por 60 unidades experimentales de agua contaminada con petróleo en total de 15 l de agua, trabajadas bajo un diseño completamente al azar (DCA), en las que se aplicaron diferentes tratamientos definidos por: tipo de floculante (biopolímero de cangrejo, quitosano comercial y sulfato de aluminio), granulometría del biopolímero y dosis (0,1; 0,5 y 1 g/ml de HTP).

La unidad muestral estuvo constituida por cada recipiente agua (matraz o vaso de precipitados) que contuvo un volumen de 250 ml de agua con una cantidad conocida de petróleo, al que se le aplicó un tratamiento específico de floculante (tipo, granulometría y dosis) y del cual se midió la concentración de hidrocarburos totales de petróleo antes y después del tratamiento mediante el método Soxhlet.

Tabla 4

Matriz experimental de los tratamientos

Componente del Floculante	**Granulometría del floculante**	**Dosis** g de floculante /ml de petróleo	**Repeticiones***				**Promedio**
			R1	R2	R3	R4	
BP. Cangrejos	<1 mm	0.1 g/ml	B1-1R1	…	…	B1-1R4	
		0.5 g/ml	B1-5R1	…	…	B1-5R4	
		1 g/ml	B1-10R1	…	…	B1-10R4	
	1 a 2.5 mm	0.1 g/ml	B2.5-1R1	…	…	B2.5-1R4	

		0.5 g/ml	B2.5-4R1	…	…	B2.5-5R4
		1 g/ml	B2.5-10R1	…	…	B2.5-10R4
	2.5 a 5 mm	0.1 g/ml	B5-1R1	…	…	B5-1R4
		0.5 g/ml	B5-5R1	…	…	B5-5R4
		1 g/ml	B5-10R1	…	…	B5-10R4
BP. Quitosano comercial	1 a 5 mm	0.1 g/ml	Q1-1R1	…	…	Q1-1R4
		0.5 g/ml	Q1-5R1	…	…	Q1-5R4
		1 g/ml	Q1-10R1	…	…	Q1-10R4
Sulfato de aluminio	1 a 5 mm	0.1 g/ml	S1-1R1	…	…	S1-1R4
		0.5 g/ml	S1-5R1	…	…	S1-5R4
		1 g/ml	S1-10R1	…	…	S1-10R4

3.3.3. Técnicas e instrumento de recolección de datos

3.3.3.1. Técnicas de recolección de datos

Técnica de observación directa

Se aplicó la observación visual sistemática para identificar el tipo de flóculo formado (flotante, en suspensión o sedimentado), así como su forma (esférico, alargado o aglomerado), durante las pruebas experimentales con el biopolímero.

3.3.3.2. Instrumentos de recolección de datos

Materiales:

- Matraz de 1l
- Vaso precipitado de 1l
- Embudo porta filtro
- Matraz kitazato de 1 l

- Varilla
- Probeta de 500 ml

Equipos:

- Extractor Soxhlet BÜCHI B-810.
- Bomba de vacío.
- Cabina extractora de vapores orgánicos
- Balanza analítica de cuatro cifras decimales
- Horno de secado
- Desecador grande
- Reactor
- Agitador

Insumos:

- Hidróxido de Sodio
- Ácido Clorhídrico
- Etanol
- Filtros de N° 47

Instrumentos

Ficha de observación de laboratorio: El instrumento utilizado en el presente estudio fue una Ficha de Observación de Laboratorio, diseñada específicamente para registrar de manera sistemática y objetiva el comportamiento del biopolímero de cangrejo durante el proceso de floculación del petróleo en agua. Este instrumento permitió recopilar información cualitativa

y semi-cuantitativa sobre el tipo de floculante aplicado, la granulometría, la dosis utilizada, la formación de flóculos, su forma, tamaño, estabilidad y tipo de flotabilidad (flotación, suspensión o sedimentación). Asimismo, incluyó ítems para evaluar visualmente la claridad final del agua tratada, la presencia residual de petróleo, sólidos visibles y olor final. La ficha fue aplicada en cada unidad experimental, garantizando uniformidad en el registro de datos y confiabilidad en la evaluación comparativa de los tratamientos. Anexo 3.

3.3.3.3. Procedimiento de la investigación

Recolección de material de cangrejos: Este será usado para la extracción del biopolímero de quitina, este provendrá de residuos generados por locales comerciales dedicados a la venta de alimentos de productos marítimos (Cevicherias).

Procesado del residuo para obtención del biopolímero: Este comprendió el lavado, secado y molienda del material para la extracción del biopolímero, seguido se seguirá el proceso propuesto por Alava (2015), el cual consiste en un tratamiento químico.

Figura 8

Lavado del residuo de exoesqueleto de cangrejo



Figura 9

Secado del material del residuo del exoesqueleto de cangrejo



Figura 10

Molienda de residuos de exoesqueleto de cangrejo



Proceso de análisis de petróleo: se realizará simulaciones experimentales de derrame de petróleo en el agua sin trazas, donde se conocerá el contenido inicial del petróleo y el volumen del agua, que servirá como base, luego de aplicarse el biopolímero como floculante y recuperarse los flóculos por filtración, se analizará el contenido final de Petróleo en el agua como aceites y grasas totales.

3.3.3.3.1. Determinación de aceites y grasas por el método Soxhlet

El método de extracción Soxhlet para la determinación de grasas y aceites es aplicable para determinar lípidos biológicos, hidrocarburos ya sea fracciones pesadas o relativamente polares del petróleo y cuando los niveles de grasas no volátiles pueden alterar el límite de solubilidad del solvente. En la determinación de grasas y aceites no se mide una cantidad absoluta de una sustancia específica; se determinan grupos de sustancias con características físicas similares con base en su solubilidad en el solvente. Así, el término "grasas y

aceites" comprende cualquier material recuperado como una sustancia soluble en el solvente (n-hexano). Este método referido por el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 21 ed., New York. 2005 (IDEAM, 2007). Para este se requiere los siguientes aparatos:

Procesamiento de datos y cálculo de resultados

El aumento en peso del vaso de extracción tarado es debido principalmente a la grasa y el aceite, siendo el contenido de estos:

Figura 11

Fórmula para la determinación de aceites y grasas.

$$GYA, mg/L = \frac{(Pf - Pi)}{V} * 10^6$$

Donde; Pf = peso final del matraz de extracción, g. Pi = peso inicial del matraz de extracción, g. V = Volumen de muestra, Ml

3.3.3.3.2. Elaboración del biopolímero

La metodología base a seguir es la propuesta de Reategui y Valera para Extracción del biopolímero quitosano con adición de ácido fosfórico (Reátegui y Valera, 2020), modificado de la metodología de Juan M. Alva (Álava, 2015).

Figura 12

Proceso químico de obtención de quitina y quitosano utilizando etapas sucesivas

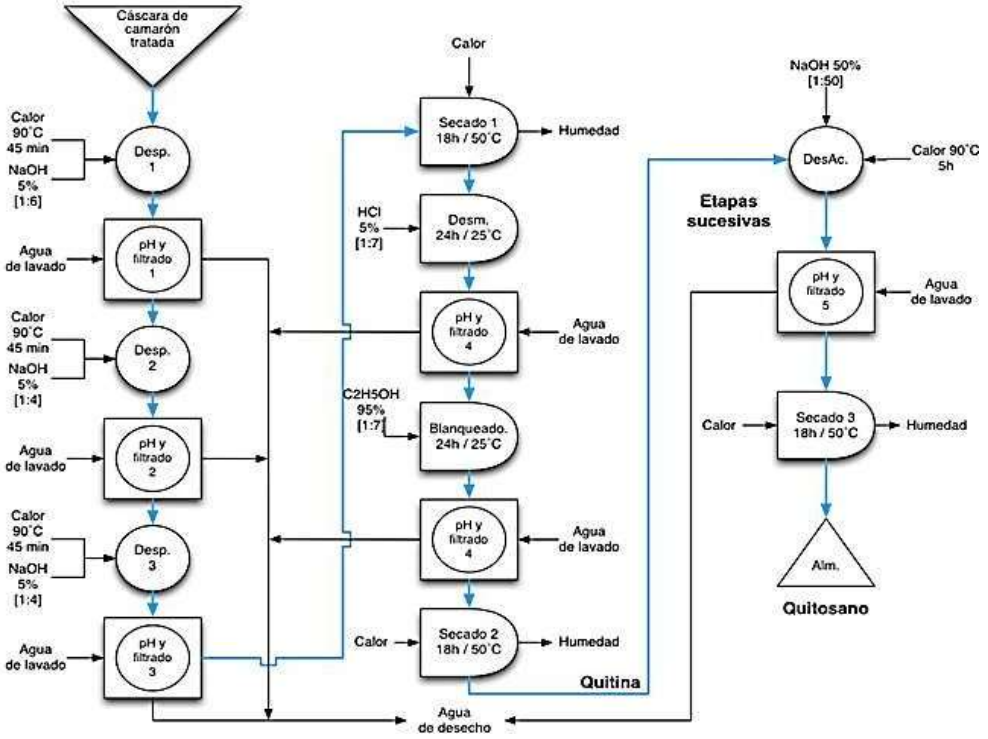


Figura 13

Pesaje de materia prima el exoesqueleto procesado de cangrejo (molido)



Figura 14

Preparación de solución de Hidróxido de Sodio a diferentes concentraciones para la alcalinización



Figura 15

Agregado de solución alcalina al polvo de exoesqueleto de cangrejo molido



Figura 16

Sedimentado, lavado y filtrado de polvo de exoesqueleto de cangrejo luego de la alcalinización



Figura 17

Acidificación de polvo de exoesqueleto de cangrejo



Figura 18

Aplicación de calor al exoesqueleto de cangrejo



Figura 19

Lavado y filtrado final del polvo de exoesqueleto de cangrejo



Figura 20

Secado final de biopolímero obtenido de exoesqueleto de cangrejo

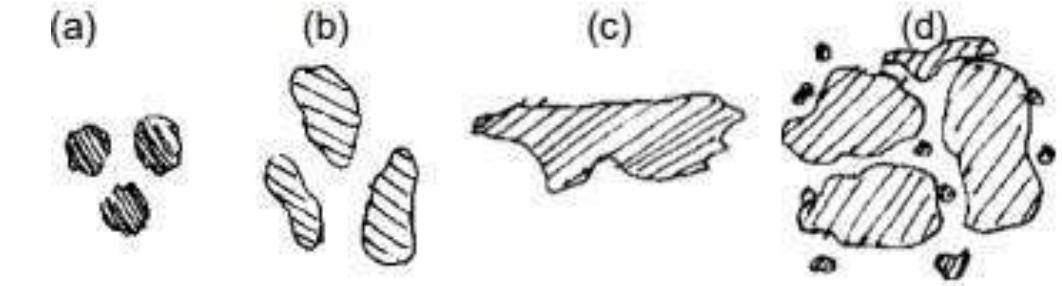


3.3.3.3.3. Determinación de tipo de floculo

Mediante observación visual se procedió a anotar la predominancia del tipo de flóculos según su forma, comparadas con la figura 10 y observando su estabilidad simple como floculo (Reátegui yValera, 2020).

Figura 21

Identificación de tipo de floculo



a= Semi esférico (Forma semi esférica con tamaños de 2 a 5 mm, aglomerado estable)
b= Semi alargado (Forma semi alargada con tamaños de 5 a 10 mm, aglomerado estable)
c= Aglomerado estable (Aglomerado amorfo extendido, aglomerado estable)
d= Aglomerado inestables (Aglomerado amorfo fraccionado, aglomerado inestable)

Para la determinación de los floculos se comparó os resultados obtenidos durante las pruebas, que consistía en agregar 5 ml de hidrocarburo, agitar a una velocidad uniforme y luego recuperar los floculos con un filtro mayor, así mismo se avalúa la forma de esto durante el proceso.

Figura 22

Agregando el HTP para la simulación



Figura 23

Agregado del biopolímero de cangrejo en el agua contaminada con HTP



Figura 24

Observando la formación y forma de los flóculos generados por el biopolímero



Figura 25

Flóculos formados durante las pruebas experimentales de biopolímero



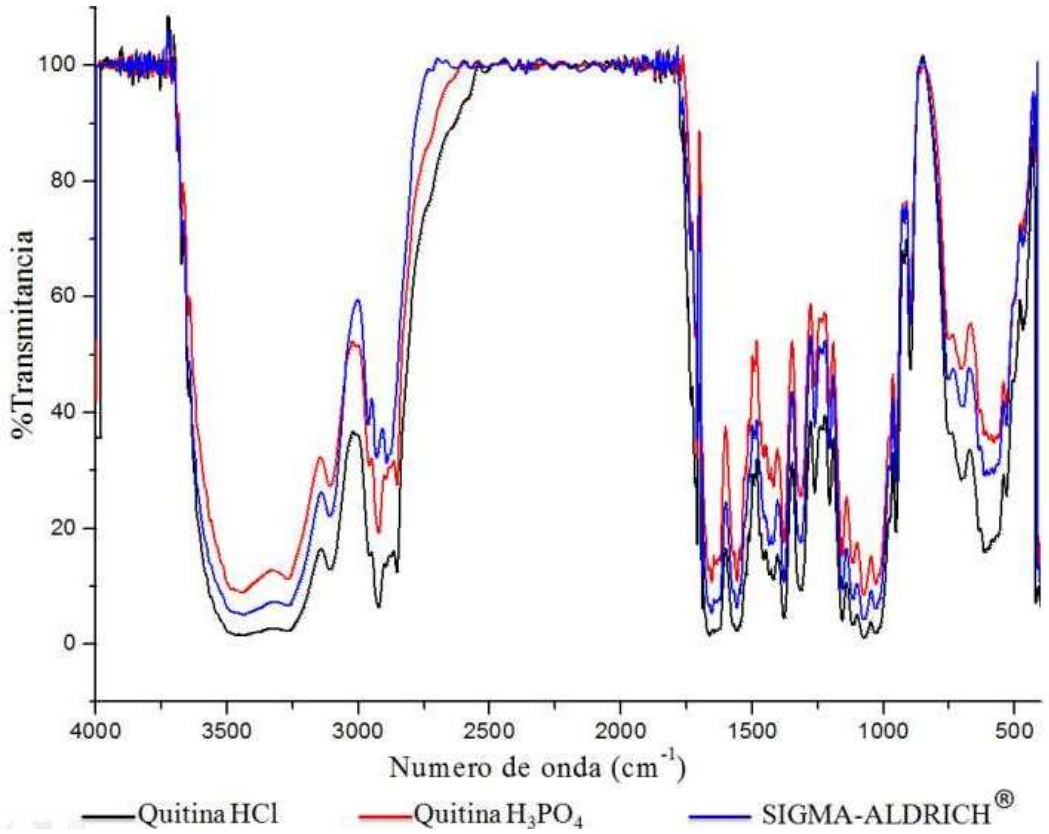
3.3.3.3.4. Determinación de la composición final del biopolímero por análisis Espectroscopia FTIR

La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) es una metodología que se emplea en la industria y en los laboratorios académicos para comprender la estructura de las moléculas individuales y la composición de las mezclas moleculares. La espectroscopia FTIR usa energía del infrarrojo medio

modulada para analizar una muestra. La luz infrarroja se absorbe a frecuencias específicas directamente relacionadas con las energías de enlace vibratorio interatómico de la molécula. Cuando la energía de enlace vibratorio y la luz infrarroja media son equivalentes, el enlace puede absorber dicha energía. Los diversos enlaces de una molécula vibran con energías diferentes y, por lo tanto, absorben longitudes de onda distintas de la radiación por infrarrojos (IR). La posición (frecuencia) e intensidad de cada una de estas bandas de absorción contribuye al espectro total, lo que crea una identificación característica de la molécula (Mettler Toledo, 2023).

Figura 26

Comparación de resultados de análisis químico que quitosano químicamente puro, quitosano comercial y el biopolímero de cangrejo



3.4. Tratamiento de datos

El análisis de datos se llevó a cabo utilizando el programa Excel donde se generó la base de datos para ser graficada y post analizada mediante el programa estadístico MINITAB 19 donde se calculó las medias obtenidas y se determinó la varianza y significancia entre los tratamientos por el método de Tukey. Se realizo el procesamiento y análisis de datos, utilizando como hoja de ordenada de datos el programa Microsoft Excel y el análisis estadístico trabajarlo con el programa SPSS 23, donde se analizó los resultados obtenidos de cada prueba, con el fin de dar una respuesta al problema y los objetivos planteados. Para tal los datos mediante un análisis inferencial y un Análisis de Varianza (ANOVA) de los tratamientos según corresponda.

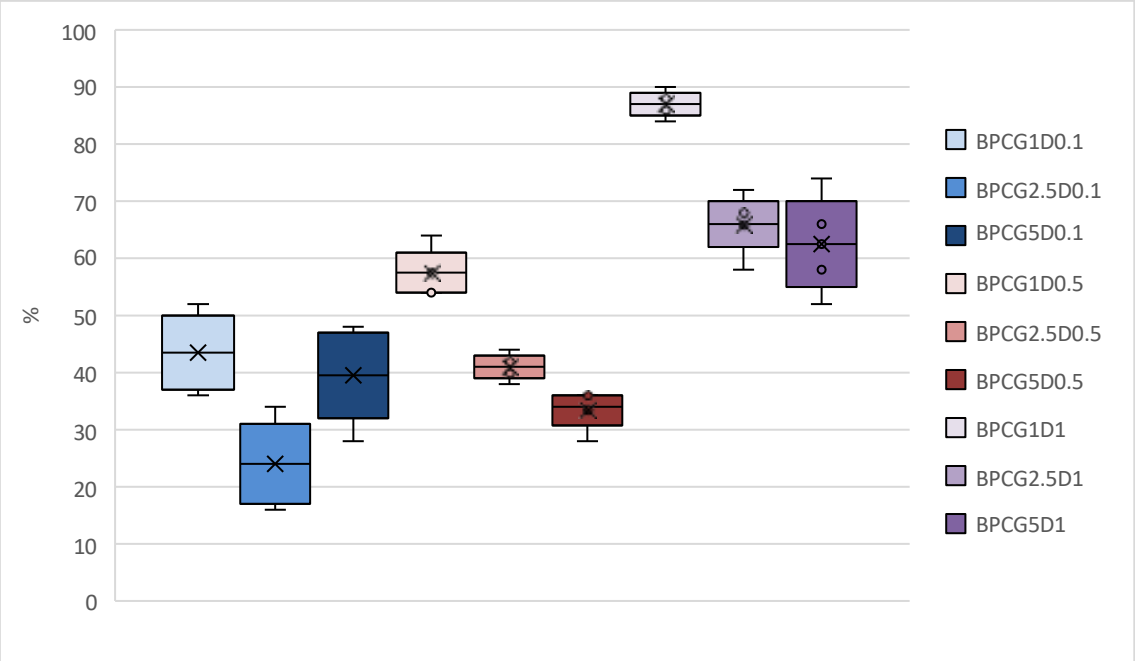
CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Eficiencia del biopolímero extraído de residuos de cangrejo para el tratamiento de aguas contaminadas por petróleo

Figura 27

Eficiencia del biopolímero extraído de residuos de cangrejo para el tratamiento de aguas contaminadas por petróleo



En la figura 27, se aprecia la eficiencia de reducción de petróleo del biopolímero extraído de residuos de cangrejo para el tratamiento de aguas contaminadas por petróleo, teniendo al tratamiento con mejor eficiencia al de Biopolímero de cangrejo de granulometría de 0.1 mm con una dosis de 1 gr/ ml HTP con una eficiencia de reducción en promedio de 87% y máxima de 90%. Seguido tenemos al tratamiento Biopolímero de cangrejo de granulometría de

2.5 a 5 mm con una dosis de 1 gr/ ml HTP con una eficiencia de reducción en promedio de 66% y máxima de 72%.

Tabla 5

Análisis de Varianza y Agrupación de Tukey según la eficiencia de los tratamientos del biopolímero de cangrejo

Fuente	**GL**	**SC Ajust.**	**MC Ajust.**	**Valor F**	**Valor p**
Tratamiento	8	12068	1508.50	34.43	0.000
Error	27	1183	43.81		
Total	35	13251			

Tratamiento	**N**	**Media**	**Agrupación**				
BPCG1D1	4	87.00	A				
BPCG2.5D1	4	66.00		B			
BPCG5D1	4	62.50		B			
BPCG1D0.5	4	57.50		B	C		
BPCG1D0.1	4	43.50			C	D	
BPCG2.5D0.5	4	41.00				D	
BPCG5D0.1	4	39.50				D	E
BPCG5D0.5	4	33.50				D	E
BPCG2.5D0.1	4	24.00					E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

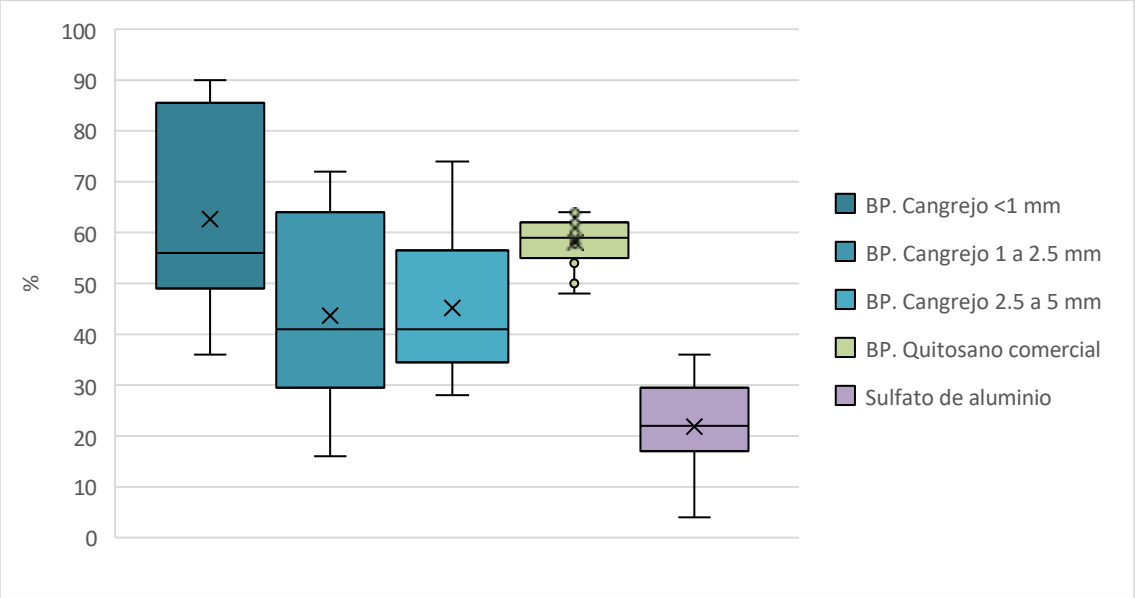
En la tabla 5, se aprecia el Análisis de Varianza y Agrupación de Tukey según la eficiencia de reducción de petróleo de los tratamientos del biopolímero de cangrejo, donde el valor p es de 0.000 siendo que es menor a 0.05 y un valor F de 34.43, se afirma que existe diferencia significativa en las eficiencias de los tratamientos del biopolímero de cangrejo. Así mismo se comparó por tratamientos mediante la agrupación de Tukey, dando como el mejor tratamiento según eficiencia en el grupo A el tratamiento BPCG1D1 (Biopolímero de

Cangrejo con granulometría menor a 1 mm con una dosis de 1 g / ml) con una eficiencia mayor al 87% con diferencia significativa a todos los tratamientos, seguido el grupo B a los tratamientos de BPCG2.5D1, BPCG5D1 y BPCG1D0.5 que no presentan diferencia significativas entre sí, el grupo C solo comparten los tratamientos BPCG1D0.5 y BPCG1D0.1 que no presentan diferencia significativas entre sí, el grupo D los tratamientos BPCG1D0.1, BPCG2.5D0.5, BPCG5D0.1y BPCG5D0.5 que no presentan diferencia significativas entre sí y por último el grupo E los tratamientos BPCG5D0.1, BPCG5D0.5 y BPCG2.5D0.1 que no presentan diferencia significativas entre sí. Dando como resultante que los tratamientos presentan eficiencias muy diferentes entre sí, siendo los mejores los primeros 3 tratamientos con eficiencias mayores al 60%.

4.2. Efecto de la granulometría del biopolímero en la floculación del petróleo

Figura 28

El efecto de la granulometría del biopolímero en la eficiencia de reducción de petróleo



En la figura 28, se aprecia el efecto de la granulometría del biopolímero en la en la eficiencia de reducción de petróleo, como se aprecia el Biopolímero de Cangrejo con granulometría de < 1mm presenta una eficiencia promedio de 62.7% de remoción de petróleo con un máximo de 90% y un mínimo del 36%, seguido el Biopolímero de Cangrejo con granulometría de 1 a 2.5 mm presenta una eficiencia promedio de 43.7% de remoción de petróleo con un máximo de 72% y un mínimo del 16%, el Biopolímero de Cangrejo con granulometría de 2.5 a 5 mm mm presenta una eficiencia promedio de 45.2% de remoción de petróleo con un máximo de 74% y un mínimo del 28%, las pruebas controles con Quitosano comercial presenta una eficiencia promedio de 58.2 % de remoción de petróleo con un máximo de 64% y un mínimo del 48% y las pruebas controles

con Sulfato de Aluminio presenta una eficiencia promedio de 21.8 % de remoción de petróleo con un máximo de 36% y un mínimo del 4%. Si jerarquizamos los resultados según su eficiencia, el Biopolímero de Cangrejo con granulometría de < 1mm tiene la mayor eficiencia, seguido por el de 2.5 a 5mm y por último tendríamos al biopolímero de 1 a 2.5 mm.

Tabla 6

Análisis de Varianza y Agrupación de Tukey según la eficiencia de reducción de petróleo de los tratamientos del biopolímero de cangrejo según la granulometría.

Fuente	**GL**	**SC Ajust.**	**MC Ajust.**		**Valor F**	**Valor p**
Granulometría	2	2678	1339.0		4.18	0.024
Error	33	10573	320.4			
Total	35	13251				
Granulometría	**N**	**Media**		**Agrupación**		
< 1	12	62.67	A			
2.5 a 5	12	45.17	A	B		
1 a 2.5	12	43.67		B		

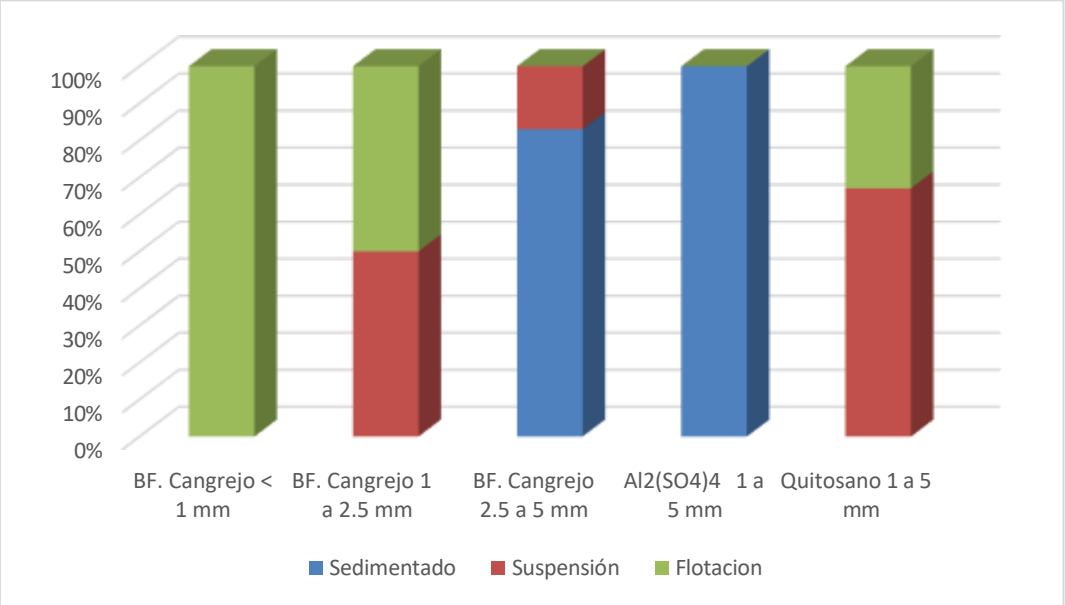
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En la tabla 6, se aprecia el Análisis de Varianza y Agrupación de Tukey según la eficiencia de reducción de petróleo a de los tratamientos del biopolímero de cangrejo según la granulometría, donde el valor p es de 0.024 siendo que es menor a 0.05 y un valor F de 4.18, se afirma que existe diferencia significativa en las eficiencias de los tratamientos del biopolímero de cangrejo según la granulometría. Así mismo se comparó por tratamientos mediante la agrupación de Tukey, dando como resultado que la granulometría menor a 1 mm presenta mayor eficiencia media comparada con las otras granulometrías de 2.5 a 5 mm y 1 a 2.5 mm.

4.3. Evaluación del tipo de flotabilidad que genera el biopolímero en acción con el petróleo

Figura 29

Tipo de flotabilidad que genera el biopolímero en acción con el petróleo



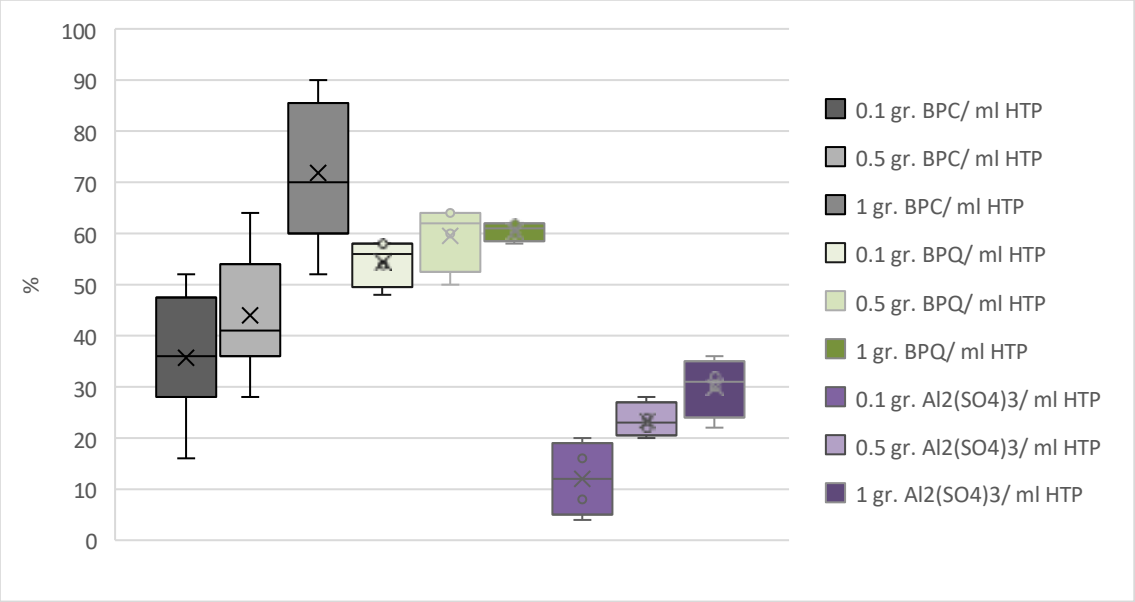
En la figura 29, apreciamos el Tipo de flotabilidad que genera el biopolímero en acción con el petróleo, como se aprecia que el Biopolímero de Cangrejo con granulometría de < 1mm en el 100% de las pruebas presenta flotabilidad de los floculos, el Biopolímero de Cangrejo con granulometría de 1 a 2.5 mm en el 50% de las pruebas presenta flotabilidad de los floculos y el otro 50% de las pruebas presenta suspensión de los floculos, el Biopolímero de Cangrejo con granulometría de 2.5 a 5 mm en el 83% de las pruebas presenta sedimentación de los floculos y el otro 17% de las pruebas presenta suspensión de los floculos, las pruebas controles con Sulfato de Aluminio el 100% de las pruebas presenta sedimentación de los floculos y en las pruebas con quitosano comercial el 67% de las pruebas presenta flotabilidad los floculos. Podemos observar que la granulometría del biopolímero influye en gran magnitud con la formación de los

floculos y su flotabilidad, a menor la granulometría es más probable que este se quede en flotación, lo cual será de vital importancia para determinar el método de captura o separación de los floculos.

4.4. Evaluar la dosis óptima de acción del biopolímero en la floculación del petróleo.

Figura 30

Dosis de biopolímero en la eficiencia de reducción de petróleo



En la figura 30, se aprecia la dosis de biopolímero en la eficiencia de reducción de petróleo, Biopolímero de Cangrejo (BPC) presento una eficiencia con la dosis de 0.1g BPC/ ml HTP presenta una eficiencia promedio de 35.7% de remoción de petróleo (HTP), la eficiencia de la dosis de 0.5g BPC / ml HTP presenta una eficiencia promedio de 47.9% de remoción de petróleo (HTP) y la eficiencia de la dosis de 1 BPC g/ ml HTP presenta una eficiencia promedio de 71.8 % de remoción de petróleo (HTP), se puede apreciar que existe un aumento de la eficiencia según la dosis aumenta en el caso del Biopolímero de Cangrejo.

En el caso de Biopolímero Comercial Quitosano (BPQ) la dosis de 0.1g BPQ/ ml HTP presenta una eficiencia promedio de 41.3% de remoción de petróleo (HTP), con la dosis de 0.5 g BPQ/ ml HTP presenta una eficiencia promedio de 56.7% de remoción de petróleo (HTP) y la dosis de 1g BPQ/ ml HTP presenta una eficiencia promedio de 45.3% de remoción de petróleo (HTP), presentando una estabilidad de la aplicación del Quitosano, ya que llega a un punto de saturación o eficiencia de este, no viéndose realmente afectado por la dosis. Así mismo el otro floculante de control el Sulfato de Aluminio (Al2(SO4)3) presento un eficiencia con la dosis de 0.1 g (Al2(SO4)3)/ ml HTP presenta una eficiencia promedio de 41.3% de remoción de petróleo (HTP), con la dosis de 0.5 g (Al2(SO4)3)/ ml HTP presenta una eficiencia promedio de 56.7% de remoción de petróleo (HTP) y con la dosis de 1 g (Al2(SO4)3)/ ml HTP presenta una eficiencia promedio de 45.3% de remoción de petróleo (HTP), de la misma manera que el Quitosano este floculante llega a un tope de saturación de su eficiencia, presentando una estabilidad con respecto la dosis.

Tabla 7

Análisis de Varianza y Agrupación de Tukey de en la eficiencia de reducción de petróleo de los tratamientos del biopolímero de cangrejo según la dosis.

Fuente	**GL**	**SC Ajust.**	**MC Ajust.**	**Valor F**	**Valor p**
Dosis	2	8609	4304.3	30.60	0.000
Error	33	4642	140.7		
Total	35	13251			

Dosis	**N**	**Media**	**Agrupación**	
1.0	12	71.83	A	
0.5	12	44.00		B
0.1	12	35.67		B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En la tabla 7, se aprecia el Análisis de Varianza y Agrupación de Tukey de en la eficiencia de reducción de petróleo de los tratamientos del biopolímero de cangrejo según la dosis, donde el valor p es de 0.000 siendo que es menor a 0.05 y un valor F de 30.60, se afirma que existe diferencia significativa en las eficiencias de los tratamientos del biopolímero de cangrejo según la Dosis. Así mismo se comparó por tratamientos mediante la agrupación de Tukey, dando como resultado que la Dosis de 1g/ml presenta mayor eficiencia media comparada con las otras Dosis de 0.5 y 0.1 gr/ml.

Mediante los resultados se puede apreciar que, si se presenta una eficiencia positiva en la remisión de hidrocarburos totales de petróleo del agua, este se debe a múltiples factores, como menciona El-Gaayda y otros (2021) donde indica que la floculación es una tecnología de tratamiento de agua y aguas residuales mediante la cual se forman grandes agregaciones de floculos en el agua y se separan posteriormente. Esto ya que la floculación con compuestos macromoleculares generalmente conduce a agregados más grandes y después de alcanzar su tamaño máximo (Vajihinejad y otros, 2019). Por tal la actividad floculante de los coagulantes naturales también depende de las propiedades químicas específicas del polímero. Una de las características clave del polímero incluye varios grupos funcionales. Los grupos funcionales particulares a evaluar son COO^- y OH^- ya que su existencia generalmente contribuye a la actividad floculante del coagulante natural. Además, el aumento de los grupos funcionales cargados positivamente permite más interacciones con las partículas suspendidas cargadas negativamente y, por lo tanto, mejora las capacidades de unión de los coagulantes naturales (Muylaert y otros, 2017). Esto se aplica a la neutralización de carga (NC) puede ocurrir si el polímero tiene una carga opuesta

a la de la superficie de las partículas coloidales. En este caso, la densidad de carga superficial de la partícula se reduce por la adsorción de las macromoléculas, lo que resulta en la desestabilización de esta partícula (las interacciones electrostáticas repulsivas se sustituyen por fuerzas de atracción) (Tao y otros , 2017). Los grupos hidroxilo presentes en la celulosa y el almidón, se pueden insertar fácilmente grupos carboxilo o aldehído reactivos en la estructura de las macromoléculas. Otro polisacárido, el quitosano, que contiene grupos amina y N -acetilo, también puede utilizarse como floculante. Sus propiedades dependen de su estructura química, rica en grupos funcionales, principalmente grupos hidroxilo, pero también amina, carbonilo, etc. La presencia de estos grupos funcionales contribuye a la adsorción eficaz de diversos contaminantes en el proceso de floculación (Maćczak y otro, 2020). Por tal es conocido que el quitosano tiene una alta afinidad por muchas clases de colorantes, y puede ser un sorbente universal de metales y surfactantes (Ang y otros, 2020). Al identificar a los hidrocarburos nos encontramos muchos compuestos, como los combustibles líquidos para el transporte existentes están compuestos por una mezcla de hidrocarburos con diferentes pesos moleculares, estructuras químicas y grados de ramificación (C 4 -C 12 para gasolina, C 9 -C 23 (C 16 promedio) para diésel y C 8 -C 16 para combustible para aviones) (Sunil , 2015). El grupo de los hidrocarburos aromáticos contiene no sólo el benceno sino también derivados como el tolueno (C 6 H 5 CH 3), los derivados isoméricos del dimetilbenceno (CH 3 C 6 H 4 CH 3),que presentan radiles libres (James, 2017). Los compuestos bases para los hidrocarburos, estan formado por atomos de carbono e hiudrogeno y se distinguen entre los alifaticos con cadena abierta o cerrada y los aromaticos con cadenas ciclicas, estoas terminaciones en su

mayoria tienen cadenas radicales externas a los hidrogenos y en algunos caso libres para enlazarce hacia los carbonos. Según la cantidad de Carbonos e Hidrogenos este cambia de nomenclatura y aumenta su densidad, obteniendoce productos como el gas natural, el petroleo , lubricantes y vaselina (Alcaraz y otros, 2015). Al evaluar la composicion quimica de los hidrocarburos obtnemos que si existe una afinidad quimica entre los compuestos del biopolimerto de cangrejo que es un componente de quitina con enlaces hidroxidos y aminos libres, que bien pueden ser puentes quimicos para varios de los hidrocarburos presentes en el petroleo, el cual apoyado con la carga electrica convalente de estos, genera una fuerza de atraxion quimica altamente probables, asi generando floculos estables, con gran capacidad de estabilizarce y formar floculos mayores, que facilita tu recoleccion.

Se puede observar la eficiencia positiva de biopolímero de cangrejo, superior a una 50%, con buena capacidad de recuperación, con dosis de 0.5 a 1 g/ml de HTP. Asi mismo Reátegui y Valera (2020), en el trabajo de investigación titulado “Aplicación de un biopolímero extraído a partir del exoesqueleto del camarón de rio (*Cryphiops Caementarius*) para la floculación de aguas contaminadas por derrames de petróleo, Ucayali 2019”, obtuvieron resultados de remisión de HTP del 96% con una dosis de 0.3g de BPC/ ml HTP. También Perez y otros (2020), aplico el biopolímero quitosano para la floculación de efluentes de emulsionados de petróleo, donde aplico el floculante en una dosis de 0.57 g/l a una muestra con una concentración inicial de HTP de 1.47 g/l, logrando una eficiencia de remoción del 98.61%, dando como relación 0.4 g de floculante por cada 1 gramo de HTP. También Álava (2015), en el estudio titulado “Aplicación de quitosano como biocoagulante en aguas residuales contaminadas con

hidrocarburos", obtuvo eficiencia de remoción del 99%, utilizando una dosis de 2 mg/ l. Rodríguez y otros (2012), en la investigación titulado "Eficiencia del quitosano como coagulante en el tratamiento de aguas asociadas a la producción de petróleo mediano", obtuvo remociones superiores al 80% para la concentración óptima de 4 mg/L.

Otros métodos de tratamiento del petróleo y aceites similares, como el estudio de Díaz y otros (2017), trato aguas residuales oleosas, donde el uso policloruro de aluminio obtuvo una remoción del 96% de hidrocarburos totales utilizando una dosis de 150 mg/l. Así mismo Cassano (2017), en su estudio utilizo al quitosano (QC) y Policloruro de Aluminio (PA) como floculante de crudo emulsionado, el PA aplicado con una dosis de 15 mg/l presento una eficiencia de reducción de Hidrocarburos totales del 82.77% y el QC aplicado con una dosis de 56 mg/l tuvo una eficiencia del 86.37% de remisión de Hidrocarburos totales. Andrade (2015), en el estudio titulado "Tratamiento de aguas contaminadas con crudo utilizando quitosano como adsorbente", donde obtuvo la máxima capacidad de adsorción del quitosano fue de 344,82 mg hidrocarburo/g adsorbente.

Otros métodos como el propuesto por Santander y otros (2010), remoción de aceites (petróleo) emulsificados en agua en celda de flotación tipo Jameson "jet" (convencional y modificada)", obtuvieron eficiencia de remoción mayores al 81%. Fuentes y Gutiérrez (2023), en el trabajo de investigación titulado "Eficiencia en la adsorción de hidrocarburos de aceites lubricantes mediante bagazo de quinua en cuerpos de agua a nivel de laboratorio 2023", donde como resultante con una dosis de 1gr de bagazo de quinua adsorbe 1 gr de Hidrocarburo, con una eficiencia del 75 al 100%.

CAPITULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se concluye que sí es factible aplicar el biopolímero obtenido de residuos de cangrejo como floculante para el tratamiento de aguas contaminadas por petróleo, debido a que alcanzó eficiencias de reducción de HTP entre 24% y 87% según el tratamiento, destacando el tratamiento BPC <0.1 mm y dosis 1 g/mL, con eficiencia media de 87% y un desempeño global favorable frente a los controles evaluados.
- Se concluye que la granulometría influye significativamente en la eficiencia de floculación y remoción del petróleo, en particular el biopolímero con granulometría menor a 1 mm presentó la mayor eficiencia promedio (62.67%), superando a las granulometrías de 1–2.5 mm (43.67%) y 2.5–5 mm (45.17%), evidenciando que partículas más finas favorecen la interacción biopolímero e hidrocarburo y optimizan la remoción.
- Se concluye que la granulometría condiciona el comportamiento físico de los flóculos, determinando su flotabilidad y, por tanto, el mecanismo de separación final, con granulometría <1 mm el biopolímero generó flóculos flotables en el 100% de las pruebas, mientras que con 1–2.5 mm se observó un comportamiento mixto (50% flotación y 50% suspensión) y con 2.5–5 mm predominó la sedimentación (83%), lo que demuestra que a mayor tamaño de partícula disminuye la flotabilidad y se vuelve más probable la sedimentación.

- Se concluye que la dosis óptima del biopolímero de cangrejo fue 1 g/mL de HTP, ya que alcanzó la mayor eficiencia media de remoción (71.8%), con diferencia significativa frente a las dosis de 0.5 g/mL (47.9%) y 0.1 g/mL (35.7%), en consecuencia, incrementar la dosis mejora la eficiencia, siendo 1 g/mL la condición más efectiva dentro del rango evaluado.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda promover el uso del biopolímero de cangrejo con granulometría fina (0.1 mm) como una alternativa eficiente y sostenible para el tratamiento de aguas contaminadas por hidrocarburos en zonas afectadas, fomentando su producción a escala piloto o industrial en Ucayali.
- Se sugiere estandarizar el proceso de molienda del biopolímero para obtener partículas de tamaño reducido, ya que granulometrías menores incrementan significativamente la eficiencia del tratamiento, optimizando el rendimiento del recurso.
- Se recomienda mantener granulometrías menores a 1 mm durante la preparación del biopolímero, ya que la flotabilidad de los flóculos facilita su recolección y separación del agua, mejorando el proceso de tratamiento.
- Se sugiere utilizar una dosis de 1 gr/ml como parámetro base en futuras aplicaciones prácticas o investigaciones, ajustando según condiciones específicas del agua a tratar, para mantener una eficiencia aceptable en la remoción de petróleo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÀFICAS

ABDULLAH AL BALUSHI Khadija Salim, Geetha DEVI, Amira Sulaiman RASHID KHAMIS AL GHARIBI, Mohammed Adeeb Salim ADEEB, Alaa Saif Mohammed AL HUDAIFI, & Siham Salim KHALFAN AL SHABIBI. (2021). Extraction of Bio Polymers from Crustacean Shells and its Application in Refinery Wastewater Treatment. *Walailak Journal of Science and Technology (WJST),* *18*(5), 11543. doi:https://doi.org/10.48048/wjst.2021.11543

Ahmed, A., Hassan, A. y Nour, M. (2021). Utilization of Chitosan Extracted from Shrimp Shell Waste in Wastewater Treatment as Low Cost Biosorbent. *Egyptian Journal of Chemistry,* *64*(2), 981-988. doi:https://doi.org/10.21608/ejchem.2020.43166.2871

Álava, J. M. (30 de Setiembre de 2015). Aplicación de quitosano como biocoagulante en aguas residuales contaminadas con hidrocarburos. *Enfoque UTE,* *6*(3), 52-64. doi:https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v6n3.69

Alcaraz de la Osa, Alba López Valenzuela, Miguel Quiroga, Leticia Cabezas. (2015). *Formulación y nomenclatura de Química Orgánica: Recomendaciones y nombres preferidos de la IUPAC de 2013.* Royal Society of Chemistry. Obtenido de https://fisiquimicamente.com/recursos-fisica-quimica/apuntes/formulacion-nomenclatura-quimica/organica/

Andrade Rivera, C. E. (2015). *Tratamiento de aguas contaminadas con crudo utilizando quitosano como adsorbente.* Quito Central del Ecuador:

Universidad. Obtenido de http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/5636

Ang, T.; Kiatkittipong, K.; Kiatkittipong, W.; Chua, S.; Lim, J.W.; Show, P.; Bashir, M.J.K.; Ho, Y. . (2020). Insight on extraction and characterisation of biopolymers as the green coagulants for microalgae harvestin. *Water, 12*(5), 1388. Obtenido de https://www.mdpi.com/2073-4441/12/5/1388

AQUA. (2006). Recuperado el 2023, de https://www.aqua.cl/2006/10/23/diversas-utilizaciones-de-los-residuos-de-crustaceos/

Arachchi, N., & Ismail, M. (2018). Gunawardena, S., Degree of deacetylation of chitin in Sri Lankan prawn shells (Penaeus semisulcatus) under different treatment methods. *International Journal of Engineering and Science (IJES),* *7*(10), 53-61. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612021000300053

Balakrishnan Akash ,Sowmya Appunni ,Mahendra Chinthala ,Meenu Mariam Jacob ,Dai-Viet N. Vo ,Soreddy Sainath Reddy yEmmanuel Sebastián Kunnel. (2023). Chitosan-based beads as sustainable adsorbents for wastewater remediation: a review. *Environ Chem Lett 21, 21*, 1881–1905. Obtenido de https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-023-01563-9#citeas

Benettayeb, A., Seihoub, FZ, Pal, P., Ghosh, S., Usman, M., Chia, CH, Usman, M. y Sillanpää, M. (2023). Nanopartículas de quitosano como nanoabsorbentes potenciales para la eliminación de contaminantes

ambientales tóxicos. *Nanomaterials, 13*(3), 447. doi:https://doi.org/10.3390/nano13030447

Cadeza, M. (2014). *Estudio de factibilidad para la implementación de una red de valor de quitosano extraído de Penaeus vannamei.* Cádiz, España: Universidad de Cádiz. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612021000300053

Carbajal, P., & Santamaría, J. (2017). *Guía ilustrada para reconocimiento de crustáceos braquiuros y anomuros con valor comercial del Perú.* Lima: Instituto del Mar del Perú (Imarpe). Obtenido de https://repositorio.imarpe.gob.pe/bitstream/20 500.12958/3202/1/Guia%20de%20crustaceos.pdf

Cassano Angela. (2017). *Comparacion de la efectividad del quitosano, policoruro de aluminio y sulfato de aluminio como floculante en el tratamiento de crudo emulsionado.* Maracaibo: Universidad Rafael Urdaneta. Obtenido de https://documentos.uru.edu/pdf/2101-17-11244.pdf

Dávalos Monteiro, R. L., Parada Rivera, M. M., Zambrano Vinueza, M. P., & Silva Yumi, E. J. (29 de Junio de 2022). Efecto de Remoción de Aceites y Sólidos en Agua de Formación Mediante Separación Gravimétrica y Tratamiento Químico con Dosificación Adecuada de Agentes Coagulante y Floculante. *The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M., 2*(2), 330-347. Obtenido de https://knepublishing.com/index.php/espoch/article/view/11401

Díaz, Miguel, Rivas, Lester, Fernández, Ditter, Salazar, Daylén, Miller, Sandra, & la Maza, Nora. (2017). Selección de programa químico de tratamiento para aguas residuales oleosas. *Centro Azúcar, 44*(2), 89-100. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2223-48612017000200010&script=sci_arttext

Dima, Jimena Bernadette; de Vido, Norma Alicia; Leal, Gustavo Adolfo; Baron, Pedro Jose. (2009). Fluctuations in the biochemical composition of the Patagonian stone crab Platyxanthus patagonicus A. Milne Edwards, 1879 (Platyxanthidae: Brachyura). *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas*. Obtenido de https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/CONICETDig_8246a9e54ae1a5b347cb23726990d69e?

Escobar, D., Castro, A., & Vergara, N. (2015). Determinación de la relación entre el porcentaje del grupo amino y el grado de desacetilación del quitosano. *Revista de Ciencias, 18*(1), 73-88. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0121-19352014000100006&lng=e&nrm=iso&tlng=es

Eswaran Rangasamy, VetriVarsha LalBahadur Muthu, Kamali Dhanabalan, Muniasamy Muniyandi,. (2024). Determination of proximate composition on some edible crabs with special reference to nutritional aspects collected from coastal waters of Rameshwaram, Tamil Nadu,. *Food Chemistry Advances, 4*, 100686. doi:https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100686

Flores López, J. L. (2022). *Remediación de agua de mar contaminada con petróleo crudo utilizando un biopolímero modificado a partir de los exoesqueletos de Litopenaeus vannamei (langostino).* Piura: Universidad Nacional de Piura. Obtenido de https://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/3193

Fuentes Arones, L. Y., & Gutierrez Bellido, R. S. (2023). *Eficiencia en la adsorción de hidrocarburos de aceites lubricantes mediante bagazo de quinua en cuerpos de agua a nivel de laboratorio 2023.* Lima: Universidad César Vallejo. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/112066

García Tadeo, T. G. (2022). *Análisis de mejora en el tratamiento de efluente de agua y oleosos por proceso químico.* México: Tecnológico Nacional de México. Obtenido de http://rinacional.tecnm.mx/handle/TecNM/5042

IDEAM. (2007). *DETERMINACIÓN DE GRASAS Y ACEITES EN AGUAS POR EL METODO SOXHLET* (2 ed.). (S. D.-G. AMBIENTAL, Ed.) Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/tph+por+m%C3%A9todo+Soxhlet..pdf/15096580-8833-415f-80dd-ceaa7888123d

Jaimes, N., & Miguel, A. (diciembre de 2012). Petróleo: historia y perspectivas geopolíticas. *Aldea Mundo, 17*(34). Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/543/54335426006.pdf

James G. Speight. (2017). *Environmental Organic Chemistry for Engineers / Chapter 2 - Organic Chemistry.* Butterworth-Heinemann,. Obtenido de

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128044926000022

Jamila El-Gaayda, Fatima Ezzahra Titchou, Rachid Oukhrib, Pow-Seng Yap, Tianqi Liu, Mohamed Hamdani, Rachid Ait Akbour. (2021). Natural flocculants for the treatment of wastewaters containing dyes or heavy metals: A state-of-the-art review. *Journal of Environmental Chemical Engineering,* *9*(5). Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221334372101037X

Khoushab, F., & Yamabhai, M. (2010). Chitin research revisited. *Marine drugs,* *8*(7), 1988-2012. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612021000300053

Lafuente, W., Soto, L., Lopez, C., & Dominguez Granda, L. (Junio de 2019). Efectos de un derrame de petróleo crudo en la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de un río amazónico ecuatoriano. *Ciencias Ambientales,* *53*(1). Obtenido de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-38962019000100001

Lárez Velásquez, C. (2006). Quitina y quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro. *Avances en Química, 1*(2), 15-21. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/933/93310204.pdf

López, L., & Correa, M. (Junio de 2012). iseño de una planta de producción de quitosano y otros productos a partir de residuos de camarón. *La sociedad*

académica(39), 15-23. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612021000300053

Luara Ribeiro, V. (2021). *Uso da concha de marisco na formulação de fluidos de perfuração de petróleo.* Brazil: Universidade Federal da Paraíba. Obtenido de https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/23457

Maćczak, P., Kaczmarek, H. y Ziegler-Borowska, M. (2020). Recent Achievements in Polymer Bio-Based Flocculants for Water Treatment. *Materials, 13*(18), 3951. Obtenido de https://www.mdpi.com/1996-1944/13/18/3951

Mettler Toledo. (2018). *Mettler Toledo*. Obtenido de https://www.mt.com/mx/es/home/applications/L1_AutoChem_Applications/L2_ParticleProcessing/Formulation_Flocculation.html

Mettler Toledo. (2023). Recuperado el 2023, de MT: https://www.mt.com/es/es/home/applications/L1_AutoChem_Applications/ftir-spectroscopy.html#:~:text=La%20espectroscopia%20infrarroja%20por%20transformada,composici%C3%B3n%20de%20las%20mezclas%20moleculares.

Ministerio del Ambiente. (24 de Enero de 2022). Obtenido de https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/578910-ministro-del-ambiente-recaba-informacion-sobre-verdaderas-causas-del-derrame-de-petroleo-en-nuestro-litoral

Muylaert, K.; Bastiaens, L.; Vandamme, D.; Gouveia, L. (2017). 5 - Harvesting of microalgae: Overview of process options and their strengths and drawbacks. *Microalgae-Based Biofuels and Bioproducts*, 113-132. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780081010235000054

Okamoto Mendoza, T. (2011). *Enclave extraction and unruly engagements: Oil spills, contamination and the Cocama-Cocamilla indigenous people in the Peruvian Amazon.* Oslo: Norwegian University of Life Sciences (UMB). Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-92122016000200003

Perez Calderon, John Freddy; Santos, Maria Victoria; Zaritzky, Noemi Elisabet. (2020). *Aplicación del biopolímero quitosano para la coagulación/floculación de efluentes emulsionados de petróleo.* La Plata: Universidad Nacional de La Plata. Obtenido de https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/195873

Pérez Muñoz, Y., López Martínez, S., Rodríguez Luna, A., & Ramos Arcos, S. (Diciembre de 2019). Evaluación de impacto socioambiental, por derrame de petróleo impacto socioambiental, por derrame de petróleo. *Journal of Basic Sciences, 5*(15). Obtenido de https://revistas.ujat.mx/index.php/jobs/article/view/3574

Poveda Arias, J. (2018). Quitina: Compuesto natural y práctico. *Investigación Joven,* *5*(1), 1-4. Obtenido de https://revistas.unlp.edu.ar/InvJov/article/view/4308

Rahman, A., Haque, MA, Ghosh, S., Shinu, P., Attimarad, M. y Kobayashi,. (2023). Quitosano modificado a base de camarón como adsorbente emergente para la eliminación de metales pesados (cromo, níquel, arsénico y cobalto) del agua contaminada. *Sustainability, 15*(3), 2431. doi:https://doi.org/10.3390/su15032431

Reátegui Ramos, P. K., & Valera Cueva, G. E. (2020). *Aplicación de un biopolímero extraído a partir del exoesqueleto del camarón de rio (Cryphiops Caementarius) para la floculación de aguas contaminadas por derrames de petróleo, Ucayali 2019.* Ucayali: Universidad Nacional de Ucayali. Obtenido de http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4549/UNU_AMBIENTAL_2020_TESIS_PAUL-REATEGUI_GRACIA-VALERA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rodríguez, Y., Oñate, H., Gutiérrez, E., & Caldera, Y. (2012). Eficiencia del quitosano como coagulante en el tratamiento de aguas asociadas a la producción de petróleo mediano. *Impacto Científico,* *7*(2), 218-228. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Yim-Rodriguez-2/publication/341763993_Revista_arbitrada_venezolana_del_Nucleo_LUZ-Costa_Oriental_del_Lago_Eficiencia_del_quitosano_como_coagulante_en_el_tratamiento_de_aguas_asociadas_a_la_produccion_de_petroleo_median

Roldan, L. (19 de Septiembre de 2019). Obtenido de ecologiaverde: https://www.ecologiaverde.com/crustaceos-que-son-tipos-caracteristicas-y-ejemplos-2242.html

Salazar, B., Noblecilla, L., & Cruz, G. (31 de Enero de 2022). Obtenido de Universidad de Piura: https://www.udep.edu.pe/hoy/2022/01/que-impactos-ambientales-ha-causado-derrame-de-petroleo/#:~:text=Consecuencias%20ambientales&text=Adem%C3%A1s%2C%20refiere%20que%20el%20derrame,la%20que%20pertenecen%20estas%20especies.

Santander, M., Rodrigues, R., & Rubio, J. (2010). Remoción de aceites (petróleo) emulsificados en agua por floculación-flotación jet. *Revista de la Facultad de Ingeniería*(24), 29-39. Obtenido de https://www.ufrgs.br/ltm/wp-content/uploads/2022/08/2010-Remocion-de-aceites-Petroleo-emulsificados-en-agua-por-floculacion-flotacion-Jet.pdf

Serrano Guzmán, M., TorradoGómez, L., & Pérez Ruiz, D. (Diciembre de 2013). Impacto de los derrames de crudo en las propiedades mecánicas de suelos arenosos. *Revista científica “General José María Córdova”, 11*(12). Obtenido de http://www.scielo.org.co/pdf/recig/v11n12/v11n12a12.pdf

SPDA. (19 de Enero de 2022). Obtenido de SPDA Actualidad Ambiental: https://www.actualidadambiental.pe/derrame-de-petroleo-en-ventanilla-sus-impactos-ambientales-en-el-mar-y-especies/

Sumaila A., Ndamitso MM, Iyaka YA, Abdulkareem, AS, Tijani JO, & Idris MO. (2020). Extracción y caracterización de quitosano de caparazones de cangrejo: estudios cinéticos y termodinámicos de la adsorción de arsénico

y cobre en aguas residuales de galvanoplastia. *Iraqi Journal of Science, 61*(9), 2156–2171. doi:https://doi.org/10.24996/ijs.2020.61.9.2

Sunil K. Maity. (2015). Opportunities, recent trends and challenges of integrated biorefinery: Part II. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 43*, 1446-1466. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032114007618

Tamayo Pacheco, J., Salvador Jácome, J., Vásquez Cordano, A., & de la Cruz Sandoval, R. (2015). *La industria de los hidrocarburos líquidos en el Perú: 20 años de aporte al desarrollo del país.* Lima: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. Obtenido de https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Libro-industria-hidrocarburos-liquidos-Peru.pdf

Tao, L.; Xuejun, W.; Guojun, S.; Guangpeng, C. (2017). Synthesis and flocculation performance of a chitosan-acrylamide-fulvic acid ternary copolymer. *Carbohydr. Polym.*(170), 182-189. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014486171730468X

Vajihinejad, V.; Gumfekar, S.P.; Bazoubandi, B.; Najafabadi, Z.R.; Soares, J.B.P. (2019). Water soluble polymer flocculants: Synthesis, characterization, and performance assessment. *Macromol. Mater. Eng., 304*(2). Obtenido de https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/mame.201800526

Wasiw, J., & Yepes, V. (Marzo de 2017). Evolución de la condición poblacional del camarón Cryphiops caementarius en el Río Cañete (2000-2015). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, 28*(1). Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172017000100002

Yan Yang, Shin Ying Foong, Yifeng He, Rock Keey Liew, Nyuk Ling Ma, Peter Nai Yuh Yek, Shengbo Ge, Mu. Naushad, Su Shiung Lam. (2024). Upcycling crab shell waste into biochar for treatment of palm oil mill effluent via microwave pyrolysis and activation. *Environmental Research, 248*, 118282. doi:https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118282

Yépez, V. (Agosto de 2009). Consideraciones acerca de la distribución y extracción del recurso «camarón» en ríos de la costa peruana. *Revista Pesca*, 9-11. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172017000100002

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Aplicación de un biopolímero extraído de residuos de cangrejo para el tratamiento de aguas contaminadas por petróleo, Ucayali, 2024					
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Dimensión	Indicadores
General	General	General	**Dependiente:**	Calidad del	pH (H+)
¿Es factible la aplicación de un biopolímero extraído de residuos de cangrejo para el tratamiento de aguas contaminadas por petróleo, Ucayali ,2024?	Aplicar un biopolímero extraído de residuos de cangrejo para el tratamiento de aguas contaminadas por petróleo, Ucayali, 2024	Si es factible la aplicación de un biopolímero extraído de residuos de cangrejo para el tratamiento de aguas contaminadas por petróleo, Ucayali ,2024	Petróleo en agua	agua	Conductividad (us/m) STD (mg/L) Oxigeno disuelto (mg/L)
Específicos	Específicos	Específicos			Aceites y Grasas totales (mg/L) Dureza (mg/L) Turbiedad (NTU)
¿Cuál es el efecto de la granulometría del biopolímero en la floculación del petróleo?	Evaluar el efecto de la granulometría del biopolímero en la floculación del petróleo.	La granulometría del biopolímero en no afecta la floculación del petróleo.		Grado API del Petróleo	
¿Cuál es el tipo de flotabilidad que genera el biopolímero en acción con el petróleo?	Evaluar el tipo de flotabilidad que genera el biopolímero en acción con el petróleo.	Se generan floculos flotables con la aplicación del biopolímero en acción con el petróleo.	**Independiente:** Biopolimero	Granulometría	Extra pesado Pesado Mediano Ligero >1 mm 1 a 2.5 mm 2.5 a 5 mm
				Floculo	Esférico Alargado Aglomerado
¿Cuál es la dosis óptima de acción del biopolímero en la floculación del petróleo?	Evaluar la dosis óptima de acción del biopolímero en la floculación del petróleo.	La dosis óptima de acción del biopolímero en la floculación del petróleo, es de 1g por ml de petroleo		Composición química	Quitosano Quitina Quitano

ANEXO 2: PANEL FOTOGRÁFICO



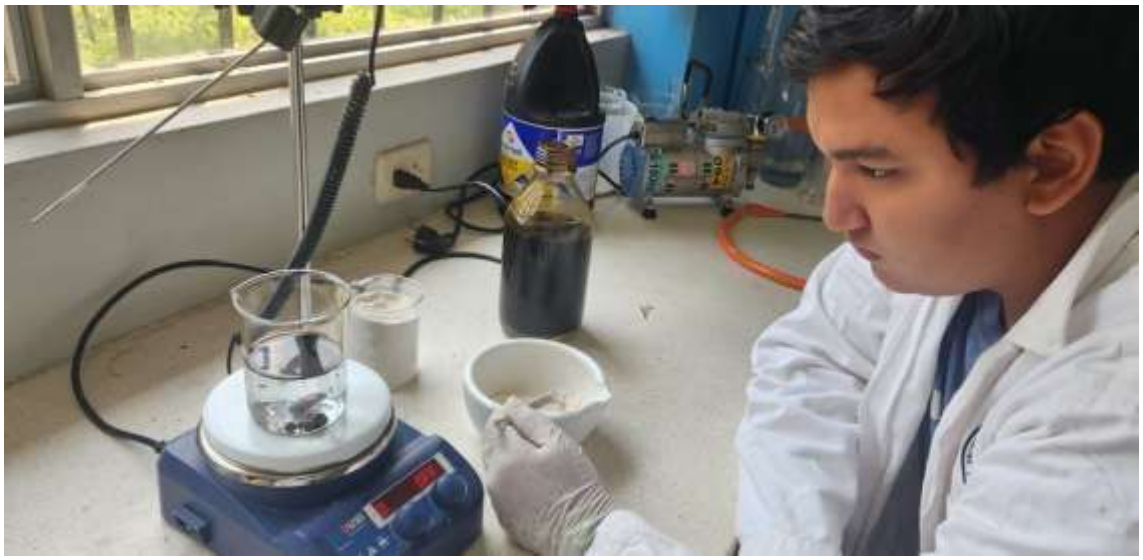














ANEXO 3: FICHA DE OBSERVACIÓN DE LABORATORIO

Lugar: Laboratorio de Química – Universidad Nacional de Ucayali

Fecha: _____ Hora: _____

Responsable: _____

Código de muestra: _____

1. Datos del Tratamiento

Tipo de floculante	**Biopolímero de cangrejo / Quitosano comercial / Sulfato de aluminio**
Granulometría	< 1 mm / 1 – 2.5 mm / 2.5 – 5 mm
Dosis aplicada	0.1 g/ml / 0.5 g/ml / 1.0 g/ml
Volumen de agua (mL)	_____
Volumen de petróleo (mL)	_____

2. Observación del Proceso de Floculación

Ítem observado	**Sí**	**No**	**Observaciones**
Formación visible de flóculos			
Rapidez de formación			
Flóculos de tamaño uniforme			
Resistencia a la agitación			
Buena separación agua–petróleo			

3. Tipo de Flóculo Formado

Forma	**Esférico / Alargado / Aglomerado**
Comportamiento	Flotable / En suspensión / Sedimentado

Tamaño	Pequeño / Mediano / Grande
Estabilidad	Alta / Media / Baja

4. Observación Final del Agua Tratada

Claridad del agua	**Muy clara / Clara / Turbia**
Presencia visible de petróleo	Sí / No
Presencia de sólidos	Sí / No
Olor final	Sin olor / Leve / Fuerte

5. Observaciones Adicionales

_____

_____

_____