

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
FACULTAD DE INGENIERÍA, GEOLOGICA, MINERA Y METALÚRGICA



TESIS

“OBTENCIÓN DE NANOFIBRAS POR ELECTROHILADO DEL  
QUITOSANO Y PVA EXTRAÍDO DE LAS PLUMAS DE DOSIDICUS  
GIGAS PARA LA REMOCIÓN DE Cr(VI) EN MINERÍA”

PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN  
MINERIA Y MEDIO AMBIENTE

ELABORADO POR:

JHONY FREDY HUARCAYA NINA

ASESOR:

M.Sc. Lic. RONNY GENARO HUAMANI PALOMINO

LIMA – PERÚ

2024

## **Dedicatoria**

*A mi único amor, mi madre, Rosa Senovia Nina Chambilla.*

## **Agradecimientos**

A la UNI mi alma mater y a los docentes de la FIGMM UNI por los conocimientos impartidos durante mis años de estudiante de posgrado.

Al MSc. Ronny Genaro Huamani Palomino, por la oportunidad de iniciarme en la investigación científica, paciencia y apoyo incondicional durante el desarrollo de la presente tesis, quien viene siendo un soporte día a día.

A los asesores especialistas que con sus correcciones y recomendaciones mejoraron el propósito de esta tesis de investigación.

A PROCENCIA, por la subvención entregada a través del concurso de proyectos de investigación “PROCENCIA-N°204-FONDECYT-2020, cuyo título fue: “Obtención de fibras inteligentes a partir de nanobiomateriales/PET reciclado con potencial aplicación en el sector biotecnológico. Una propuesta basada en el aprovechamiento de residuos sólidos para la preparación de nuevos (bio)materiales con un alto valor agregado”, sin la cual esta investigación no se hubiera podido llevar a cabo. Asimismo, a los colegas: Dra. María Quintana Cáveda, MSc Luyo, MSc Bryan Manuel Córdova Vélez, MSc Arnold Tello Sánchez y Dr. Harry Rivera Tito por su apoyo en la caracterización fisicoquímica.

## Índice de Contenidos

	Pág.
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos .....	iii
Lista de Tablas .....	vii
Lista de Figuras .....	ix
Resumen.....	xii
Abstract.....	xiii
Introducción .....	xiv
CAPÍTULO I. PROTOCOLO DE LA INVESTIGACIÓN .....	1
1.1 Identificación y Descripción del Problema de estudio .....	1
1.1.1 Formulación del Problema General .....	1
1.1.2 Formulación de los Problemas Específicos .....	4
1.2 Objetivos .....	4
1.2.1 Formulación del Objetivo general .....	4
1.2.2 Formulación de los Objetivos específicos.....	5
1.3 Hipótesis y variables .....	5
1.3.1 Formulación de la Hipótesis General .....	5
1.3.2 Formulación de las Hipótesis Específicas.....	5
1.3.3 Variables .....	6
CAPÍTULO II. MARCO TEORICO .....	7
2.1 Antecedentes de la Investigación .....	7
2.2 Bases Teóricas .....	10
2.2.1 Electrohilado .....	10
2.2.2 Nanofibras.....	16
2.2.3 Polímeros .....	19

2.2.4	Contaminación del agua por metales pesados .....	22
2.2.5	Prueba estadística de Efectos Inter-Sujetos .....	26
2.2.6	Definiciones estadísticas.....	26
2.3	Definición de Términos .....	27
2.3.1	Aguas residuales.....	27
2.3.2	Límites Máximos Permisibles.....	27
2.3.3	Estándar de Calidad Ambiental.....	28
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....		29
3.1	Tipo y nivel de investigación y diseño de investigación .....	29
3.2	Población y muestra.....	30
3.3	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	30
3.4	Técnicas de procesamiento y análisis de dato .....	31
3.5	Desarrollo de la tesis.....	31
3.5.1	Extracción y caracterización de Quitosano a partir de plumas de calamar ( <i>Dosidicus gigas</i> ).....	31
3.5.2	Obtención de nanofibras a partir de Quitosano, PVA y Quitosano/PVA a diferentes concentraciones mediante el método de Electrohilado .....	45
3.5.3	Caracterización de las nanofibras a partir de Quitosano, PVA y Quitosano/PVA a diferentes concentraciones.....	47
3.5.4	Evaluación de la remoción de Cr(VI) a partir de las nanofibras de Quitosano y Quitosano/PVA a diferentes concentraciones .....	48
3.5.5	Evaluación de las propiedades termodinámicas y cinéticas de la remoción de Cr(VI) con nanofibras .....	49
CAPÍTULO IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....		51
4.1	Resultados .....	51

4.1.1	Caracterización de plumas de calamar ( <i>Dosidicus gigas</i> , materia prima), Quitina y Quitosano .....	51
4.1.2	Caracterización de nanofibras de PVA/Quitosano.....	65
4.1.3	Porcentaje absorción de Cr(VI) a partir de nanofibras .....	69
4.2	Discusión e Interpretación de Resultados.....	80
4.2.1	Análisis de la composición fisicoquímica de la pluma de calamar, quitina y Quitosano .....	80
4.2.2	Análisis % de absorción de Cr(VI) en soluciones acuosas .....	88
4.3	Contratación de la Hipótesis .....	91
4.3.1	Prueba Estadística .....	91
4.3.2	Análisis de las hipótesis .....	92
	CONCLUSIONES .....	95
	RECOMENDACIONES.....	99
	REFERENCIAS .....	100
	ANEXO.....	109

## Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de activadas minero-metalúrgicas .....	27
Tabla 2 Valores de los estándares de calidad de suelos. ....	28
Tabla 3 Masas de materia prima, $Q_i$ , $Q_1$ , $Q_2$ y $Q_3$ .....	45
Tabla 4 Humedad de plumas de calamar, quitina y Quitosano a diferentes grados de acetilación.....	52
Tabla 5 Ceniza de plumas de calamar, quitina y Quitosano a diferentes grados de acetilación.....	53
Tabla 6 Información de las bandas de FTIR de los principales grupos funcionales presentes en la $Q_i$ .....	57
Tabla 7 Información de las bandas de FT-IR de los principales grupos funcionales presentes en la $Q_c$ . ....	58
Tabla 8 Información de las bandas de FTIR de los principales grupos funcionales presentes en la $Q_1$ .....	59
Tabla 9 Información de las bandas de FTIR de los principales grupos funcionales presentes en la $Q_2$ . ....	60
Tabla 10 Información de las bandas de FTIR de los principales grupos funcionales presentes en la $Q_3$ . ....	61
Tabla 11 Volumen de muestra de control y blanco. ....	64
Tabla 12 Porcentaje de inhibición de MP, $Q_i$ , $Q_c$ , $Q_1$ , $Q_2$ y $Q_3$ . ....	65
Tabla 13 Masas de PVA/Quitosano.....	69
Tabla 14 Remoción de Cr(VI) a partir de PVA/Quitosano a diferentes masas .....	69
Tabla 15 % Remoción de Cr(VI) a diferentes grados de acetilación. ....	70

Tabla 16 % Remoción de Cr(VI) a diferente concentración .....	73
Tabla 17 Concentración final de Cr(VI) a diferentes pH. ....	75
Tabla 18 Resultados del diseño de experimento 3 <sup>3</sup> para las pruebas de remoción de Cr(VI) .....	76
Tabla 19 Datos para la obtención de la cinética de sorción de pseudosegundo.....	77
Tabla 20 Valores de los parámetros cinéticos de pseudo primer y segundo orden para la remoción de iones de Cromo (VI). ....	79
Tabla 21 Prueba estadística efectos inter-sujetos para ajuste de resultados de la remoción de Cr(VI) en soluciones acidas con nanofibras .....	92



## Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 (A) nanofibras porosas. (B) nanofibras planas. (C) nanofibras huecas. (D) nanofibras ramificadas.....	17
Figura 2 Plumas de calamar ( <i>Dosidicus gigas</i> ) .....	32
Figura 3 Trituración de plumas de calamar ( <i>Dosidicus gigas</i> ).....	33
Figura 4 (A) Preparación de solución de HCl a 1M. (B) homogenización de muestra con HCl. (C) proceso de desmineralización de la muestra de pluma de calamar.....	34
Figura 5 Diagrama del proceso de desmineralización de plumas de calamar .....	35
Figura 6 (A) preparación de solución NaOH a 4.36 M. (B) dilución de la muestra de pluma de calamar. (C) muestra de quitina desproteinizada.....	36
Figura 7 Muestra de quitina a temperatura de 92°C.....	37
Figura 8 (A) equipos de filtración. (B) filtración de muestra de Quitosano. (C) secado de muestra de Quitosano en una estufa.....	38
Figura 9 Diagrama del proceso de obtención de Quitosano a diferentes grados de acetilación.....	39
Figura 10 (A) Calibración del medidor de conductividad. (B) y (C) medición de la conductividad.....	42
Figura 11 (A) fenoftaleína. (B) preparación de solución de fenoftaleína para la titulación de la concentración de NaOH. (C) titulación de NaOH con fenolftaleína.....	43
Figura 12 (A) Electrohilado. (B) solución de PVA/Quitosano en la jeringa, listo para la obtención de nanofibras. (C) formación del cono de Taylor de la solución polimérica. (D) obtención de nanofibras de PVA/Quitosano.....	46
Figura 13 Quitosano a diferentes grados de acetilación. ....	52
Figura 14 Valoración conductimétrica de Qc.....	54
Figura 15 Valoración conductimétrica de Q <sub>1</sub> . ....	54

Figura 16 Valoración conductimétrica de Q <sub>2</sub> .	55
Figura 17 Valoración conductimétrica de Q <sub>3</sub>	55
Figura 18 Muestras de Quitosano a diferentes grados de acetilación	56
Figura 19 Espectro IR de Quitina	57
Figura 20 Espectro IR de Q <sub>c</sub> .	58
Figura 21 Espectro IR de Q <sub>1</sub> .	59
Figura 22 Espectro IR de Q <sub>2</sub> .	60
Figura 23 Espectro IR de Q <sub>3</sub> .	61
Figura 24 Curva XDR de plumas de calamar.	62
Figura 25 Difractograma obtenido por DRX de Q <sub>c</sub> .	62
Figura 26 Difractograma obtenido por DRX de Q <sub>1</sub> .	63
Figura 27 Difractograma obtenido por DRX de Q <sub>2</sub> .	63
Figura 28 Difractograma obtenido por DRX de Q <sub>3</sub> .	64
Figura 29 Formación de nanofibras con el método de electrohilado.	66
Figura 30 Estudio morfológico de: (A) PVA, (B) PVA/Quitosano al 75%, (C) PVA/Quitosano al 85% y (D) PVA/Quitosano al 97 %	67
Figura 31 Imágenes AFM de: (A) PVA, (B) PVA/Quitosano al 75%, (C) PVA/Quitosano al 85% y (D) PVA/Quitosano al 97 %	68
Figura 32 % Remoción de Cr(VI) a diferentes masas.	70
Figura 33 Variación de los espectros de absorción de Cr(VI) con el PVA/Quitosano a diferentes grados de acetilación.	71
Figura 34 Remoción de Cr(VI) (A) PVA/ Q <sub>1</sub> , (B) PVA/ Q <sub>2</sub> , (C) PVA/ Q <sub>3</sub> y (D) PVA.	72
Figura 35 Remoción de Cr(VI) en periodos de 30 minutos.	73
Figura 36 Remoción a diferentes concentraciones de Cr(VI).	74

Figura 37 Efectos del pH sobre la capacidad de absorción de PVA/Quitosano. ....	75
Figura 38 Cinética de sorción de pseudosegundo orden para la sorción de Cr(VI). ....	78
Figura 39 Isoterma de absorción de Langmuir .....	78
Figura 40 Isoterma de absorción de Freundlich. ....	79

## Resumen

Actualmente, el auge minero y la exportación de minerales han incrementado la producción minera a nivel mundial. Sin embargo, este crecimiento ha generado aguas ácidas que se dispersan en cuerpos de agua, disminuyendo la fauna acuática y afectando la calidad del suelo. El Cr(VI) es uno de los metales más problemáticos, con concentraciones superiores a 0.05 mg/l que pueden causar cáncer, irritación cutánea y corrosión de la piel. Este metal es altamente tóxico y perjudicial para la salud humana, por lo que es crucial plantear medidas de control y mitigación.

Esta investigación se centró en la colección y preparación de nanofibras a partir de plumas de calamar (*Dosidicus gigas*), utilizando el método de electrohilado. Las nanofibras fueron caracterizadas mediante Espectrofotometría de IR-TF, DRX, UV-VIS y análisis fisicoquímicos. Asimismo, se evaluó la materia prima (plumas de calamar), la quitina y el quitosano extraído variando la temperatura para obtener quitosano a partir de plumas de calamar. Además, se utilizó microscopía SEM y evaluación mediante AFM para la caracterización química de las nanofibras obtenidas.

Los rendimientos de quitina y quitosano a diferentes grados de acetilación ( $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_3$ ) variaron significativamente:  $Q_i$  6.70 %,  $Q_1$  7.3 %,  $Q_2$  8.7 % y  $Q_3$  6.7 %. El análisis de la isoterma de Langmuir mostró una alta absorción a pH cercanos a 2, indicando una interacción altamente específica entre los sitios activos del quitosano y los iones de Cr, alcanzando el equilibrio en aproximadamente 6 horas. La capacidad máxima de absorción se logró con nanofibras de PVA/Quitosano con un grado de acetilación del 15 % (131.58 mg/g), siendo la masa más óptima de 0.04 g. Esto destaca las nanofibras de PVA/Quitosano como un material prometedor para la remoción de soluciones ácidas contaminadas con Cr(VI).

## **Abstract**

Currently, the mining boom and the export of minerals have increased mining production worldwide. However, this growth has generated acidic waters that are dispersed in bodies of water, diminishing aquatic fauna and affecting soil quality. Cr (VI) is one of the most problematic metals, with concentrations above 0.05 mg/l that can cause cancer, skin irritation and skin corrosion. This metal is highly toxic and detrimental to human health, so it is crucial to consider control and mitigation measures.

This research focused on the collection and preparation of nanofibers from squid (*Dosidicus gigas*) feathers using the Electrohilado method. The nanofibers were characterized by IR-TF spectrophotometry, XRD, UV-VIS and physicochemical analysis. Also, the raw material (squid feathers), chitin and extracted chitosan were evaluated by varying the temperature to obtain chitosan from squid feathers. In addition, SEM microscopy and AFM evaluation were used for the chemical characterization of the nanofibers obtained.

The yields of chitin and chitosan at different degrees of acetylation (Q1, Q2 and Q3) varied significantly: Qi 6.70 %, Q1 7.3 %, Q2 8.7 % and Q3 6.7 %. Langmuir isotherm analysis showed high adsorption at pH close to 2, indicating a highly specific interaction between the active sites of chitosan and Cr ions, reaching equilibrium in approximately 6 hours. The maximum adsorption capacity was achieved with PVA/chitosan nanofibers with an acetylation degree of 15 % (131.58 mg/g), with the most optimal mass being 0.04 g. This highlights PVA/chitosan nanofibers as a promising material for the removal of Cr(VI)-contaminated acidic solutions.

## Introducción

Actualmente, el auge minero y la exportación de minerales han resultado en un aumento significativo en la producción minera a nivel mundial. Sin embargo, este crecimiento ha conllevado, en ciertos casos, la generación de aguas ácidas y su consiguiente dispersión en cuerpos de agua, lo que ha causado la disminución de la fauna acuática y ha impactado negativamente la calidad del suelo. Según datos estadísticos globales, se estima que aproximadamente el 70 % de las empresas mineras a nivel mundial enfrentan desafíos relacionados con la generación de aguas ácidas y su impacto ambiental (IAGUA, 2023).

Los iones de metales pesados en aguas ácidas representan una amenaza grave tanto para los organismos vivos como para el medio ambiente debido a su persistencia y propiedades tóxicas. Metales como el plomo, mercurio, cromo, cadmio y arsénico llegan a los ecosistemas a través de diversos procesos industriales, actividades mineras y una eliminación inadecuada de residuos (Wanjiya et al., 2024). Una vez liberados, estos metales contaminan el aire, el agua y el suelo, lo que tiene consecuencias devastadoras. Para los organismos vivos, los iones de metales pesados pueden perturbar procesos biológicos cruciales, resultando en daño celular, disfunción de órganos e incluso la muerte. Además, estos metales pueden acumularse en la cadena alimentaria, lo que plantea riesgos para la salud humana a través del consumo de alimentos contaminados. A nivel ambiental, la contaminación por metales pesados causa una degradación a largo plazo de los ecosistemas, con efectos que van desde la reducción de la biodiversidad hasta la infertilidad del suelo y la contaminación del agua (Rajan & Nandimandalam, 2024). Combatir esta contaminación requiere la implementación de regulaciones estrictas, prácticas responsables de gestión de residuos e investigación continua para mitigar su impacto significativo.

En este contexto, el cromo hexavalente (Cr(VI)) se destaca como uno de los metales más problemáticos para la salud y el medio ambiente, con concentraciones

superiores a 0,05 mg/l que pueden provocar efectos negativos como el riesgo de cáncer, irritación cutánea y corrosión de la piel. Este metal tiene un impacto significativo en la población debido a su toxicidad y a los graves problemas de salud que puede ocasionar en humanos y animales (Saravanan et al., 2016).

Las técnicas convencionales comúnmente empleadas para la eliminación del Cr(VI) de los efluentes industriales incluyen la precipitación química, la ósmosis inversa, el intercambio iónico, la absorción, la filtración por membrana y los tratamientos electroquímicos (Ng et al., 2002). Sin embargo, la mayoría de estas metodologías resultan ineficaces y/o costosas. Específicamente, la absorción se destaca como el método más prometedor para la remoción del Cr(VI) debido a su simplicidad operativa, bajo costo y alta eficacia (Wu et al., 2012).

Por otro lado, se han reportado numerosos adsorbentes convencionales, como el carbón activado, la alúmina activa y el biosorbente compuesto de Quitosano (Boddu et al., 2003). En comparación con estos materiales tradicionales, los adsorbentes nanoestructurados, que poseen una mayor área superficial específica y una distribución adecuada del tamaño de poro, muestran un gran potencial para la eliminación de iones de metales pesados. Entre estos materiales se encuentran las nanopartículas de hierro, nanopartículas de Quitosano y las nanopartículas magnéticas, entre otros (Liu et al., 2009). Sin embargo, aún existen limitaciones que restringen su aplicación en el tratamiento de aguas residuales, como la agregación fácil y la dificultad de separación de las soluciones acuosas debido a su pequeño tamaño en el rango nano.

El electrohilado se presenta como un método efectivo para la preparación de materiales funcionales distribuciones más homogéneas, como las nanofibras núcleo-cubierta, las fibras de tamiz molecular, las nanoestructuras en forma de collar, los nanocompuestos soportados por polímeros y los polímeros híbridos naturales-sintéticos (Espíndola-González et al., 2011).

Recientemente, las membranas nanofibrosas electrohiladas han demostrado ser exitosas en la eliminación de iones de metales pesados, destacándose las membranas

nanofibras de Quitosano, las membranas de nanofibras de poliacrilonitrilo aminado, entre otras, por sus excelentes actuaciones y prometedoras perspectivas de aplicación. Estas membranas no solo evitan la aglomeración con dificultad, sino que también pueden separarse de la fase líquida más fácilmente que los adsorbentes magnéticos convencionales (S. Haider & Park, 2009).



# CAPÍTULO I. PROTOCOLO DE LA INVESTIGACIÓN

## 1.1 Identificación y Descripción del Problema de estudio

### 1.1.1 Formulación del Problema General

A nivel mundial, los metales pesados son reconocidos como contaminantes más significativos, con un impacto considerable en el medio ambiente. Esto se atribuye a su alta toxicidad y su persistencia prolongada en cuerpos de agua y suelos, generando consecuencias negativas para el entorno (Nour et al., 2021). A pesar de la importancia de los metales en los procesos vitales de los organismos, su presencia en concentraciones elevadas puede ocasionar enfermedades graves, incluso con riesgo de mortalidad, al superar los límites permitidos (Naggar et al., 2022).

Los metales están presentes en todos los procesos biogeoquímicos, generalmente en concentraciones bajas. Sin embargo, estas concentraciones pueden causar alteraciones en los ciclos biogeoquímicos, la biodiversidad y la salud pública, ya sea en niveles bajos o elevados (Sharifuzzaman et al., 2015). En ocasiones, la presencia de estos metales puede dar lugar a problemas ambientales, afectando no solo al suelo, sino también provocando cambios en la composición de los cuerpos de agua.

El cromo (Cr) destaca como uno de los metales más prevalentes en la corteza terrestre, con una concentración aproximada de  $100 \text{ mg/kg}^{-1}$  (Naggar et al., 2022). A lo largo del tiempo, este metal, ha ganado importancia en diversas aplicaciones industriales, como la minería, metalurgia del acero, curtido, galvanoplastia, textiles y baterías (Cai et al., 2018). Estas actividades generan concentraciones variables de Cr en soluciones acuosas, donde puede encontrarse en formas Cr(VI) y Cr(III), manifestándose así en distintas valencias (Y. Li et al., 2022). Sin embargo, el Cr, especialmente en su forma Cr(VI), se convierte en un contaminante relevante en descargas de actividades mineras, impactando negativamente en la calidad del agua y el suelo mediante la formación de lixiviados y modificaciones en cuerpos de agua. La toxicidad asociada al Cr(VI) es significativamente mayor que la del Cr(III), debido a su difícil oxidación, alta movilidad y biotoxicidad. Sus

efectos pueden incluir enfermedades cancerígenas, mutagénicas y teratogénicas, consolidándolo como una de las ocho sustancias químicas más peligrosas del mundo (L. Luo et al., 2016).

América Latina se destaca como uno de los principales exportadores de metales preciosos, lo que contribuye a un elevado índice de contaminación en comparación con otros continentes (Urbasos, 2023). Sin embargo, esta situación también conlleva a que muchos de los tratamientos de aguas ácidas y residuos generados durante la etapa del proyecto minero no sean supervisados, resultando en un alto índice de contaminación.

Perú, como uno de los mayores productores de metales preciosos en la región, experimenta una significativa contribución económica por parte del sector minero (ExpoMina, 2024). No obstante, la actividad minera enfrenta desafíos significativos en cuanto a la regulación y el cumplimiento de normativas ambientales. En muchas ocasiones, se generan grandes cantidades de aguas ácidas, y muchas de ellas no son tratadas adecuadamente antes de su disposición final, lo que lleva a la disminución de la fauna y flora acuática debido a las altas concentraciones de metales, incluido el Cr(VI) (Texeira et al., 2023). La presencia de concentraciones de Cr(VI) disueltas en cuerpos de agua y su tratamiento, así como la forma en que se diluye el Cr(VI), representan un problema no solo a nivel social, sino también ambiental. Por lo tanto, existen diversos métodos no convencionales para remediar aguas contaminadas con metales pesados, como la fitoextracción, la fitorremediación, la bioacumulación y la bioabsorción, que utilizan plantas, microorganismos u otros organismos vivos para eliminar o inmovilizar los metales. Estos métodos aprovechan la capacidad de ciertas especies para acumular metales pesados en sus tejidos, reduciendo así la concentración en el agua. Por otro lado, los métodos convencionales incluyen la coagulación-floculación, la precipitación, la absorción con carbón activado, la filtración por membranas y el intercambio iónico, que son ampliamente utilizados en plantas de tratamiento de agua para eliminar metales pesados mediante procesos físicos y químicos (Hou et al., 2018) .

Entre los métodos más económicos y viables se encuentran los procesos de absorción, que presentan un costo muy bajo en comparación con métodos convencionales como la coagulación química y las técnicas electroquímicas de filtración por membranas (C. J. Li et al., 2014). Se han desarrollado varios métodos para la eliminación de Cr(VI), y la absorción destaca por sus ventajas de bajo costo de procesamiento, facilidad de operación y ausencia de subproductos nocivos (L. Li et al., 2017).

La eliminación de iones metálicos ha dependido en gran medida del intercambio iónico, siendo este proceso más eficaz debido a su gran selectividad y capacidad para manejar enormes volúmenes de aguas residuales (Abo-Farha et al., 2009). Las técnicas convencionales ampliamente utilizadas para la eliminación del Cr(VI) de los efluentes industriales incluyen la precipitación química, la ósmosis inversa, el intercambio iónico, la absorción, la filtración por membrana y los tratamientos electroquímicos (Ng et al., 2002). Sin embargo, la mayoría de estas metodologías resultan ineficaces y/o costosas. En los últimos años, se ha observado una tendencia hacia la investigación de procesos de remoción basados en nanomateriales (Justi et al., 2005).

Los nanomateriales han ganado impulso debido a sus resultados destacados en los procesos de tratamiento de agua, demostrando su beneficio significativo para abordar problemas ambientales (W. Zhang et al., 2019). Dentro de la categoría de nanomateriales, se destacan las membranas nanofibras, que poseen características distintivas, como una elevada área superficial, alto nivel de porosidad y alta permeabilidad. Estas cualidades las hacen ideales para procesos de absorción de metales y eliminación de organismos patógenos (Saeed et al., 2008). La técnica de electrohilado es una técnica versátil, eficaz y sencilla para desarrollar nanofibras utilizando polímeros. La combinación de dos o más polímeros puede mejorar su rendimiento al conferirles nuevas propiedades físicas y químicas. Esto destaca la importancia de estos materiales en los procesos de remoción de Cr(VI), ya que ofrecen una amplia área superficial que facilita un mayor contacto con el contaminante (Sahoo et al., 2022).

### **1.1.2 Formulación de los Problemas Específicos**

La problemática general radica en la generación de drenaje ácido y la presencia de Cr en los cuerpos de agua, ambos productos de actividades industriales como la minería y el tratamiento de metales. El drenaje ácido, resultado de la oxidación de minerales sulfurosos expuestos al aire y agua, puede acidificar los cuerpos de agua, afectando la vida acuática y la calidad del agua potable (Dai et al., 2022). Por otro lado, el cromo, especialmente en su forma Cr(VI), es altamente tóxico y carcinogénico, y su liberación al agua puede tener graves consecuencias para la salud humana y el ecosistema acuático (Ji et al., 2023). La coexistencia de estas dos problemáticas agrava aún más la situación, requiriendo soluciones integrales y efectivas para mitigar sus impactos en el medio ambiente y la salud pública.

A partir del problema general, se identificaron los siguientes problemas específicos

- Impacto Ambiental y de Salud: ¿Cuáles son los impactos ambientales y de salud asociados con la alta concentración de Cr(VI) en cuerpos de agua?
- Tratamiento y Eliminación: ¿Cuáles son los métodos actuales y su eficacia en el tratamiento y eliminación de Cr(VI) de las fuentes de agua contaminada?
- Nanomateriales ¿En qué medida los nanomateriales, como las nanofibras producidas a través del método de Electrohilado, son eficaces en la remoción de Cr(VI) en comparación con los métodos tradicionales?
- Necesidades de Investigación: ¿Cuáles son las oportunidades de mejora y las necesidades de investigación para abordar la contaminación por Cr(VI) en Perú?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Formulación del Objetivo general**

Obtener nanofibras de Quitosano y PVA mediante electrohilado de plumas de *Dosidicus Gigas* para la remoción de Cr(VI) en soluciones ácidas

### 1.2.2 Formulación de los Objetivos específicos

- Extraer y caracterizar Quitosano a partir de Plumas de calamar (*Dosidicus gigas*)
- Obtener nanofibras a partir de Quitosano, PVA y Quitosano/PVA a diferentes concentraciones mediante el método de electrohilado.
- Caracterizar las nanofibras a partir de Quitosano, PVA y Quitosano/PVA a diferentes concentraciones.
- Evaluar la remoción de Cr(VI) a partir de nanofibras de Quitosano, PVA y Quitosano/PVA.
- Evaluar la adsorción y cinética para la remoción de Cr(VI)

### 1.3 Hipótesis y variables

#### 1.3.1 Formulación de la Hipótesis General

H<sub>1</sub>: La variación **del grado de acetilación, masa de las nanofibra y pH** tienen influencia en el **porcentaje de remoción de Cr(VI) en soluciones acidas.**

H<sub>0</sub>: La variación **del grado de acetilación, masa de las nanofibra y pH** no tienen influencia en el **porcentaje de remoción de Cr(VI) en soluciones acidas.**

#### 1.3.2 Formulación de las Hipótesis Específicas

H<sub>1</sub>: La variación del **grado de acetilación** tiene influencia en el **porcentaje de remoción de Cr(VI) en soluciones acidas.**

H<sub>0</sub>: La variación del **grado de acetilación** no tiene influencia en el **porcentaje de remoción de Cr(VI) en soluciones acidas.**

H<sub>2</sub>: La variación de la **masa de la nanofibras** tiene influencia en el **porcentaje de remoción de Cr(VI) en soluciones acidas.**

H<sub>0</sub>: La variación de la **masa de la nanofibras** no tiene influencia en el **porcentaje de remoción de Cr(VI) en soluciones acidas.**

H<sub>3</sub>: La variación del **pH** tiene influencia en el **porcentaje de remoción de Cr(VI) en soluciones acidas.**

H<sub>0</sub>: La variación del **pH** no tiene influencia en el **porcentaje de remoción de Cr(VI) en soluciones acidas.**

### **1.3.3 Variables**

#### **1.3.3.1 Variable dependiente**

Porcentaje de remoción de Cromo Hexavalente (%)

$$\% \text{ Remoción Cromo Hexavalente} = (\%Cr_i - \%Cr_f) / \%Cr_i$$

#### **1.3.3.2 Variable independiente**

X1 Grado de Acetilación, (%): Se refiere a la cantidad de grupos acetilo eliminados de un polímero, expresada como un porcentaje del número total de grupos acetilo originalmente presentes en la cadena polimérica.

X2 Masa, (g): La masa se refiere a la cantidad de adsorbente (nanofibras de Quitosano) utilizada para adsorber los iones de cromo

X3 pH: Es una medida que indica el grado de acidez o basicidad de una solución

## CAPÍTULO II. MARCO TEORICO

### 2.1 Antecedentes de la Investigación

Wu et al. investigaron membranas nanofibrosas de doble capa para la absorción de metales y contaminantes orgánicos. Estas membranas se prepararon combinando nanotubos de carbono (NC) con una capa de soporte de Quitosano, polivinilpirrolidona y alcohol polivinílico mediante electrohilado. La inclusión de NC aumentó el área superficial y la porosidad de las membranas, lo que mejoró la eficiencia de contacto con los contaminantes. Se obtuvieron membranas con un espesor de 20  $\mu\text{m}$  y una rugosidad de 142 nm. Los resultados mostraron que las membranas lograron una alta remoción de metales y colorantes, con porcentajes de remoción de  $\text{Cu}^{2+}$  (95,68%),  $\text{Ni}^{2+}$  (93,86%),  $\text{Cd}^{2+}$  (88,52%),  $\text{Pb}^{2+}$  (80,41%), verde malaquita (87,20%), azul de metileno (76,33%) y violeta cristal (63,39%). Estos resultados indican que las membranas nanofibrosas desarrolladas son eficaces para la remoción de metales pesados y colorantes.

Li et al. sintetizó nanofibras de Quitosano mediante electrohilado a diferentes concentraciones. Las nanofibras resultantes tenían un diámetro promedio de 75 nm, utilizando una concentración del 5% en peso de Quitosano diluido en ácido acético como solución conductora. Posteriormente, las nanofibras se entrecruzaron con glutaraldehído para aumentar su capacidad de absorción de  $\text{Cr(VI)}$  en soluciones acuosas mediante absorción estática. La eficiencia de absorción se determinó utilizando el modelo cinético de pseudo segundo orden y siguiendo una isoterma mixta de Freundlich y Langmuir. La capacidad de absorción alcanzada fue de 131,58 mg/g, lo que demostró ser más eficiente que la absorción utilizando Quitosano.

Wang et al. sintetizó fibras a partir de polímeros conductores (PC), que destacaban por su flexibilidad, bajo peso y sostenibilidad en la producción a escala piloto. El método de electrohilado es una técnica versátil utilizada para fabricar y sintetizar fibras continuas, ya sea de forma homogénea o heterogénea, a partir de polímeros. Los resultados mostraron que las fibras poseían una alta porosidad, área superficial y resistencia mecánica, lo que las convierte en materiales hilables con potencial aplicación en la sorción de metales pesados en soluciones acuosas.

Li et al. sintetizó nanofibras de Quitosano mediante el proceso de "electrohilado" de doble impresión para la eliminación de  $Pb^{2+}$  y  $Cd^{2+}$  en soluciones acuosas. Las nanofibras sintetizadas se caracterizaron mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) para determinar su morfología y área. Se obtuvieron fibras con un diámetro promedio de 110 nm y se estudiaron los efectos del pH y la temperatura en el proceso de remoción de Pb/Cd. Los autores investigaron si la sorción se ajustaba a un modelo de Langmuir Extendido. Los resultados mostraron una capacidad de absorción de Pb (567 mg/g) y Cd (341 mg/g) a un pH de 6 durante 1 hora a una temperatura de 30 °C.

Jiang et al. preparó membranas compuestas de Quitosano con ácido poliacrílico de sodio al 4.0 % en peso mediante el proceso de "electrohilado". Se realizó una caracterización mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR) y análisis de resistencia a la tracción para evaluar los grupos funcionales y las características físicas del material. El material mostró una alta capacidad de sorción. El efecto del pH y la basicidad influyeron en la remoción de Cr(VI). Se obtuvo una capacidad de absorción de Cr(VI) de 78.92 mg/g a un pH 3, siendo este valor el más óptimo, sin embargo, a pH básicos se obtuvieron resultados no tan favorables. Por lo tanto, se demostró que las membranas de nanofibras son más efectivas que el polvo de Quitosano en la remoción de Cr(VI).



Rosli et al. desarrolló nanofibras de Quitosano y alcohol polivinílico (PVA) mediante el método de electrohilado, las cuales fueron entrecruzadas con glutaraldehído y funcionalizadas con cloruro de 1-alil-3-metilimidazolio para interactuar con soluciones que contenían metales pesados. Estas nanofibras se utilizaron para la absorción de metales como  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  y  $\text{Cu}^{2+}$ , mostrando un alto porcentaje de remoción de  $\text{Pb}^{2+}$ . La capacidad de absorción se evaluó utilizando el modelo de isoterma de Freundlich y el modelo cinético de pseudo segundo orden, que describen el equilibrio y la cinética de absorción de  $\text{Pb}^{2+}$ , respectivamente. Se encontró que la capacidad de absorción de  $\text{Pb}^{2+}$  fue de 166.34 mg/g, lo que sugiere que las nanofibras de Quitosano y PVA son adecuadas y tienen un potencial uso en la remoción de  $\text{Pb}^{2+}$ .

Habiba et al. investigó el efecto del grado de acetilación (DD) en las membranas sintetizadas mediante electrohilado de alcohol polivinílico (PVA) y Quitosano (Q). Las fibras resultantes fueron caracterizadas utilizando SEM, FTIR, XRD, TGA y pruebas de absorción. Los análisis de SEM mostraron que las fibras más finas se obtuvieron a partir de una mezcla de PVA y Q hidrolizado durante 42 horas. Los análisis de FTIR y XRD revelaron una interacción significativa entre el PVA y el Q. Las membranas obtenidas con Q de mayor DD demostraron estabilidad en medios ácidos y básicos. Los resultados mostraron una mayor absorción de  $\text{Cr(VI)}$  para el Quitosano con mayor DD, mientras que el Quitosano con menor DD.

Nowruzi et al. investigaron la síntesis y aplicación de biocompuestos elaborados con Quitosano, alcohol polivinílico y carbón activado para la remoción de  $\text{Cr(VI)}$  en soluciones acuosas. Los compuestos sintetizados se caracterizaron mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopia FTIR. Se llevaron a cabo estudios para determinar la influencia del pH, la concentración, el tiempo, la temperatura y la dosis del absorbente en el proceso de absorción. Los resultados de absorción se ajustaron a un modelo de isoterma de Langmuir y a un modelo cinético de pseudo-segundo orden. Se

observó que la capacidad máxima de absorción se logró con una disminución en la concentración inicial de Cr(VI), el pH y la temperatura, lo que sugiere que el adsorbente es efectivo en soluciones acuosas.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Electrohilado**

El método de electrohilado es una técnica utilizada para fabricar y sintetizar nanofibras de polímero con diversos diámetros. Para lograrlo, se emplean polímeros que presenten propiedades específicas que los hagan adecuados para ser hilados (Tan et al., 2022). Estas propiedades incluyen una viscosidad suficiente para formar una gota en el extremo de la aguja y mantener su forma antes de solidificarse; una conductividad eléctrica que les permita responder al campo eléctrico aplicado y formar fibras de manera adecuada; una solubilidad en un solvente apropiado que pueda evaporarse rápidamente durante el proceso; una estabilidad mecánica que les permita resistir el estiramiento y formar una fibra coherente; una compatibilidad química con otros polímeros o aditivos utilizados en el proceso para evitar problemas de incompatibilidad; y una capacidad de adhesión a otras superficies para formar una estructura resistente en la fibra final (Huang et al., 2003).

#### **2.2.1.1 Procesamiento**

Los componentes principales del proceso de electrohilado se basan principalmente en cuatro partes, entre ellos se encuentran la fuente de alimentación de alto voltaje, la bomba de inyección, la hilera y el colector (Si et al., 2023).

- **Factor material:** El material es un factor determinante que define las propiedades de la solución polimérica en el proceso de electrohilado. Entre las variables que influyen en este proceso se encuentran la viscosidad, la conductividad, la tensión superficial y el peso molecular de la solución. La viscosidad es un parámetro crucial, ya que puede afectar la obstrucción de la aguja durante la formación de

las fibras. Por otro lado, la conductividad puede influir en la obtención de fibras con diámetros menores, lo cual se traduce en fibras de mejor calidad. En casos donde la solución no presenta una buena conductividad, se suelen utilizar sales o surfactantes para mejorarla (S. H. Tan et al., 2005). La tensión superficial también es importante, ya que compite con la energía estática y puede tener efectos adversos en el proceso.

- Factores ambientales: En este caso, se consideran factores ambientales como la temperatura y la humedad, que pueden influir en la obtención de nanofibras. El aumento de la temperatura reduce la tensión superficial, mejora la conductividad eléctrica y disminuye la viscosidad, lo que puede resultar en la síntesis de fibras más finas (A. Haider et al., 2018). Sin embargo, una temperatura alta puede provocar una rápida evaporación del solvente y aumentar el diámetro de la fibra. Por otro lado, la humedad también influye, principalmente en la volatilización del solvente y la conductividad de la solución (Topuz et al., 2019).
- Aspecto artesanal: Factor artesanal, se considera aquellos factores que influyen en el uso del electrohilado, para obtener las nanofibras. El voltaje es el factor más importante para obtener fibras, ya que controla la fuerza electrostática que estira y comprime la disolución polimérica a través de la aguja hacia el colector, formando fibras. Un voltaje adecuado es crucial para vencer la tensión superficial de la disolución y lograr fibras continuas y uniformes. La velocidad también es importante; una velocidad baja puede reducir la formación de filamentos, pero aumentarla puede aumentar el diámetro de la fibra (He, Wan, et al., 2005). Las condiciones ideales para obtener una buena fibra se alcanzan cuando la distancia entre la hilera y el colector coincide con la tasa de evaporación del solvente (Shi et al., 2022).

El proceso de electrohilado se da a partir de una alta tensión, la cual se generara una alta carga eléctrica, donde la solución entre el polímero y el solvente se someten a un estiramiento coaxial que se da por el efecto del voltaje, donde la solución antes de llegar al colector el solvente se evapora y ayuda a que el polímero se pueda solidificar, depositándose así en la placa metálica y genera la formación de fibras (Deitzel et al., 2001).

La técnica de electrohilado se basa en la utilización de soluciones homogéneas para sintetizar fibras mediante la aplicación de altos campos eléctricos. Este método implica la aplicación de fuerzas eléctricas que superan la tensión superficial de la solución polimérica cargada, lo que resulta en la formación de soluciones finas que son expulsados desde el capilar de la aguja hasta la placa del colector (Chew et al., 2006).

El método de electrohilado puede realizarse en orientación horizontal o vertical. Sin embargo, trabajar verticalmente presenta el desafío de que la aguja, en esa posición, puede liberar pequeñas gotas hacia la lámina colectora, causando defectos en la superficie y dificultando la formación continua de fibras. En la orientación horizontal, la salida de la solución polimérica puede verse influenciada por la gravedad, un factor que está relacionado con la viscosidad de la solución (Guadalupe, 2016).

#### **2.2.1.2 *Parámetros a consideración para la solución***

Durante el proceso de electrohilado, diversas variables deben ser cuidadosamente estudiadas debido a su influencia en la morfología y eficiencia de las fibras sintetizadas a partir de diferentes polímeros. Estas variables están estrechamente relacionadas con las propiedades químicas de los polímeros y afectan su capacidad de ser hilados. Es fundamental que el polímero sea soluble para que pueda ser hilado con éxito, siendo esta una condición indispensable a considerar (Huang et al., 2003).

#### **2.2.1.2.1 Peso molecular y viscosidad de la solución**

Este parámetro afecta directamente la viscosidad de la disolución, ya que, en general, polímeros con un peso molecular más alto tienen una viscosidad mayor. Otra forma de aumentar la viscosidad es incrementar la concentración del polímero, lo que aumenta la interacción entre las moléculas del polímero y el solvente. Cuando la viscosidad es baja, las moléculas del solvente tienden a agruparse debido a la tensión superficial (Rein et al., 2008).

#### **2.2.1.2.2 Tensión superficial**

Las propiedades superficiales de los fluidos se manifiestan a través de fenómenos como la tensión superficial, que se observa cuando una gota se separa de una superficie y adopta una forma esférica. Este fenómeno se debe a las fuerzas intermoleculares, que difieren entre el interior y la superficie del líquido (Cramariuc et al., 2013). La tensión superficial tiene el efecto de reducir la superficie de un líquido para un volumen dado, lo que en ausencia de gravedad puede llevar a que la gota adopte una forma esférica, que minimiza la relación entre el área superficial y el volumen.

Durante el proceso de electrohilado, la solución polimérica debe adquirir una carga suficientemente alta para vencer la tensión superficial. A medida que la solución cargada fluye hacia la placa colectora, debe mantener un flujo continuo y constante para obtener fibras de buena calidad. Sin embargo, la tensión superficial de la solución puede provocar la desintegración de pequeñas gotas, interrumpiendo el flujo constante y dando lugar al fenómeno de electrosprayado en lugar de la formación de fibras (Guadalupe, 2016) .

#### **2.2.1.2.3 Conductividad**

Uno de los parámetros clave que influyen en el proceso de electrohilado es la repulsión entre las cargas en la superficie de la disolución de polímero. Cuanto mayor sea

la conductividad de la disolución, más fácil será que se cargue eléctricamente y se formen fibras de mejor calidad (Chuangchote & Supaphol, 2006). La adición de sales y electrolitos facilita el estiramiento de las fibras durante su formación, lo que resulta en una mayor calidad de las mismas (Son et al., 2005). Sin embargo, un aumento significativo en la conductividad puede aumentar la viscosidad de la disolución a niveles altos, lo que también afecta al proceso.

#### **2.2.1.2.4 Presión de vapor**

La presión de vapor, también llamada vapor de saturación, es la presión a la que la fase líquida y la fase vapor de una sustancia están en equilibrio dinámico a una temperatura específica. Este parámetro es crucial porque determina la rapidez con la que el disolvente puede evaporarse, lo que afecta directamente el tiempo requerido para formar las fibras (Guadalupe, 2016) .

#### **2.2.1.3 *Parámetros del control de Electrohilado***

##### **2.2.1.3.1 Intensidad de voltaje**

Uno de los parámetros más influyentes en la formación de fibras es el voltaje, ya que permite superar la tensión superficial de las disoluciones y generar un campo eléctrico entre el polo positivo (aguja) y el polo negativo (placa). A mayor intensidad de voltaje, se obtienen fibras con menor diámetro. Por lo tanto, se busca un voltaje adecuado para la formación de fibras, ya que un voltaje mínimo de 2 kV puede resultar en la falta de formación del cono de Taylor, lo que impide la formación de fibras en la placa. Por otro lado, voltajes altos, hasta 30 kV, pueden generar una aglomeración de fibras en la placa, impidiendo una formación homogénea de las fibras en la placa (Guadalupe, 2016) .

#### **2.2.1.3.2 Velocidad de alimentación**

La velocidad de alimentación es un parámetro crucial para optimizar y garantizar la estabilidad del cono de Taylor a un voltaje dado. Un aumento en el caudal de alimentación resulta en una mayor cantidad de disolución, lo que conduce a un aumento en el diámetro de las fibras y a la formación de gotas. Un caudal elevado puede provocar problemas al evaporarse el chorro de la aguja, ya que el disolvente no tiene tiempo suficiente para evaporarse, lo que genera la formación de grumos en la placa colectora. Por otro lado, un caudal bajo proporciona más tiempo para que el solvente se evapore, lo que resulta en la formación de fibras de mayor calidad en la placa colectora (Deitzel et al., 2001).

#### **2.2.1.3.3 Distancia del colector**

La distancia de separación entre el colector y la aguja debe ser lo suficientemente corta para que se pueda generar una corriente entre ambas y así puedan permitir que las fibras se puedan depositar en la placa colectora, pero también deben encontrarse lo suficientemente separadas para permitir que el solvente pueda evaporarse y las fibras puedan formarse correctamente. Es por ello que cuando el colector se encuentra muy cerca a la placa colectora, el disolvente no llega a evaporarse y esto genera la formación de grumos (He, Wu, et al., 2005).

#### **2.2.1.3.4 Condiciones ambientales**

Los cambios en la morfología se pueden dar debido a la interacción entre el ambiente, campo electrostático, disolución del polímero y el solvente; los cuales pueden generar un cambio en los filamentos y el diámetro de las fibras a obtener. Estos agentes externos pueden verse modificados por las condiciones ambientales durante la obtención de fibras mediante el método de electrohilado (Guadalupe, 2016). Estos son los siguientes:

- **Temperatura:** La temperatura es una de las variables que afecta directamente a la viscosidad de la disolución y también a la proporción del disolvente evaporado; es por ello que un aumento en la temperatura permitirá que el proceso de producción de fibras pueda acelerarse. La morfología de la síntesis de fibras puede mejorar al aumentar la temperatura de la disolución precursora (Viswanathan et al., 2006).
- **Humedad:** En el caso de trabajar con soluciones acuosa, es recomendable mantener un grado de humedad constante para que así este pueda favorecer la formación de fibras. La humedad relativa según algunos autores no debe ser menor al 30% ni superior al 50%. Sin embargo, cuando se trabaja con solventes muy volátiles, la humedad dentro de la cámara del proceso de electrohilado no es ventajosa; es por ello que en algunos casos es importante incorporar en el interior de la cama una corriente de aire seco, la cual permite disminuir la humedad (Casper et al., 2003).

## **2.2.2 Nanofibras**

### **2.2.2.1 Tipos de Nanofibras**

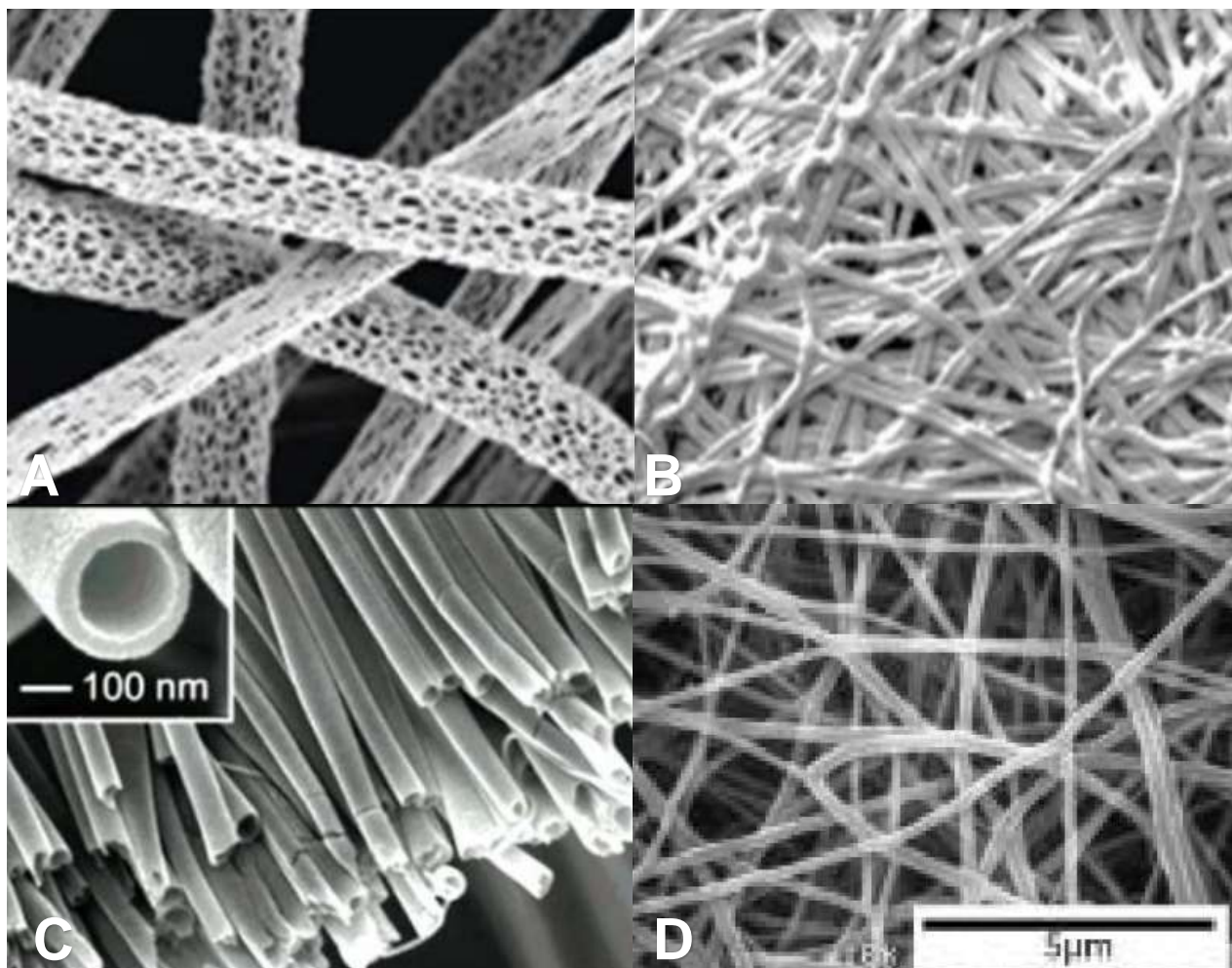
La modificación de las distintas variables durante la síntesis de nanofibras es responsable de las variaciones en su morfología. Sin embargo, el cambio en los parámetros de control del electrohilado, como la potencia, puede dar lugar a la obtención de nanofibras porosas, planas, huecas, ramificadas y helicoidales (Guadalupe, 2016).

Las variaciones en las variables durante la síntesis de las nanofibras son responsables de la variabilidad en su morfología. Los cambios en los parámetros de control del electrohilado pueden resultar en la obtención de nanofibras con diferentes estructuras, como porosas, planas, huecas, ramificadas y helicoidales (Burger et al., 2006) (Ver Figura 12).



**Figura 1**

(A) nanofibras porosas. (B) nanofibras planas. (C) nanofibras huecas. (D) nanofibras ramificadas.



#### 2.2.2.1.1 Nanofibras porosas

La porosidad en las nanofibras puede deberse a la influencia de la humedad relativa en la cámara de electrohilado, ya que niveles altos de humedad pueden favorecer la formación de poros. Además, durante la evaporación del solvente, la solución se vuelve termodinámicamente inestable, lo que favorece la formación de poros en las fibras. Este proceso se debe a la separación de fases, donde una fase está compuesta principalmente por el disolvente y otra por el polímero. Al evaporarse el disolvente, se forma la matriz de la fibra, mientras que la fase con menos polímero forma los poros. El control de la presión

de vapor del disolvente es crucial para obtener nanofibras porosas de forma regular (Lyons et al., 2004).

#### **2.2.2.1.2 Nanofibras planas**

Las nanofibras mencionadas se obtienen a partir de disoluciones con una alta concentración de polímeros de alto peso molecular. Cuando estas disoluciones alcanzan el colector, las fibras impactan directamente y se aplanan, pudiendo formar puentes planos entre las fibras cilíndricas (Lyons et al., 2004).

#### **2.2.2.1.3 Nanofibras huecas**

Las fibras huecas se obtienen mediante un proceso de electrohilado con un cabezal coaxial, que permite la formación de una estructura core-shell (Bazilevsky et al., 2007). Esta morfología consiste en un componente exterior de polímero y un componente interior de un compuesto inmiscible con el polímero, como aceites minerales, que son difíciles de eliminar (D. Li et al., 2005).

#### **2.2.2.1.4 Nanofibras ramificadas**

Este tipo de fibras se pueden obtener a partir de la formación de pequeños chorros de disolución que se dan en la superficie de los chorros, lo cual genera que se formen ramificaciones antes de llegar al colector. Este efecto se puede conseguir ejerciendo un control total en el balance de fuerzas electrostáticas en el campo eléctrico generado y de la tensión superficial de la disolución polimérica (Choi et al., 2004).

#### **2.2.2.2 Aplicaciones de Nanofibras**

El método de electrohilado es una de las técnicas más innovadoras y que actualmente es de interés para diferentes grupos de investigación, debido a que la síntesis

de nanofibras presentar propiedades superiores con los materiales convencionales. Las áreas que demandan esta técnica son (Guadalupe, 2016):

- Área de medio ambiente y biotecnología; utilizándolo como filtros y agentes antimicrobianos.
- Área de bioingeniería, medicina y la ingeniería de regeneración de tejidos celulares.
- Materiales y compósitos que son utilizados como material de refuerzo y recubrimiento.

### **2.2.3 Polímeros**

Los polímeros son macromoléculas formadas por la repetición de unidades estructurales más pequeñas llamadas monómeros. Estas unidades se enlazan entre sí mediante enlaces covalentes, formando cadenas largas y ramificadas. Los polímeros pueden ser naturales, como la celulosa, el almidón y las proteínas, o sintéticos, como el polietileno, el PVC y el nylon (Baker et al., 2012).

La unidad básica de un polímero es el monómero, que puede ser una molécula simple o una molécula más compleja. La repetición de estos monómeros en una cadena larga da lugar a la estructura polimérica. Los polímeros pueden tener diferentes grados de polimerización, que se refiere al número de monómeros que forman la cadena.

Los polímeros se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones debido a sus propiedades únicas, como su resistencia, flexibilidad, ligereza y resistencia a la corrosión. Se utilizan en la fabricación de plásticos, fibras textiles, recubrimientos, adhesivos, materiales de construcción, dispositivos médicos, entre otros (Baker et al., 2012).

### 2.2.3.1 Quitosano

La Quitosano es un polisacárido lineal formado por la repetición de unidades de N-acetil-D-glucosamina y D-glucosamina, conectadas por enlaces  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4). Es un derivado de la quitina, que se encuentra en el exoesqueleto de crustáceos como camarones, cangrejos y langostas, así como en hongos y algunos insectos. La estructura química del Quitosano es similar a la de la celulosa, pero con un grupo amino adicional en la posición C-2 del monómero de glucosamina, lo que le confiere propiedades únicas (Ni & Zhao, 2007).

El Quitosano es resaltante debido a sus propiedades biodegradables, biocompatibles y no tóxicas. También es conocido por su capacidad para formar complejos con metales pesados y otras sustancias, lo que lo hace útil en aplicaciones de remoción de contaminantes en aguas residuales y suelos contaminados. Su estructura química le confiere propiedades de absorción y quelación, lo que le permite interactuar con iones metálicos y otras moléculas, facilitando su remoción de los medios contaminados (Sevilla et al., 2018).

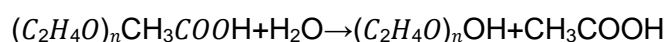
Además del Quitosano, existen otros materiales utilizados en la aplicación de remoción de contaminantes, como la zeolita, el carbón activado, las resinas de intercambio iónico y los polímeros sintéticos. Estos materiales se utilizan en diversos procesos de tratamiento de aguas residuales y suelos contaminados para eliminar contaminantes orgánicos e inorgánicos (Dalmar, 2024).

El Quitosano se obtiene a partir de la quitina, un polisacárido que se encuentra en el exoesqueleto de crustáceos como camarones, cangrejos y langostas, así como en hongos, calamar y algunos insectos. El proceso de obtención del Quitosano implica la acetilación parcial de la quitina, que consiste en la remoción de los grupos acetilo presentes en las unidades de N-acetil-D-glucosamina. Esta acetilación se realiza mediante

tratamiento alcalino o ácido, seguido de purificación para obtener el Quitosano en forma de polvo o en diferentes grados de pureza. El Quitosano resultante conserva la estructura polimérica de la quitina, pero con una mayor proporción de grupos amino libres, lo que le confiere propiedades únicas y lo hace útil en una amplia gama de aplicaciones industriales, biomédicas y ambientales (S. Chen et al., 2023).

#### **2.2.3.2 Alcohol Polivinílico**

El Alcohol de Polivinilo (PVA) es un polímero sintético lineal que se obtiene mediante la hidrólisis total o parcial del acetato de polivinilo, lo que elimina el grupo acetato. La reacción química para la hidrólisis parcial es:



Las características físicas y químicas del PVA dependen de la cantidad de hidroxilación y de la polimerización, que a su vez determinan las propiedades mecánicas del polímero (Baker et al., 2012). Este polímero es altamente soluble en agua, pero resistente a muchos disolventes orgánicos. Cuanto mayor sea el grado de hidroxilación y de polimerización, menor será su solubilidad en agua y más difícil será su cristalización (Finch, 2005).

#### **2.2.3.3 Otros materiales (biomasa)**

Se refiere a materiales orgánicos de origen vegetal, animal o microbiano que se utilizan como adsorbentes en procesos de remoción de contaminantes. En el contexto de la remoción de Cr(VI), la biomasa puede incluir cáscaras de frutas, aserrín, algas, entre otros, que también tienen capacidad para adsorber metales pesados (Sevilla et al., 2018).

#### **2.2.3.4 Campos de aplicación de biopolímeros y polímeros sintéticos**

Los biopolímeros, como el Quitosano, y los polímeros sintéticos, como el PVA, tienen una amplia gama de aplicaciones en diversos campos, incluyendo la industria alimentaria, farmacéutica, cosmética y ambiental. En el caso específico de la remoción de Cr(VI), estos polímeros se utilizan como adsorbentes debido a sus propiedades de absorción y su capacidad para formar complejos con los metales (Sevilla et al., 2018).

### **2.2.4 Contaminación del agua por metales pesados**

#### **2.2.4.1 Metales pesados**

Los metales pesados son aquellos metales que presentan una densidad aproximada mayor a 5 g/mL y un peso atómico superior a 20 UMA. Estos metales pueden tener varios estados de oxidación y son conocidos por su toxicidad para los organismos vivos. En el contexto de la actividad minera, algunos metales pesados comunes que contaminan los cuerpos de agua son el Fe, Zn, Cu, Cd, Pb y Hg (Jadoun et al., 2023).

Aunque algunos metales pesados como el Fe, Zn y Cu son nutrientes esenciales en pequeñas cantidades, niveles elevados pueden causar problemas de salud y contaminación ambiental. Por otro lado, metales como el Cd, Pb, Cr y Hg son altamente tóxicos y pueden tener efectos adversos graves en la salud, incluidos problemas renales, reducción de glóbulos blancos y efectos teratógenos. La acumulación de estos metales en los organismos puede provocar deformidades y, en casos extremos, la muerte. Por lo tanto, es fundamental controlar y reducir la contaminación por metales pesados en los cuerpos de agua para proteger la salud humana y el medio ambiente (Pouresmaeli et al., 2022).

##### **2.2.4.1.1 Cromo**

El cromo es un metal que se encuentra en la naturaleza en varios estados de oxidación, siendo los más comunes el trivalente (Cr(III)) y el hexavalente (Cr(VI)). El estado

de oxidación más estable es el trivalente, que tiende a formar compuestos menos solubles y menos reactivos que el hexavalente. El Cr(VI) es más soluble en agua y más reactivo, lo que lo hace más móvil en el medio ambiente y más tóxico para los organismos vivos (Xu et al., 2021).

En la naturaleza, el cromo se encuentra principalmente en forma de minerales como cromita ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ). Para que el cromo se encuentre como óxido, debe experimentar un proceso de oxidación o reacción química con oxígeno. En este proceso, el cromo puede formar iones cromato ( $(\text{CrO}_4)^{2-}$ ) o dicromato ( $(\text{Cr}_2\text{O}_7)^{2-}$ ), que son formas comunes de cromo hexavalente en soluciones acuosas, las cuales lo llevan a ser los primeros agentes contaminantes al medio acuático (L. Chen et al., 2023).

La contaminación de cuerpos de agua con cromo puede ocurrir a través de vertidos industriales, residuos de minería, aplicaciones agrícolas y otros procesos humanos. El cromo hexavalente es particularmente preocupante debido a su alta toxicidad y su capacidad de bioacumulación en la cadena alimentaria. Cuando los niveles de cromo hexavalente en el agua son altos, pueden causar diversos problemas de salud, como erupciones cutáneas, malestar estomacal, problemas respiratorios, daño renal y alteraciones genéticas (S. Singh et al., 2022).

#### **2.2.4.1.1.1 Reacción Redox de la reducción de Cr(VI) a Cr(III)**

La reducción de Cr(VI) a Cr(III) es un proceso redox en el cual el Cr(VI) gana electrones y se reduce a Cr(III). En presencia de grupos funcionales reductores, como los grupos amino ( $-\text{NH}_2$ ) del Quitosano, el Cr(VI) puede capturar electrones y formar Cr(III), lo que resulta en la remoción del Cr(VI) del agua. Este proceso puede ocurrir tanto en solución acuosa como en la superficie de los adsorbentes utilizados (Cruz-Morales et al., 2015).

#### **2.2.4.1.2 Efectos del cromo en la salud**

El cromo (VI) es considerado uno de los contaminantes más impactantes, incluso es 100 veces más tóxico que el cromo (III), está considerado por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) como un agente carcinógeno del grupo I y varios perjuicios que genera al organismo. Los problemas más recurrentes que se encuentran relacionados son la dermatitis, problemas renales, problemas nasosinusales y hepáticos, también son muy comunes las aberraciones hematológicas y cromosómicas (Khadem et al., 2017). Uno de las formas directas de concentración de cromo en el organismo se da a partir de la inhalación y el contacto dérmico que se da en las principales vías de exposición ocupacional. El impacto y el efecto que puede generar la exposición del cromo al organismo dependerá del tiempo de exposición que los organismos tengan. La exposición más recurrente en el campo no ocupacional se da por medio del tracto gastrointestinal que se da por medio del consumo de agua y alimentos que se encuentran contaminados (Hessel et al., 2021).

#### **2.2.4.2 Agua contaminada**

Las aguas contaminadas se refieren a cuerpos de agua que han sido afectados por la presencia de sustancias nocivas en cantidades que superan los límites establecidos por las normativas ambientales (K. Zhang et al., 2023). En la actualidad, la contaminación del agua es un problema global de gran magnitud, que afecta tanto a fuentes superficiales como subterráneas. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), cada año se contaminan con desechos aproximadamente 1.2 billones de metros cúbicos de agua en todo el mundo, siendo los metales pesados, como el plomo, mercurio y cromo, así como los agentes tóxicos como los pesticidas y los compuestos orgánicos, algunos de los contaminantes más comunes en estas aguas. Las normativas internacionales, como la Directiva Marco del Agua en la Unión Europea y la Ley de Agua en Estados Unidos,



establecen límites máximos permisibles para estos contaminantes, con el objetivo de proteger la salud humana y el medio ambiente.

#### **2.2.4.2.1 Contaminación de aguas con metales pesados**

La contaminación del agua con metales pesados es un problema ambiental grave que puede tener consecuencias devastadoras para los ecosistemas acuáticos y la salud humana. Los principales metales pesados que causan preocupación en la contaminación del agua incluyen el plomo, el mercurio, el cadmio, el arsénico y el cromo. Estos metales pueden ingresar al agua a través de diversas fuentes, como la minería, la industria metalúrgica, la agricultura y el vertido de desechos industriales y urbanos (M. Singh et al., 2021).

- **Fuentes de contaminación:** Las fuentes de contaminación de metales pesados en el agua pueden incluir la escorrentía de áreas mineras y de desechos industriales, la liberación de metales pesados por parte de industrias manufactureras y procesadoras, la lixiviación de vertederos de desechos y la utilización de productos químicos agrícolas contaminados.
- **Problemas asociados:** La contaminación del agua con metales pesados puede tener varios efectos negativos. Estos metales pueden acumularse en los sedimentos y organismos acuáticos, lo que puede afectar la cadena alimentaria y provocar la bioacumulación en los seres humanos y otros organismos. Además, algunos metales pesados, como el plomo y el arsénico, son carcinógenos conocidos y pueden causar problemas de salud graves, como cáncer, enfermedades renales y daños neurológicos.
- **Normativas y regulaciones:** Para abordar la contaminación del agua con metales pesados, se han establecido normativas y regulaciones a nivel nacional e internacional. Por ejemplo, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos

(EPA) ha establecido límites máximos permisibles para la concentración de metales pesados en el agua potable. Además, la Unión Europea tiene directivas que regulan la calidad del agua, incluidos los niveles de metales pesados, en sus estados miembros.

### **2.2.5 Prueba estadística de Efectos Inter-Sujetos**

La prueba estadística de efectos inter-sujetos es un tipo de análisis que se utiliza en estudios experimentales para evaluar el impacto de una o más variables independientes (factores) sobre una variable dependiente, cuando los mismos sujetos no se repiten en diferentes condiciones experimentales. A diferencia de las pruebas intra-sujetos, en las cuales cada participante pasa por varias condiciones, en las pruebas inter-sujetos cada grupo de participantes pasa por una única condición. Esta prueba es particularmente útil cuando se desea evaluar no solo los efectos principales de cada factor por separado, sino también las interacciones entre ellos, proporcionando una visión más compleja del comportamiento de las variables en estudio (Tabachnick & Fidell, 2013).

### **2.2.6 Definiciones estadísticas**

#### **2.2.6.1 Hipótesis Nula ( $H_0$ )**

La hipótesis nula es aquella que el investigador busca refutar o rechazar bajo condiciones específicas. Generalmente, se refiere a un concepto o visión comúnmente aceptada (Ibáñez, 2020).

#### **2.2.6.2 Hipótesis Alternativa ( $H_1$ )**

La hipótesis alternativa es aquella que el investigador busca probar, ya que está relacionada con la causa o el efecto de las variables bajo estudio. Esta hipótesis se formula como una posible explicación de un fenómeno y se opone a la hipótesis nula, que representa la visión común o establecida (Ibáñez, 2020).

### 2.3 Definición de Términos

#### 2.3.1 Aguas residuales

Las aguas residuales generadas por la actividad minera pueden contener una variedad de metales pesados y otros contaminantes debido a la interacción con minerales y rocas durante el proceso de extracción. Estos metales pueden incluir Fe, Zn, Cu, Cd, Pb, Cr y Hg. La presencia de estos metales en las aguas residuales puede ser perjudicial para el medio ambiente y la salud humana si no se tratan adecuadamente. Por lo tanto, es crucial implementar medidas de tratamiento para reducir la contaminación y proteger los ríos, bojedales y lagunas cercanos a las operaciones mineras (Show et al., 2023).

#### 2.3.2 Límites Máximos Permisibles

Los LMP es un instrumento que se encarga de medir la concentración de los elementos, parámetros físicos, químicos y biológicos; que se emite por las distintas actividades de producción y servicios y que al ser excedido estos parámetros pueden llegar a causar daños a la salud y al medio ambiente (Ministerio del Ambiente, 2010). El cumplimiento de estos estándares es obligatorio, el cual es legalmente exigible por el Ministerio del Ambiente y las autoridades que conforman el Sistema de Gestión Ambiental (Ver Tabla 1).

**Tabla 1**

*Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de activadas minero-metalúrgicas*

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio anual
pH		6 a 9	6 a 9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0.8
Arsénico Total	mg/L	0.1	0.008

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio anual
Cadmio Total	mg/L	0.05	0.04
Cromo Hexavalente	mg/L	0.1	0.08
Cobre Total	mg/L	0.5	0.4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1.6
Plomo Total	mg/L	0.2	1.6
Mercurio Total	mg/L	0.002	0.0016
Zinc Total	mg/L	1.5	1.2

Fuente: D.S. N°010-2010-MINAM

### 2.3.3 Estándar de Calidad Ambiental

Es aquel instrumento que se encarga de determinar la calidad de agua que presente los cuerpos de agua, la cual a partir de parámetros permite medir los niveles de concentración y los valores máximos que estos no deben superar que los cuerpos de agua no puedan presentar ningún tipo de riesgo a la salud y el ambiente (MINAM, 2015).

**Tabla 2**

*Valores de los estándares de calidad de suelos.*

Parámetros en mg/kg en peso seco	Usos del suelo		
	Suelo agrícola	Suelo residencial	Suelo comercial
Inorgánicos			
Arsénico	50	50	140
Bario total	750	500	2000
Cadmio	1.6	10	22
Cromo total	**	400	1000
Cromo VI	0.4	0.4	1.4
Mercurio	6.6	6.6	24
Plomo	70	140	800
Cianuro libre	0.9	0.9	8

Fuente: D.S. N°011-2017-MINAM

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1 Tipo y nivel de investigación y diseño de investigación**

#### **Tipo de Investigación**

El tipo de investigación de esta tesis es experimental. En una investigación experimental, el objetivo principal es manipular una o más variables independientes para observar y analizar los efectos que esta manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (Hernandez-Sanpieri, 2014). En este caso, la investigación se enfoca en la obtención y caracterización de nanofibras de quitosano y PVA mediante el proceso de electrohilado, para evaluar su eficiencia en la remoción de Cr(VI) de aguas contaminadas, lo que implica una experimentación controlada y sistemática.

#### **Nivel de Investigación**

El nivel de investigación es explicativo, ya que no solo se busca describir y comparar los resultados obtenidos en el proceso de remoción de Cr(VI) con nanofibras (Hernández-Sampieri, 2014), sino también explicar las relaciones causales entre las propiedades físico-químicas de las nanofibras y su capacidad de remoción. Además, se pretende comprender cómo variables como la composición de las nanofibras y las condiciones del electrohilado afectan la eficiencia del material en la remediación de aguas contaminadas.

#### **Diseño de la Investigación**

El diseño de investigación es experimental, donde se controlan y manipulan las variables para evaluar sus efectos sobre la eficiencia de remoción de Cr(VI) (Hernández-Sampieri, 2014). En este diseño, se elaborarán nanofibras de quitosano y PVA con distintos grados de acetilación, y se evaluará su capacidad para remover Cr(VI) en soluciones

acuosas. Se utilizarán controles y réplicas para asegurar la validez y fiabilidad de los resultados, garantizando una adecuada evaluación del desempeño del material frente a las condiciones experimentales.

### **3.2 Población y muestra**

#### **Población**

La población en esta investigación está compuesta por todos los tipos de aguas contaminadas con Cr(VI) en el sector minero, particularmente aquellas que presentan características ácidas. Esto incluye soluciones de diferentes concentraciones de Cr(VI), comúnmente encontradas en efluentes de procesos industriales relacionados con la minería, galvanoplastia, y otras actividades que liberan este contaminante en el medio ambiente.

#### **Muestra**

La muestra de esta investigación está conformada por dos componentes principales. En primer lugar, se seleccionaron soluciones ácidas de cromo (VI) con concentraciones específicas que representan rangos típicos de contaminación en efluentes mineros. Estas soluciones serán preparadas y controladas en un ambiente de laboratorio para asegurar que los resultados obtenidos sean replicables y precisos.

### **3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La técnica utilizada en la investigación es el análisis de resultados que se puedan obtener de la remoción de Cr(VI) a diferentes grados de acetilación. Los principales instrumentos utilizados en la investigación son: fichas de datos técnicos, técnicas de procesamiento y análisis de datos.

### **3.4 Técnicas de procesamiento y análisis de dato**

La metodología empleada en esta investigación se basa en técnicas rigurosas y el uso de instrumentos precisos, lo que permite obtener datos confiables y relevantes para evaluar la capacidad de las nanofibras de quitosano y PVA en la remoción de Cr(VI) en soluciones acuosas. Estos datos servirán como base para la aplicación potencial de estas nanofibras en la remediación de aguas contaminadas en entornos mineros.

### **3.5 Desarrollo de la tesis**

#### **3.5.1 Extracción y caracterización de Quitosano a partir de plumas de calamar (*Dosidicus gigas*)**

##### **3.5.1.1 Preparación de muestras de plumas de calamar (*Dosidicus gigas*)**

Se recolectaron aproximadamente 1 kg de plumas de calamar (*Dosidicus gigas*) en el terminal pesquero del distrito de Ventanilla, departamento de Lima. Posteriormente, las plumas fueron lavadas con abundante agua para eliminar la materia orgánica impregnada en ellas (Figura 2).

## Figura 2

*Plumas de calamar (Dosidicus gigas)*

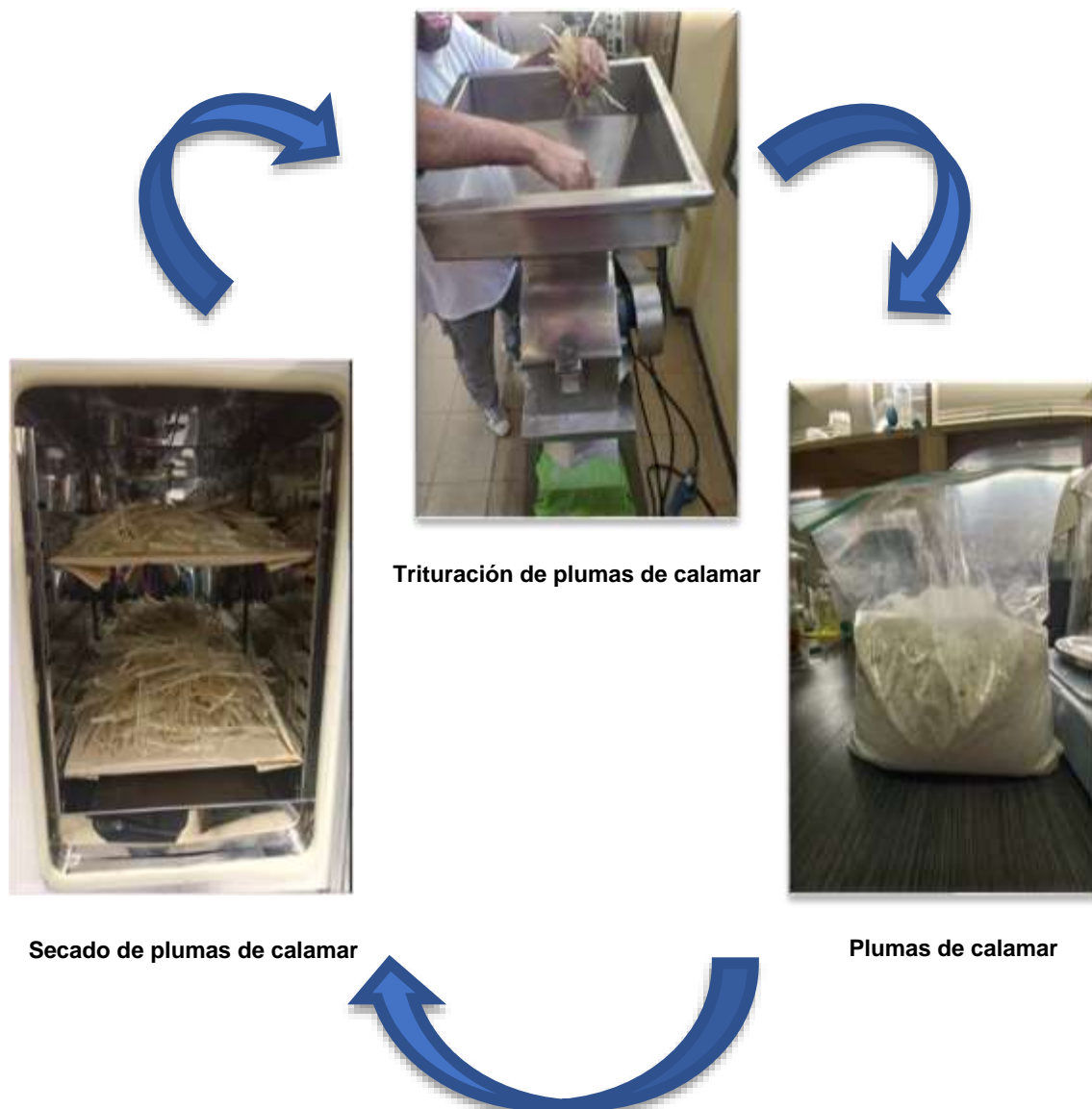


Después de lavar las plumas de calamar con abundante agua, se dejó en una bolsa de plástico durante 24 h a temperatura ambiente. Posteriormente, se almacenaron en una refrigeradora a una temperatura de 4°C para evitar la degradación y facilitar el proceso de triturado. Una vez conservadas, las muestras fueron secadas en una estufa a 30 °C antes de ser trituradas, como se ilustra en la Figura 3, para obtener un diámetro < 1800u constante y llevar a cabo la caracterización correspondiente.



**Figura 3**

*Trituración de plumas de calamar (*Dosidicus gigas*)*



Ya triturada la muestra, se obtuvo un peso de 60 kg.

### **3.5.1.2 Obtención de quitina**

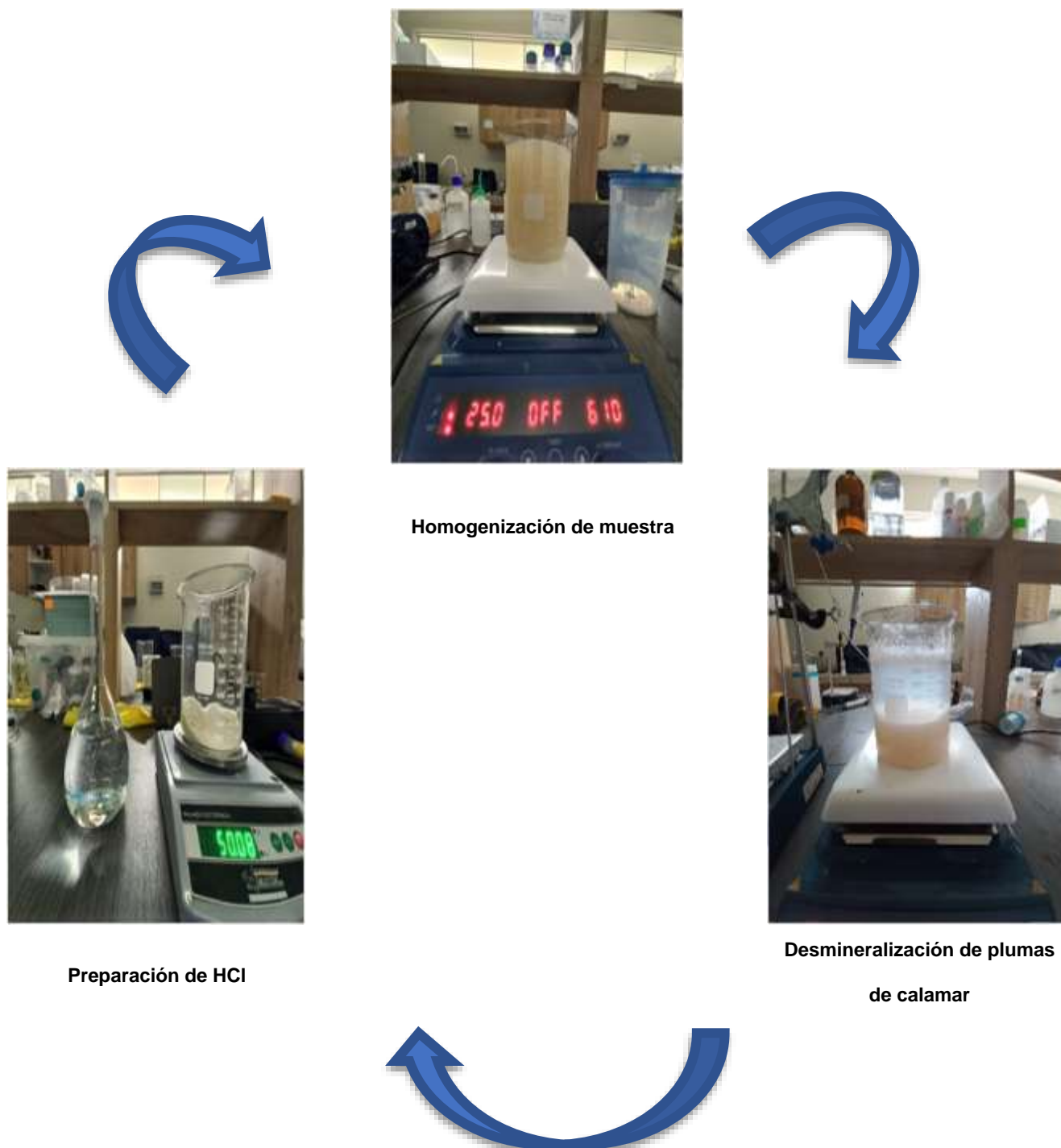
#### **3.5.1.2.1 Desmineralización**

Se tomó 50 g de pluma de calamar triturada con el objetivo de realizar el proceso de desmineralización. Este proceso se llevó a cabo utilizando HCl (1 M) con una relación

de peso/volumen de 15:1 ml/g a 25 °C durante 2 h. La muestra de 50 g de pluma de calamar se diluyó en 750 ml de HCl durante este período de tiempo, como se ilustra en la Figura 4.

**Figura 4**

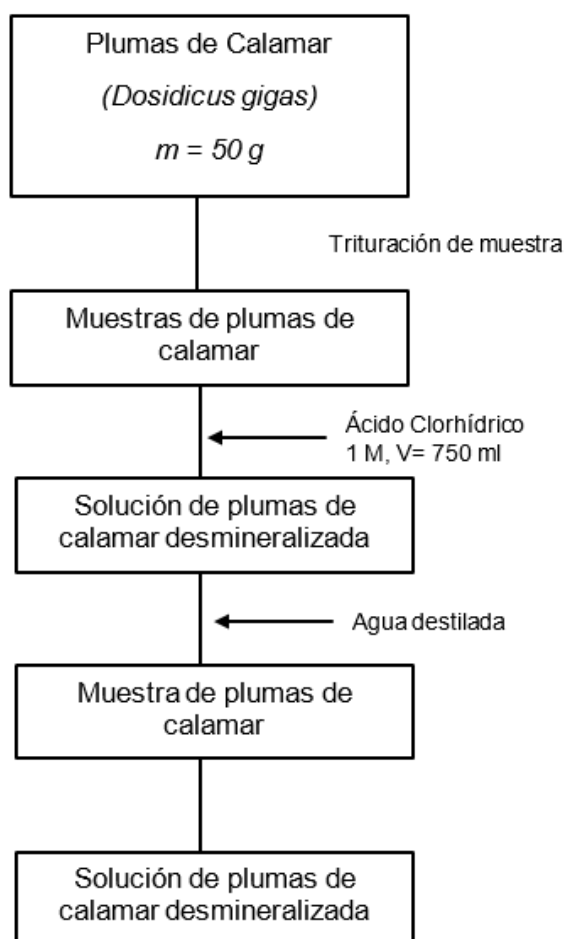
*(A) Preparación de solución de HCl a 1M. (B) homogenización de muestra con HCl. (C) proceso de desmineralización de la muestra de pluma de calamar.*



Luego del tratamiento de desmineralización, se lavó con abundante agua destilada para neutralizar y se pueda hacer el proceso de desproteínización. En la Figura 5 se muestra un diagrama del proceso de desmineralización.

**Figura 5**

*Diagrama del proceso de desmineralización de plumas de calamar*



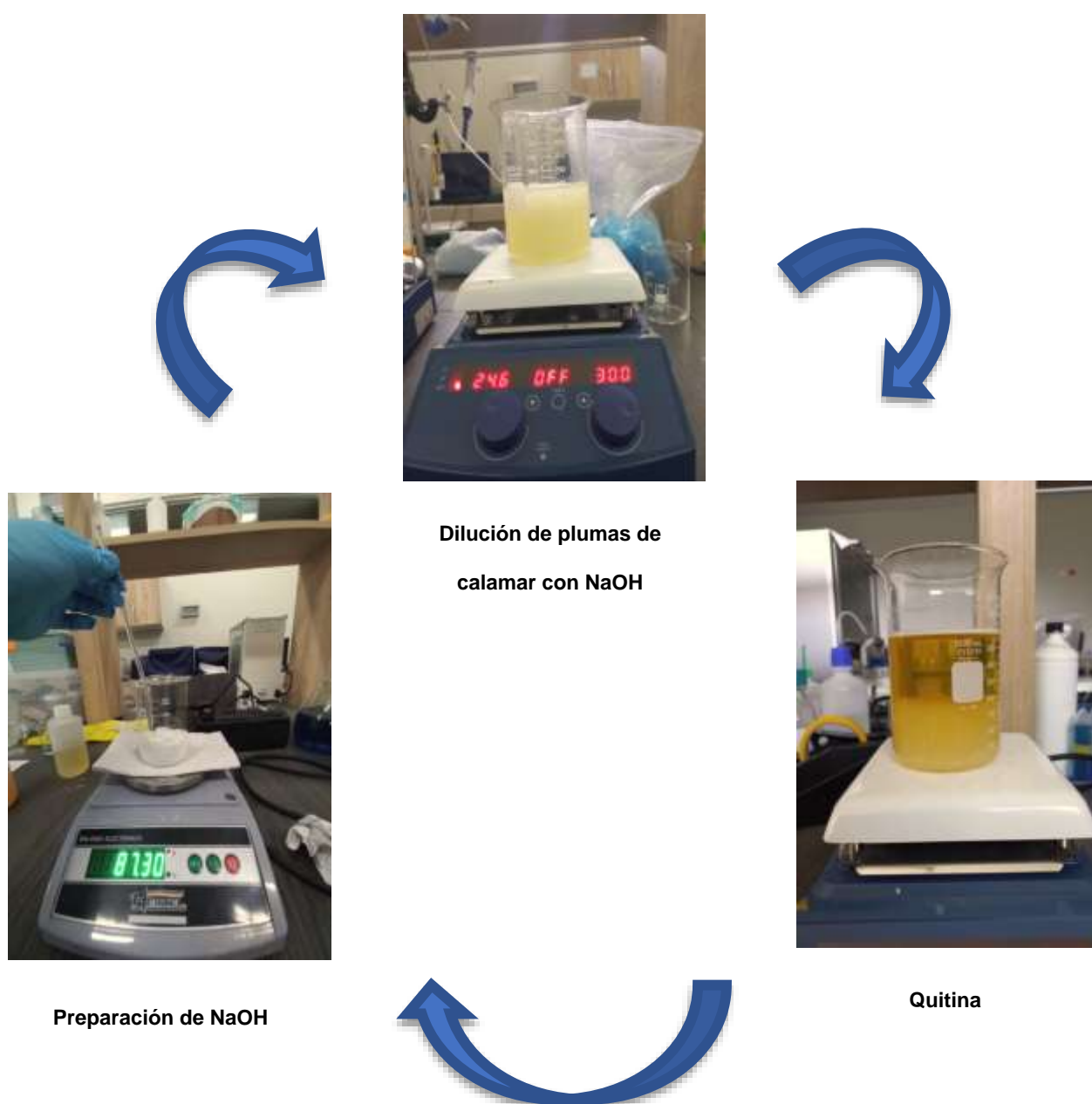
#### 3.5.1.2.2 Desproteínización

Se llevó a cabo la desproteínización a partir de 50 g de pluma de calamar desmineralizado, Se colocó en un beaker para su tratamiento con 4.36 M de NaOH en relación de 1:10 (g/mL) durante 3 horas manteniendo una temperatura de 75 °C.

Al finalizar el tiempo de reacción, el producto obtenido se denominó Quitina (QT) la cual fue lavada con abundante agua destilada hasta neutralizar la solución remanente. Finalmente, se procedió a filtrar la muestra de quitina y se secó en una estufa a 35 °C durante 24 h antes de someterla a la caracterización correspondiente.

**Figura 6**

*(A) preparación de solución NaOH a 4.36 M. (B) dilución de la muestra de pluma de calamar. (C) muestra de quitina desproteínizada.*

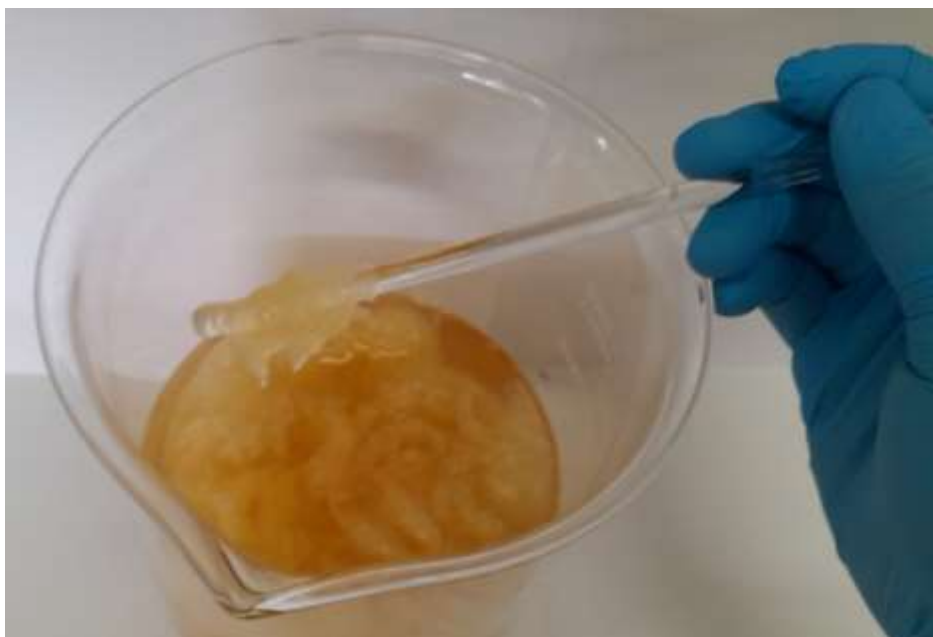


### 3.5.1.3 Obtención de Quitosano

Una vez que la muestra de quitina fue secada, se tomó una porción de 15 g para la acetilación de la muestra de quitina utilizando el método de diseño de Kurita et al. Para obtener diferentes grados de acetilación y a su vez se pueda hacer la comparativa de cuál de estas genera una mayor remoción de Cr(VI). Se prepararon las muestras de quitina en NaOH al 50 % con una proporción peso/volumen de 1:20. La solución se calentó a 92 °C en tres intervalos de tiempo distintos (2, 4 y 6 h) para obtener Quitosano en diferentes grados de acetilación (Ver Figura 7). Posteriormente, la muestra de Quitosano se lavó con abundante agua destilada hasta alcanzar la neutralización para luego ser filtrada hasta obtener una muestra con menor cantidad de agua. Finalmente, la muestra se secó durante 24 h a 35 °C, se trituyó en un mortero para homogeneizar el diámetro de las partículas y luego se almaceno a temperatura ambiente.

**Figura 7**

*Muestra de quitina a temperatura de 92°C.*



**Figura 8**

*(A) equipos de filtración. (B) filtración de muestra de Quitosano. (C) secado de muestra de Quitosano en una estufa.*



**A. Equipos de filtrado**



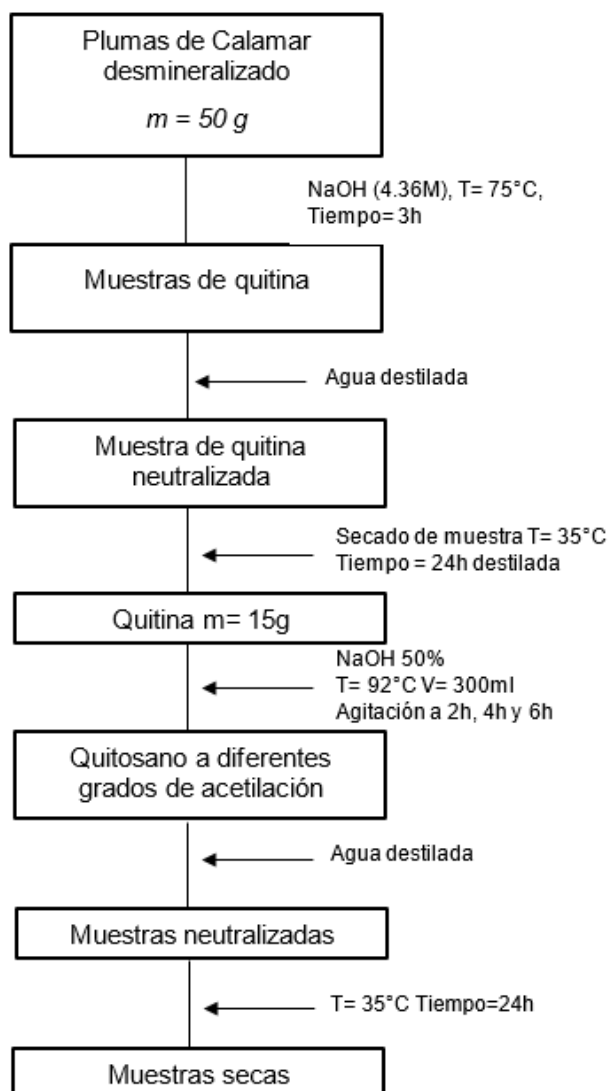
**B. Filtración**



**C. Secado**

**Figura 9**

*Diagrama del proceso de obtención de Quitosano a diferentes grados de acetilación.*



### 3.5.1.4 Caracterización fisicoquímica

#### 3.5.1.4.1 Caracterización física

##### 3.5.1.4.1.1 Rendimiento

La obtención de Quitosano se dio a partir de los resultados obtenidos después de desacetilazar la quitina. Los rendimientos de quitina y Quitosano se obtuvieron a partir de los 50 g de pluma de calamar utilizado:

$$\text{Rendimiento de quitina (\%)} = \frac{\text{Quitina extraída (g)}}{\text{Pluma de calamar (g)}} * 100 \quad (1)$$

$$\text{Rendimiento de quitosano (\%)} = \frac{\text{Quitosano extraído (g)}}{\text{Quitina extraída de plumas de calamar (g)}} * 100 \quad (2)$$

#### 3.5.1.4.1.2 Humedad

Para el análisis gravimétrico se utilizó un horno de marca 3S Cientific-Aldalab Fuitfull de aire caliente, para determinar el contenido de humedad del Quitosano. El QT obtenido fue secado en una estufa a 104°C hasta un peso constante (Jiang et al., 2023). El contenido de humedad se estimó a partir de la diferencia de pesos antes y después del secado, mediante la siguiente formula:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{\text{peso humedo de la muestra (g)} - \text{peso seco de la muestra (g)}}{\text{peso humedo de la muestra (g)}} * 100 \quad (3)$$

#### 3.5.1.4.1.3 Cenizas

Para determinar la composición de las cenizas de la muestra de Quitosano, se trabajó con 1 g en un crisol de sílice y se quemó a 600 °C durante 5 h en un horno de mufla Thermolyve Marca Thermo Scientific-FB1414M (Jiang et al., 2023). Luego las muestras se secarán hasta que estas puedan llegar a la temperatura ambiente y luego se puedan colocar en un desecador para luego ser medidas. Para calcular el contenido de cenizas se tomaron los pesos finales del crisol y del residuo de cenizas mediante la siguiente formula:

$$\text{Contenido de Ceniza (\%)} = \frac{\text{peso del residuo de ceniza (g)}}{\text{peso de la muestra (g)}} * 100 \quad (4)$$



#### 3.5.1.4.1.4 Grado de acetilación

Según (Lavall et al., 2007) Se preparó una solución mediante la mezcla de 450 ml de NaCl (0.0001 M) y 5 ml de HCl (1 M). Después de asegurarse de que la muestra estuviera completamente disuelta, se añadieron 0.2 g de Quitosano a un vaso precipitado de 500 ml de capacidad. Este recipiente se colocó en un agitador magnético a 450 RPM durante 4 h, garantizando que la solución alcanzara una completa homogeneidad. Una vez homogenizada la muestra, se llevó a cabo la titulación conductimétrica mediante la adición de volúmenes de 0.5 ml de NaOH para cada descenso, como se ilustra en la Figura 10.

Para calcular el grado de acetilación, se utilizó la siguiente formula:

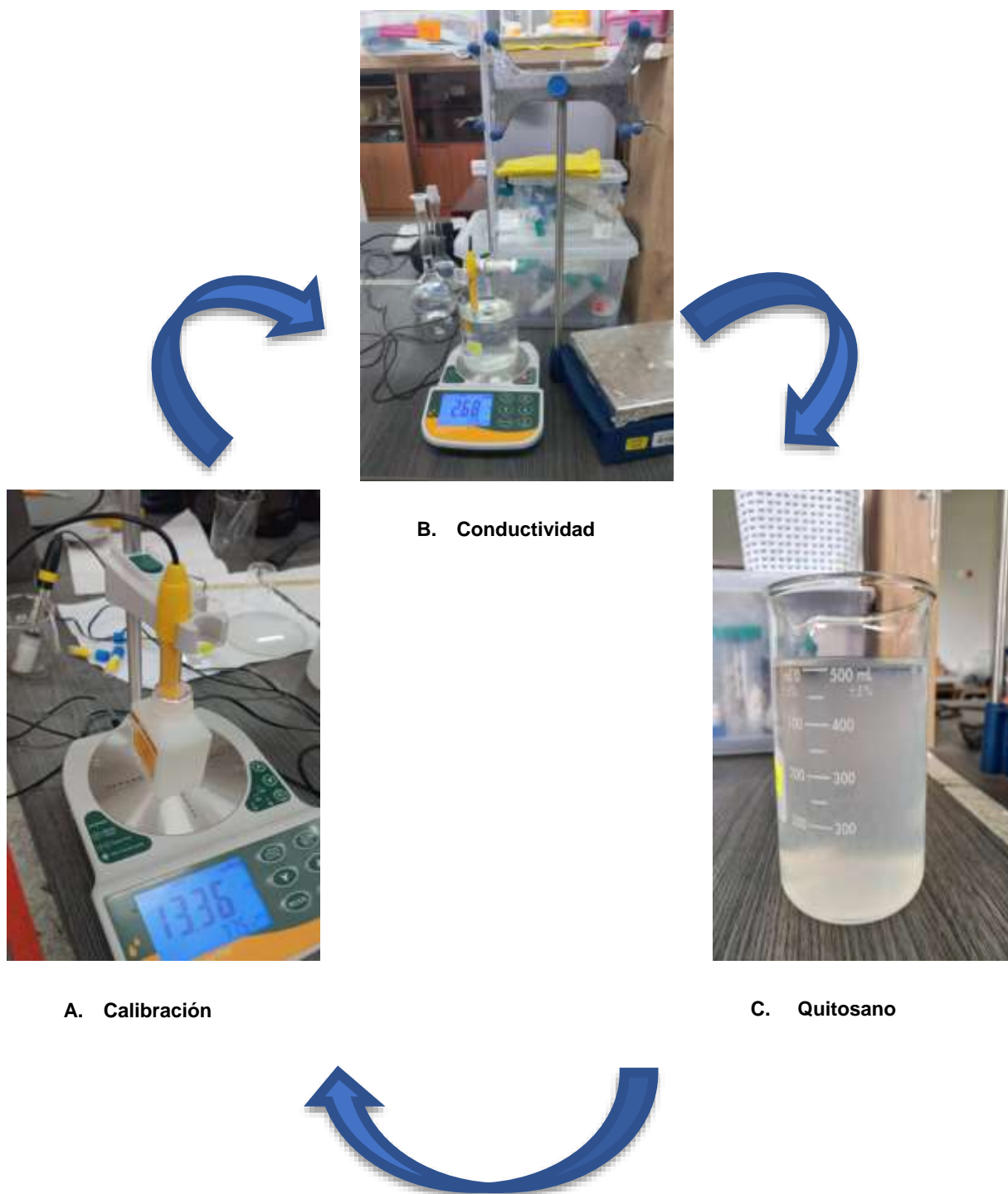
$$\%NH_2 = \frac{C_{NaOH} * \Delta V_{NaOH}}{W_{quitosano}} * 16.1 \quad (5)$$

Donde:

- $\%NH_2$  es el porcentaje de grupos amino libres en el Quitosano.
- $C_{NaOH}$  es la concentración de la solución de hidróxido de sodio (mol/L).
- $\Delta V_{NaOH}$  es el volumen de la solución de hidróxido de sodio consumido durante la titulación (L).
- $W_{quitosano}$  es la masa de la muestra de Quitosano (g).
- 16.1 es el peso equivalente del grupo amino en el Quitosano (g/equivalente de amino).

**Figura 10**

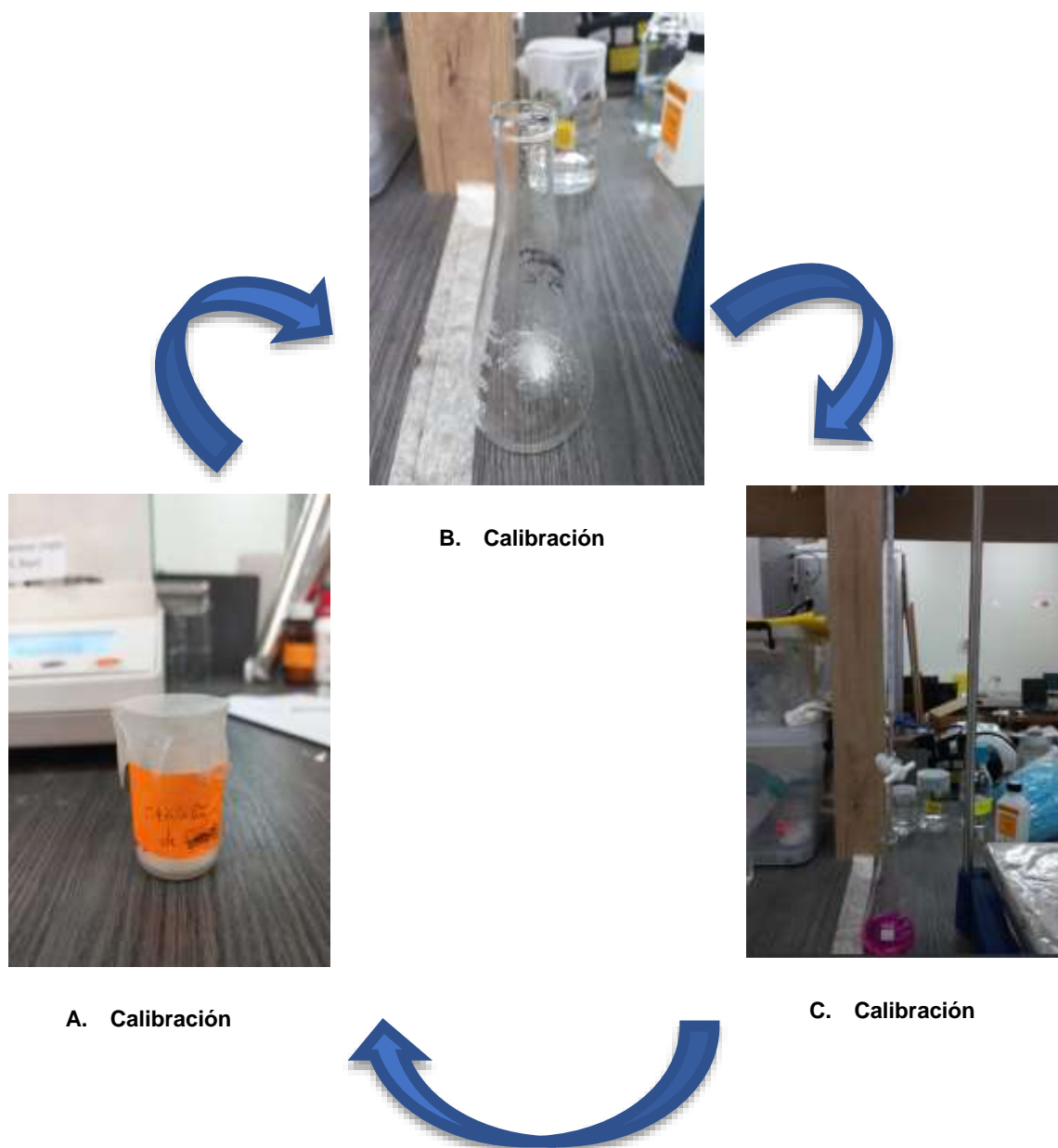
*(A) Calibración del medidor de conductividad. (B) y (C) medición de la conductividad.*



Se preparó una muestra de NaOH con una concentración de 0.01 M. Se agregó 5 gotas de fenoftaleína como agente indicador para calcular la concentración real de NaOH utilizado en la titulación conductimetria.

**Figura 11**

*(A) fenoftaleína. (B) preparación de solución de fenoftaleína para la titulación de la concentración de NaOH. (C) titulación de NaOH con fenolftaleína.*



#### **3.5.1.4.2 Caracterización química**

##### **3.5.1.4.2.1 Espectrofotometría de Infrarrojo por Transformada de Fourier (IR-TF)**

Se realizaron ensayos IR-TF a la muestra de plumas de calamar, quitina y Quitosano. Todos los espectros se obtuvieron en un espectrofotómetro FTIR de marca Nicolet IS10. Los espectros IR se realizaron en un rango de números de onda de  $500\text{ cm}^{-1}$  a  $4000\text{ cm}^{-1}$  con una resolución de  $4\text{ cm}^{-1}$  y 45 barridos.

##### **3.5.1.4.2.2 Difracción de Rayos DRX**

Se llevó a cabo el análisis de Difracción de rayos X para cada muestra, usando un equipo de DRX de marca BRUKER y modelo ADVANCE D8 ubicado en el Centro para el Desarrollo de Materiales Avanzados y Nanotecnología (CEMAT). Las muestras se mantuvieron secas, a temperatura ambiente, el Rango de trabajo fue de  $5-80^\circ$  ( $2\theta$ )

##### **3.5.1.4.2.3 Análisis de Actividad Antioxidante**

La actividad antioxidante por el Método de captación de radicales libres de 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) se determinó siguiendo el procedimiento de (Guija-Poma et al., 2015) con alguna modificación. Se preparó las muestras de Quitosano en concentración de  $5\text{ mg/mL}$  en ácido acético al 0.5 %. Brevemente, las mezclas de reacción, que contenían  $1\text{ mL}$  de una muestra de Quitosano ( $1,0-2,0\text{ mg/mL}$ ) en una solución de ácido acético al 0,5 %,  $1\text{ mL}$  de etanol y  $1\text{ mL}$  de una solución de etanol DPPH  $0,1\text{ mM}$ , se elevaron hasta un volumen final de  $4\text{ mL}$  por solución de ácido acético al 0,5 % en tubos de ensayo. Las mezclas se mezclaron completamente y luego se mantuvieron a  $25^\circ\text{C}$  durante 30 minutos en la oscuridad. La absorbancia de las mezclas se midió a  $517\text{ nm}$  contra un blanco sin DPPH usando un espectrofotómetro UV-Vis Shimadzu modelo mini 1240 (Kyoto, Japón). Se utilizó BHT para comparación. Las masas de cada muestra se indica en la tabla 3.

**Tabla 3**

*Masas de materia prima,  $Q_i$ ,  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_3$*

Muestras	Masas (mg)	Vol. solvente (mL)	Concentración (mg/mL)
Materia Prima (MP)	50.1	10	5.01
$Q_1$	50.2	10	5.02
$Q_2$	50.4	10	5.04
$Q_3$	50.3	10	5.03
$Q_i$	50.5	10	5.05

Se preparó una solución de DPPH, para lo cual se pesó 7.5 mg de DPPH y se disolvió en 50 mL de metanol. Se mantuvo refrigerado y en oscuridad. El ensayo siguió acorde a la siguiente tabla con volumen final de ensayo de 4 mL. Se dejó en reposo durante 30 min y se realizó la lectura de las absorbancias a 517 nm.

### **3.5.2 Obtención de nanofibras a partir de Quitosano, PVA y Quitosano/PVA a diferentes concentraciones mediante el método de Electrohilado**

Se preparó una solución de Quitosano al 1 % a diferentes grados de acetilación (75, 85 y 97 %). Posteriormente, esta solución fue disuelta en un agitador magnético a 400 RPM a 25 °C durante 3 h en una solución de ácido acético al 2 % en peso. Seguidamente, se disolvió PVA al 11 % en peso en agua destilada utilizando un agitador magnético a 400 RPM a 80 °C. La solución de PVA y Quitosano (20:80) con diferentes grados de acetilación se disolvió en un agitador magnético a 400 RPM a 25 °C durante 4 h. Una vez disuelta, la muestra se diluyó y se homogenizó en un sonicador de marca WiseClean WUC A22H Ultrasonic durante 10 minutos. La muestra homogenizada se cargó en volúmenes de 5 ml en una jeringa de 10 ml de capacidad para llevar a cabo el proceso de “Electrohilado”, como se muestra en la Figura 12.

La instalación del equipo de electrohilado comprendió una fuente de alimentación de alto voltaje de 30 kV, una bomba de jeringa de laboratorio y, finalmente, un colector

estático de acero inoxidable. El equipo y los accesorios utilizados fueron de la marca Bioinicia modelo Fluidnatek L50. El proceso de electrohilado se llevó a cabo bajo las siguientes condiciones: La aguja fue de calibre 0.75 mm, la distancia del colector a la punta de la aguja fue de 10 cm, la velocidad de alimentación fue de 2 ml/h, el voltaje utilizado fue de 19.5 kV, la temperatura fue de 20 °C y se realizó a una humedad relativa del 30%. Una vez obtenidas las fibras en el colector, estas fueron desprendidas del papel aluminio mediante una pinza. Finalmente, las fibras compuestas resultantes se colocaron en una luna de reloj y se sometieron a una estufa a 60 °C durante 24 h para eliminar el disolvente restante de ácido acético.

**Figura 12**

*(A) Electrohilado. (B) solución de PVA/Quitosano en la jeringa, listo para la obtención de nanofibras. (C) formación del cono de Taylor de la solución polimérica. (D) obtención de nanofibras de PVA/Quitosano*



**A. Electrohilado**



**B. Solución PVA/Quitosano**



**D. Nanofibra**



**C. Cono de Taylor**

### **3.5.3 Caracterización de las nanofibras a partir de Quitosano, PVA y Quitosano/PVA a diferentes concentraciones**

#### **3.5.3.1 Caracterización química**

##### **3.5.3.1.1 Microscopia Electrónico de Barrido (MEB/SEM)**

Estas medidas fueron llevadas a cabo en un Microscopio Electrónico de Barrido (MEB/SEM), FEI Quanta 650 SU8230 operando a alto vacío con 80 Amp de corriente y voltaje de 20 kV para analizar la morfología de las nanofibras a partir de PVA/Quitosano con diferentes grados de acetilación. El instrumento del SEM/MEB estaba equipado con un Espectrómetro de Dispersión de Energía-EDS y los resultados gráficos correspondientes se cuantificaron con el software TEAM. Este equipo se encuentra ubicado en el Centro para el Desarrollo de Materiales Avanzados y Nanotecnología (CEMAT).

##### **3.5.3.1.2 Microscopio de Fuerza Atómica (AFM)**

El análisis de la nanotextura se llevó a cabo empleando un Microscopio de Fuerza Atómica (AFM) modelo Gwyddion 2.53. Este estudio se efectuó a una temperatura de 25 °C y con una humedad relativa del aire del 53 %. Para asegurar una sujeción adecuada de las muestras de películas (1.0 cm<sup>2</sup>), se utilizaron tiras de cinta adhesiva de doble cara para adherirlas al soporte de muestras del dispositivo. Se realizaron evaluaciones en áreas seleccionadas al azar para cada película y en tres tamaños de escaneo diferentes (5.15 y 50 µm). Durante la adquisición de imágenes, se emplearon tanto el modo de interacción entre la aguja y la muestra, utilizando velocidades de escaneo de 0.5 y 1.0 Hz. Las imágenes se generaron con un tamaño de datos de imagen configurado en 512x512 píxeles, lo que resultó en una matriz de datos con 262144 píxeles.

### **3.5.4 Evaluación de la remoción de Cr(VI) a partir de las nanofibras de Quitosano y Quitosano/PVA a diferentes concentraciones**

#### **3.5.4.1 Preparación de muestras de Cr(VI)**

Para la preparación de las soluciones sintéticas de Cr(VI), se empleó dicromato de potasio, disolviendo 6.1 mg en 1 L de agua destilada. Para ajustar el pH de las soluciones preparadas, se utilizó H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y NaOH diluido.

La solución preparada para los experimentos de absorción consistió en 0.037 g de PVA/Quitosano a diferentes grados de acetilación, luego esta muestra de nanofibra fue colocada en 50 ml de una solución que contenía Cr(VI). La muestra con la nanofibra se agitó en un shaker a 150 RPM a 25 °C durante 24 h en un baño de la marca Daihan Scientific Bath. Después del período especificado, se extrajeron 10 ml de la solución para su posterior análisis con el fin de determinar la concentración final de Cr(VI).

#### **3.5.4.2 Determinación de la capacidad de absorción de Cr (VI)**

Para determinar la capacidad de absorción (Q) del Quitosano se calculó con la siguiente formula.

$$Q = \frac{(C_0 - C_f) * V}{M} \quad (6)$$

donde Q es la cantidad adsorbida (mg/g), C<sub>0</sub> y C<sub>f</sub> (mg/L) son las concentraciones de iones metálicos inicial y final (mg/L), respectivamente; V es el volumen de la solución y M es la cantidad de masa de nanofibras (g).

Para la medición la concentración de soluciones de cromo se midió mediante el método de espectrofotométrico UV-visible (Marca). La absorbancia máxima del complejo Cr(VI) se produjo a una longitud de onda de 300 a 400 nm.



### 3.5.5 Evaluación de las propiedades termodinámicas y cinéticas de la remoción de Cr(VI) con nanofibras

#### 3.5.5.1 Estudio cinético

Se utilizaron modelos cinéticos de pseudo-primer y pseudo-segundo orden para determinar la dinámica de absorción. El modelo de pseudo-primer orden es uno de los modelos más utilizados para la absorción de solutos a partir de soluciones. Generalmente se expresa de la siguiente manera:

$$\log(Q_e - Q_t) = \log Q_e - \frac{k_1}{2.303} t \quad (7)$$

donde

- $Q_e$  es la cantidad de adsorbato en equilibrio (mg/g).
- $Q_t$  es la cantidad de adsorbato en el tiempo  $t$  (mg/g).
- $k_1$  es la constante de velocidad de pseudo primer orden (1/min).
- $t$  es el tiempo de contacto (min).

El modelo de pseudosegundo orden se expresa generalmente como la ecuación:

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{k_2 * Q_e^2} + \frac{t}{Q_e} \quad (8)$$

donde

- $t$  es el tiempo (s).
- $Q_t$  es la cantidad de soluto adsorbido en el tiempo  $t$  (mg/g).
- $k_2$  es la constante de velocidad de pseudosegundo orden (g/(mg·s)).
- $Q_e$  es la cantidad de soluto adsorbido en el equilibrio (mg/g).

### 3.5.5.2 Estudio de isoterma

Se utilizará los modelos de isothermas de Langmuir y Freundlich para describir la relación entre la concentración del soluto en fase líquida y su absorción en una superficie sólida como la de un adsorbente.

La ecuación de Langmuir es:

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{Q_{max}} C_e + \frac{1}{Q_{max} * b} \quad (9)$$

donde  $Q_e$  es la cantidad de soluto adsorbido por unidad de peso de adsorbente (mg/g),  $C_e$  la concentración de equilibrio de soluto en la solución a granel (mg/L),  $Q_{max}$  la capacidad de absorción de la monocapa (mg/g) y  $b$  una constante relacionada con la energía de absorción libre,  $b$  es el recíproco de la concentración a la que se alcanza la mitad de la saturación del adsorbente (Roger, 2020).

La isoterma de Freundlich es una correlación empírica aplicable a la absorción sobre superficies heterogéneas (Wen et al. 2011). Este modelo tiene una expresión lineal como:

$$\log Q_e = \frac{1}{n} \log C_e + \log k_f \quad (10)$$

donde  $Q_e$  es la cantidad de soluto adsorbido por unidad de peso de adsorbente (mg/g),  $C_e$  la concentración de equilibrio de soluto en la solución a granel (mg/L),  $k_f$  es una constante indicativa de la capacidad de absorción relativa del adsorbente (mg/g), y la constante  $1/n$  indica la intensidad de la absorción.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.1 Resultados

#### 4.1.1 Caracterización de plumas de calamar (*Dosidicus gigas*, materia prima), Quitina y Quitosano

##### 4.1.1.1 Caracterización física

##### 4.1.1.1.1 Rendimiento

Los resultados obtenidos del rendimiento a diferentes grados de acetilación (Figura 13) obtenidos a partir de la quitina se indican a continuación:

$$\text{Rendimiento de quitina (\%)} = \frac{16.02 \text{ g}}{50 \text{ g}} * 100 = 32.04 \%$$

$$\text{Rendimiento de Q1 (\%)} = \frac{1.1 \text{ g}}{15 \text{ g}} * 100 = 7.3 \%$$

$$\text{Rendimiento de Q2 (\%)} = \frac{1.3 \text{ g}}{15 \text{ g}} * 100 = 8.7 \%$$

$$\text{Rendimiento de Q3 (\%)} = \frac{1.0 \text{ g}}{15 \text{ g}} * 100 = 6.7 \%$$

**Figura 13**

*Quitosano a diferentes grados de acetilación.*



#### **4.1.1.1.2 Humedad**

Los datos resultantes antes y después del tratamiento de las muestras de plumas de calamar (MP), quitina (QT) y Quitosano (Q) a diferentes grados de acetilación en el horno se encuentran reflejados en la tabla 4.

**Tabla 4**

*Humedad de plumas de calamar, quitina y Quitosano a diferentes grados de acetilación.*

	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Variación (g)	Humedad (%)
MP	1.0242	0.9479	0.0763	7.4497
Q <sub>i</sub>	0.1183	0.0057	0.1126	4.8326
Q <sub>c</sub>	1.1145	0.0534	1.0611	4.7972
Q <sub>1</sub>	1.1060	0.0493	1.0567	4.7649
Q <sub>2</sub>	1.1262	1.0748	0.0514	4.5640
Q <sub>3</sub>	1.0456	1.0021	0.0435	4.1602

#### 4.1.1.1.3 Cenizas

Los datos resultantes antes y después de sacar las muestras en la mufla se encuentran reflejados en la tabla 5.

**Tabla 5**

*Ceniza de plumas de calamar, quitina y Quitosano a diferentes grados de acetilación.*

	Peso de la muestra (g)	Peso de ceniza (g)	Ceniza (%)
MP	1.1361	0.0071	0.6249
Qi	1.0060	0.0031	0.3157
Q <sub>c</sub>	1.0294	0.0044	0.4326
Q <sub>1</sub>	1.0294	0.0030	0.2994
Q <sub>2</sub>	1.0456	0.0034	0.3254
Q <sub>3</sub>	1.0245	0.0036	0.3564

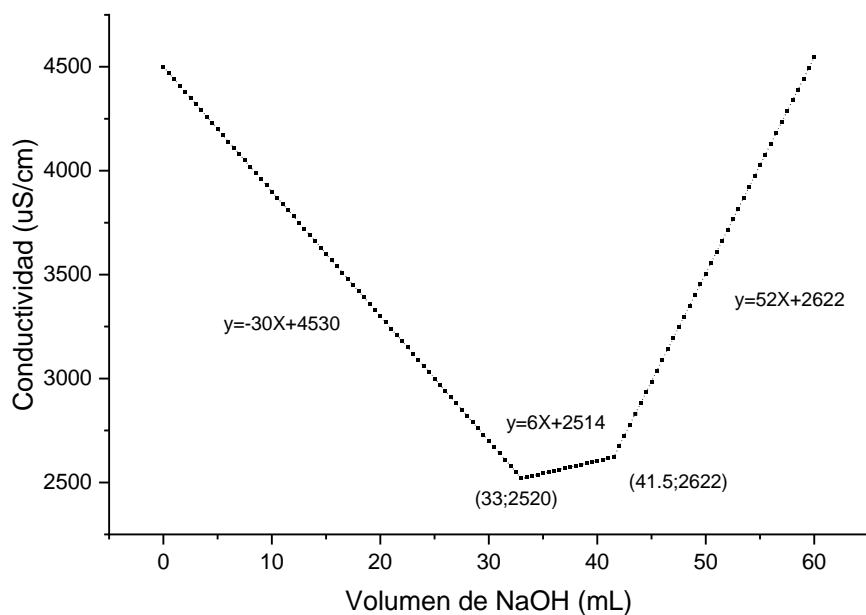
#### 4.1.1.2 Caracterización química

##### 4.1.1.2.1 Grado de acetilación

Se determinó el grado de acetilación mediante la medición de la conductividad del Quitosano con un volumen en exceso de ácido clorhídrico, titulado con hidróxido de sodio (dos Santos et al., 2009) . A continuación, se indican el cálculo del grado de acetilación de Q<sub>c</sub>, Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub> y Q<sub>3</sub>.

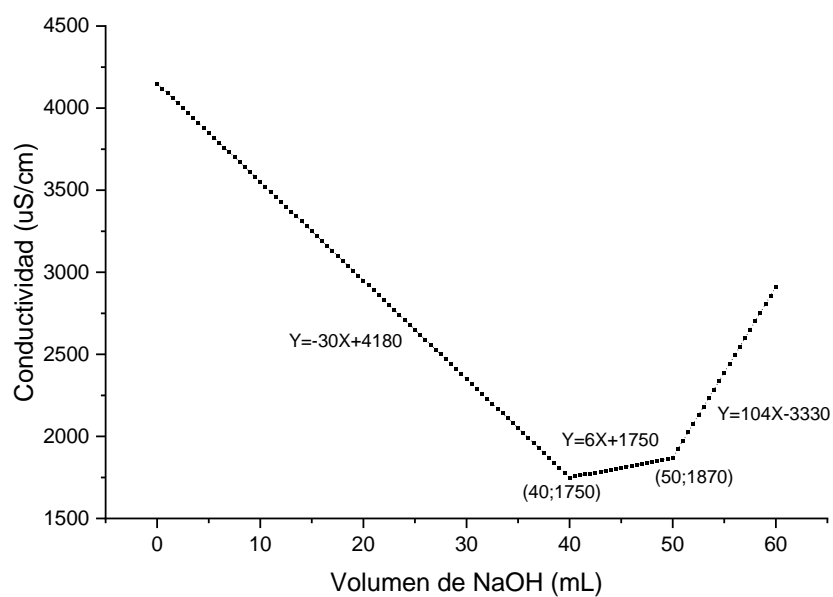
**Figura 14**

Valoración conductimétrica de  $Q_c$ .



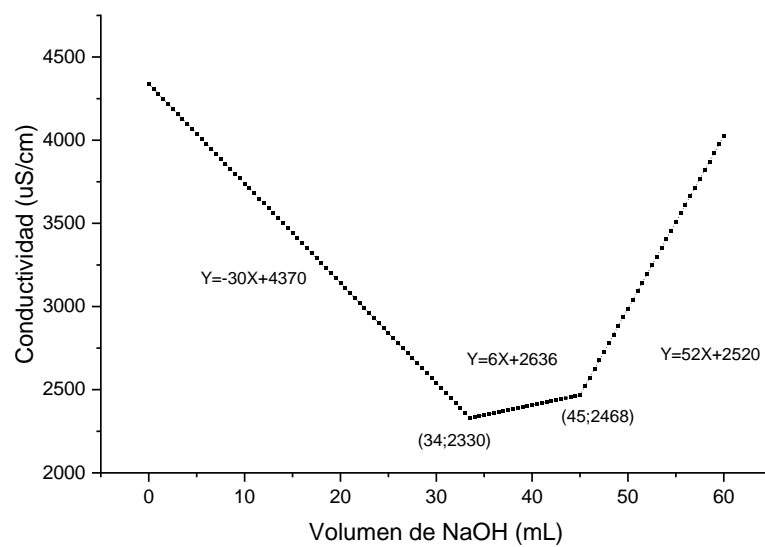
**Figura 15**

Valoración conductimétrica de  $Q_1$ .



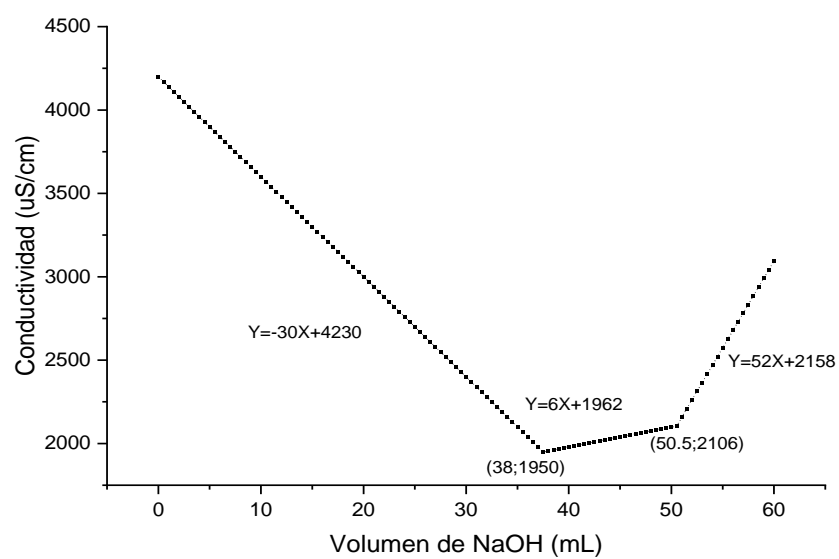
**Figura 16**

*Valoración conductimétrica de  $Q_2$ .*



**Figura 17**

*Valoración conductimétrica de  $Q_3$ .*



De acuerdo con la valoración conductimétrica para el  $Q_c$ ,  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_3$ , se calculó el grado de acetilación a diferentes grados de acetilación como se observa en la Figura 18.

**Figura 18**

*Muestras de Quitosano a diferentes grados de acetilación*



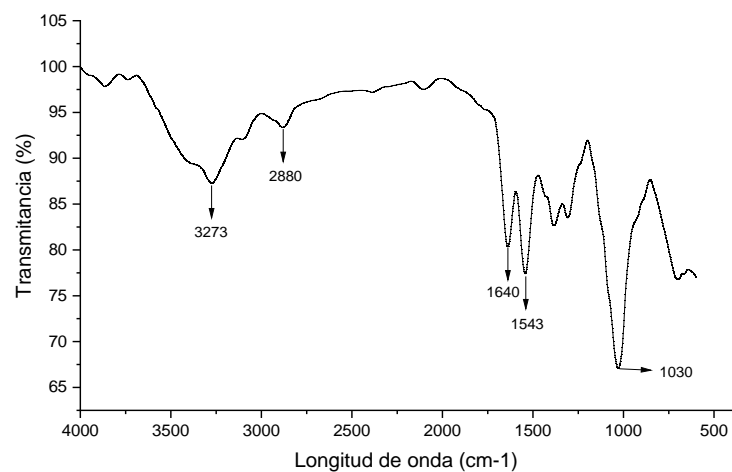
#### **4.1.1.2.2 Espectrometría de Infrarrojo por Transformada de Fourier – FTIR**

Se caracterizó el Quitosano obtenido mediante espectroscopia infrarroja, se determinaron los picos principales para las muestras de Quitina,  $Q_c$ ,  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_3$ .



Figura 19

*Espectro IR de Quitina*



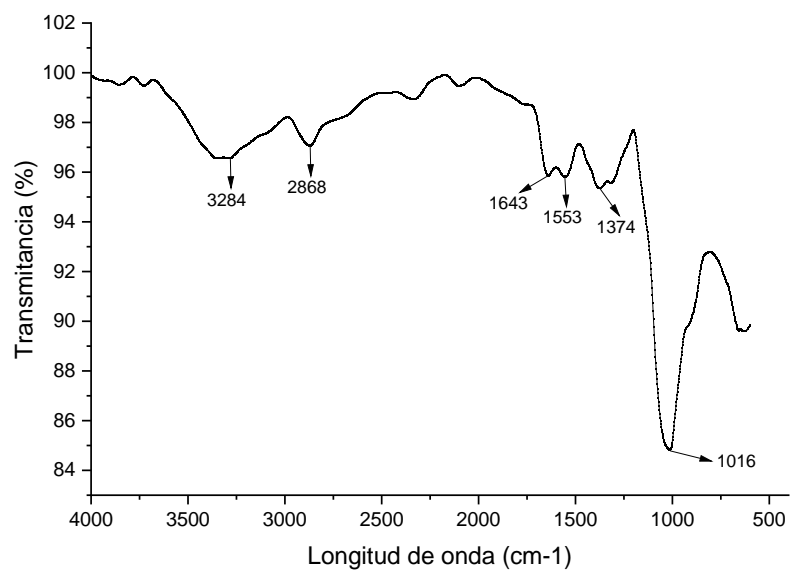
**Tabla 6**

*Información de las bandas de FTIR de los principales grupos funcionales presentes en la Q<sub>i</sub>.*

Muestra	Numero de onda (cm <sup>-1</sup> )	Indicación de los grupos funcionales
Quitina	3273	Grupos amino (-NH <sub>2</sub> ) o grupos hidroxilo (-OH)
	2880	Grupos metilo (-CH <sub>3</sub> )
	1640	Grupos carbonilo (C=O)
	1543	Grupos amida (C=O en amidas)
	1030	C-O

**Figura 20**

*Espectro IR de Q<sub>c</sub>.*



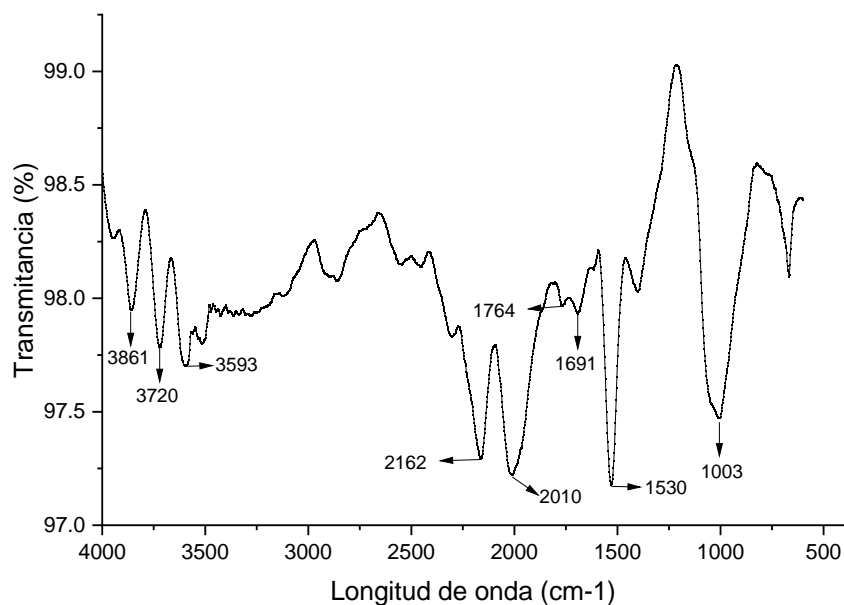
**Tabla 7**

*Información de las bandas de FT-IR de los principales grupos funcionales presentes en la Q<sub>c</sub>.*

Muestra	Numero de onda (m <sup>-1</sup> )	Indicación de los grupos funcionales
Quitina	3284	grupos hidroxilo (-OH)
	2868	Grupos metilo (-CH <sub>3</sub> )
	1643	Grupos carbonilo (C=O)
	1553	Grupos amida (C=O en amidas)

**Figura 21**

*Espectro IR de Q<sub>1</sub>.*



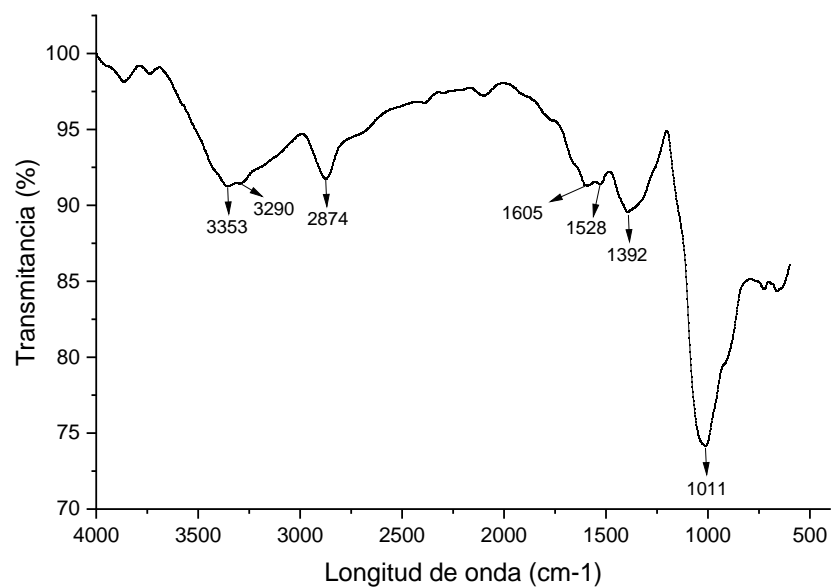
**Tabla 8**

*Información de las bandas de FTIR de los principales grupos funcionales presentes en la Q<sub>1</sub>.*

Muestra	Numero de onda (m <sup>-1</sup> )	Indicación de los grupos funcionales
Quitina	3861	Alcohol (-OH)
	3720	Hidroxilo (-OH)
	3593	H <sub>2</sub> O
	2162	Acetilo (C=O en grupos -COCH <sub>3</sub> )
	2010	Alcohol (-OH)
	1764	Carbonilo (C=O)
	1691	Carbonilo (C=O)
	1530	Amida (C=O en amidas)

**Figura 22**

*Espectro IR de Q<sub>2</sub>.*



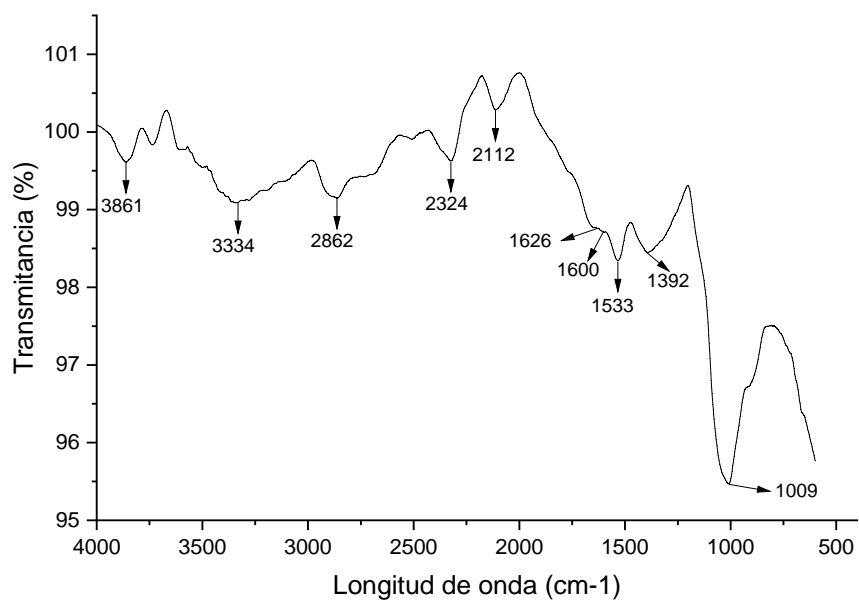
**Tabla 9**

*Información de las bandas de FTIR de los principales grupos funcionales presentes en la Q<sub>2</sub>.*

Muestra	Numero de onda (m <sup>-1</sup> )	Indicación de los grupos funcionales
Quitina	3353	Hidroxilo (-OH)
	3290	H <sub>2</sub> O
	2874	H <sub>2</sub> O
	1605	Amida (C=O en amidas)
	1528	Carbonilo (C=O)
	1392	Metilo (CH <sub>3</sub> )

**Figura 23**

*Espectro IR de Q<sub>3</sub>.*



**Tabla 10**

*Información de las bandas de FTIR de los principales grupos funcionales presentes en la Q<sub>3</sub>.*

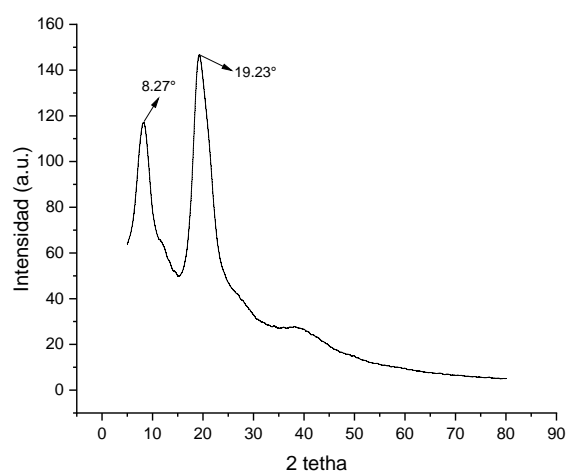
Muestra	Numero de onda (m <sup>-1</sup> )	Indicación de los grupos funcionales
Quitina	3861	H <sub>2</sub> O
	3334	Hidroxilo (-OH)
	2862	H <sub>2</sub> O
	2324	H <sub>2</sub> O
	2112	H <sub>2</sub> O
	1626	Carbonilo (C=O)
	1600	Amida (C=O en amidas)
	1533	Carbonilo (C=O)
	1392	Metilo (CH <sub>3</sub> )

#### 4.1.1.2.3 Difracción de Rayos X(DRX)

Los resultados de DRX de la muestra de Quitina,  $Q_c$ ,  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_3$  se muestran en la Figura 24, 25, 26, 27 y 28 respectivamente.

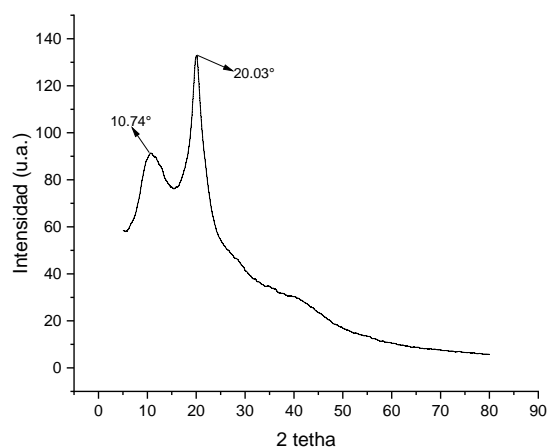
**Figura 24**

*Curva XDR de plumas de calamar.*



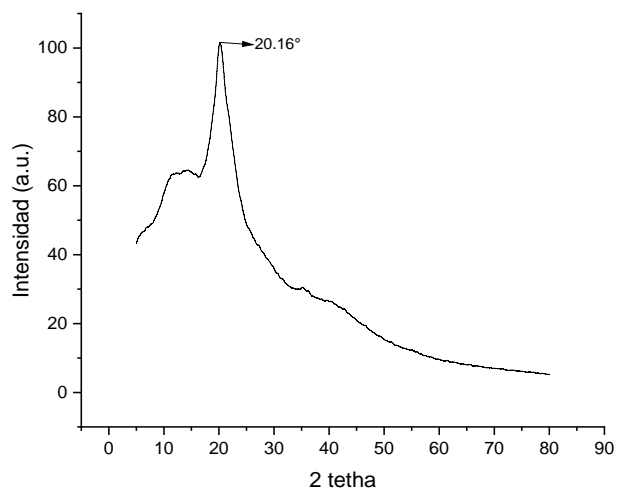
**Figura 25**

*Diffractograma obtenido por DRX de  $Q_c$ .*



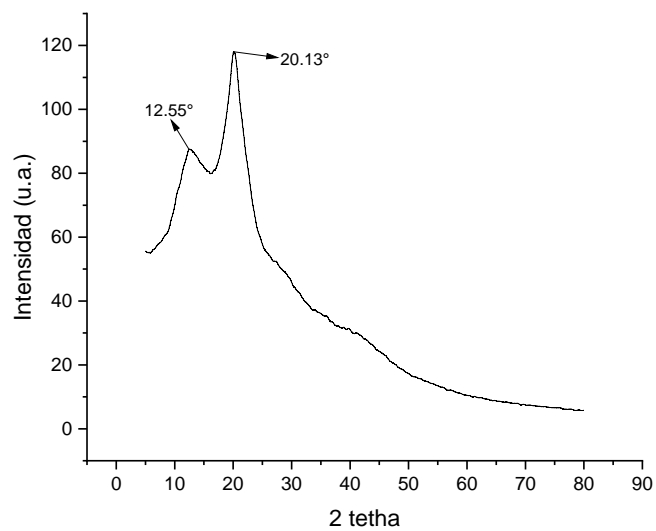
**Figura 26**

*Difractograma obtenido por DRX de  $Q_1$ .*



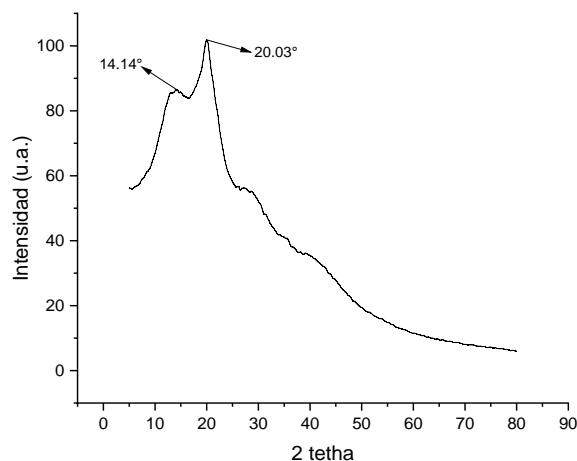
**Figura 27**

*Difractograma obtenido por DRX de  $Q_2$ .*



**Figura 28**

*Difractograma obtenido por DRX de Q<sub>3</sub>.*



#### **4.1.1.2.4 Actividad Antioxidante**

Para la actividad antioxidante, se hizo un blanco y un control como se muestra en la tabla 11 y 12.

**Tabla 11**

*Volumen de muestra de control y blanco.*

	Alicuota (mL)	Solvente (mL)	Sol DPPH (mL)	Metanol (mL)
Blanco	0	2	0	2
Control	0	2	1	1
Muestras	1	1	1	1

Donde:

- Alicuota (mL): La cantidad de muestra de la pluma de calamar que se utiliza en cada ensayo.
- Solvente (mL): El volumen de solvente utilizado en el ensayo. En este caso, se utilizó metanol como solvente.



- Sol DPPH (mL): El volumen de la solución de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) utilizada en el ensayo. El DPPH se utiliza como un radical libre estable que reacciona con los antioxidantes presentes en la muestra.
- Metanol (mL): El volumen total de metanol utilizado en el ensayo, incluido el metanol utilizado como solvente y en la preparación de la solución de DPPH.

**Tabla 12**

*Porcentaje de inhibición de MP, Q<sub>i</sub>, Q<sub>C</sub>, Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub> y Q<sub>3</sub>.*

Muestras	Absorbancia	% Inhibición	% Inhibición (Promedio)	Desviación
Blanco	0			
Control 1	0.711			
MP	0.264	62.87	63.99	1.29
	0.246	65.40		
	0.258	63.71		
Q <sub>1</sub>	0.486	31.65	32.02	2.69
	0.463	34.88		
	0.501	29.54		
Q <sub>2</sub>	0.511	28.13	27.80	1.78
	0.527	25.88		
	0.502	29.40		
Q <sub>3</sub>	0.454	36.15	36.47	2.34
	0.434	38.96		
	0.467	34.32		
Q <sub>i</sub>	0.491	30.94	28.88	1.81
	0.511	28.13		
	0.515	27.57		

#### 4.1.2 Caracterización de nanofibras de PVA/Quitano

##### 4.1.2.1 Obtención de nanofibras

Se llegaron a obtener nanofibras de Quitano/PVA a diferentes grados de acetilación, como se observa en la Figura 29.

**Figura 29**

*Formación de nanofibras con el método de electrohilado.*



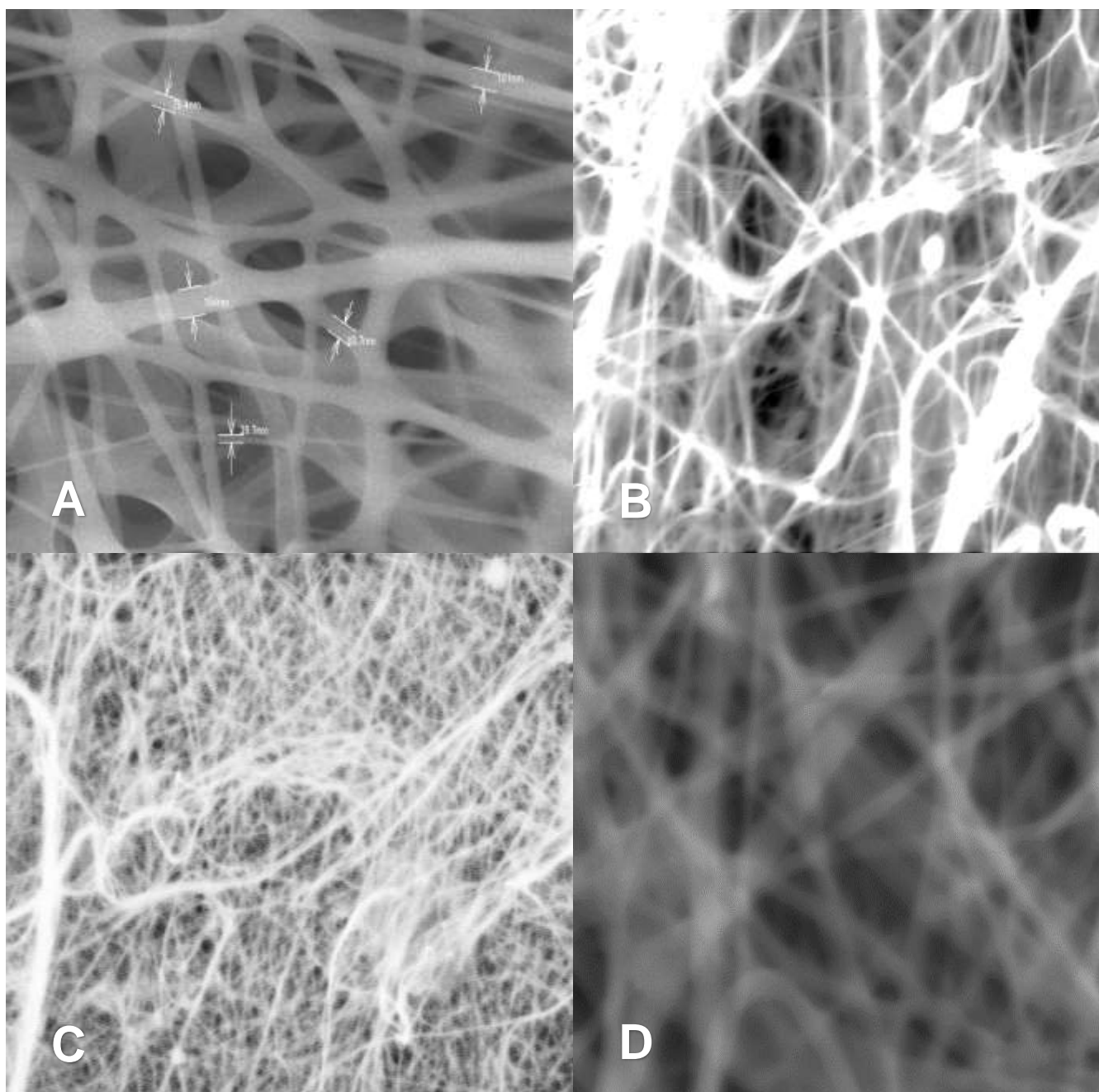
#### **4.1.2.2 Caracterización química**

##### **4.1.2.2.1 Microscopia Electrónica de Barrido (MEB/SEM)**

A continuación, se muestran el análisis SEM para las muestras de Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub> y Q<sub>3</sub>.

**Figura 30**

*Estudio morfológico de: (A) PVA, (B) PVA/Quitosano al 75%, (C) PVA/Quitosano al 85% y (D) PVA/Quitosano al 97 %*

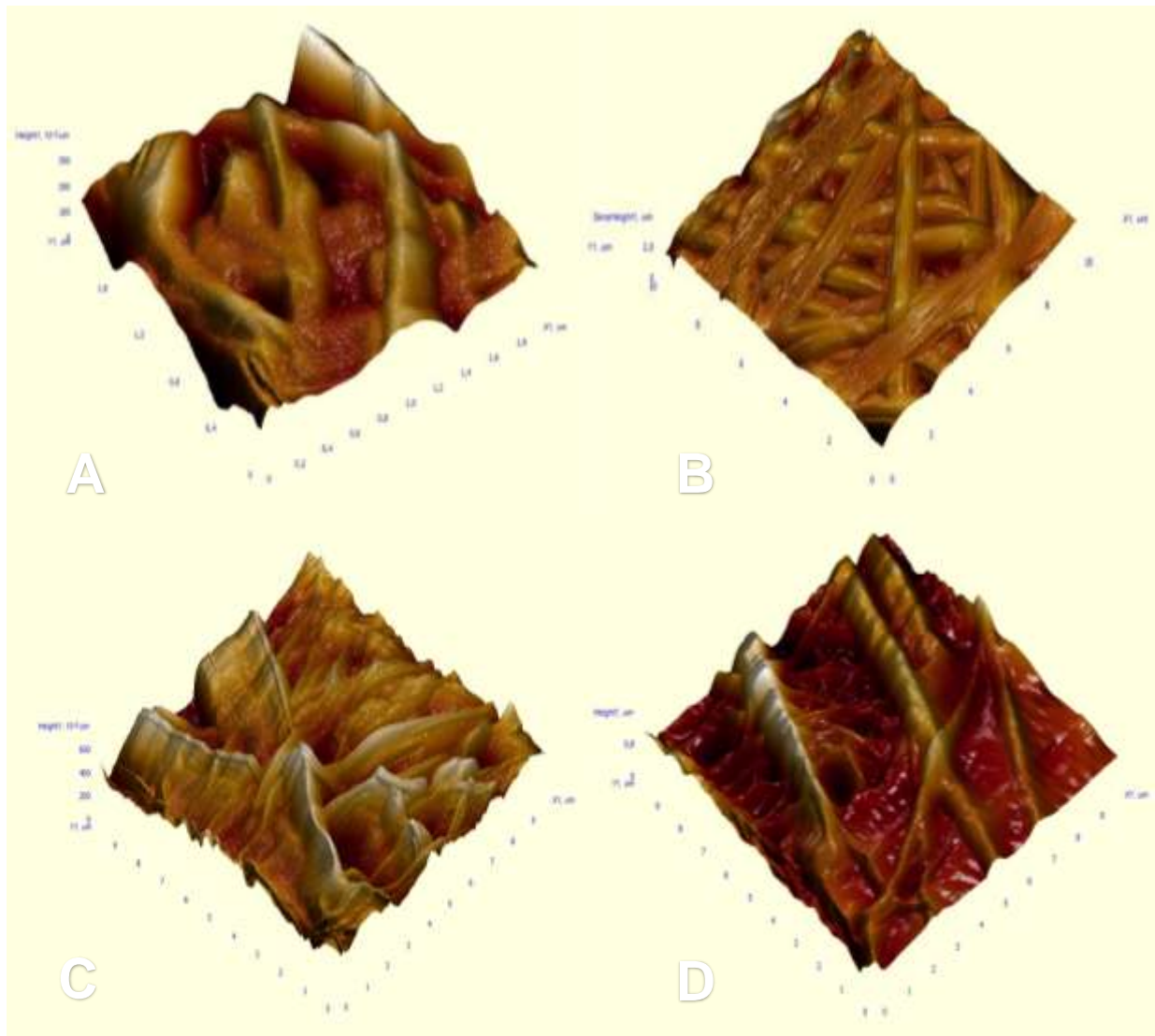


#### 4.1.2.2.2 Microscopia de Fuerza Atómica (AFM)

A continuación, se presentan las imágenes AFM para el PVA, Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub> y Q<sub>3</sub>

**Figura 31**

*Imágenes AFM de: (A) PVA, (B) PVA/Quitosano al 75%, (C) PVA/Quitosano al 85% y (D) PVA/Quitosano al 97 %*



#### 4.1.3 Porcentaje absorción de Cr(VI) a partir de nanofibras

Para determinar los valores máximos de remoción, se comenzó realizando un promedio de las masas de las nanofibras, estableciendo así un rango que se utilizaría en los procesos de remoción. Se tomaron pesos iniciales de 0.015, 0.025, 0.035, 0.045 y 0.055 g basados en la revisión bibliográfica, como se detalla en la tabla 13.

**Tabla 13**

*Masas de PVA/Quitano.*

Muestras	Masa 1 (g)	Masa 2 (g)	Masa 3 (g)	Masa 4 (g)	Masa 5 (g)
PVA/Q <sub>2</sub>	0.015	0.025	0.035	0.045	0.055

A partir de las 5 masas, se procedió a remover Cr(VI) a 25°C durante 24 h, para luego estas pueda ser cuantificadas. Los % de remoción se muestran en la tabla 14 y la Figura 32.

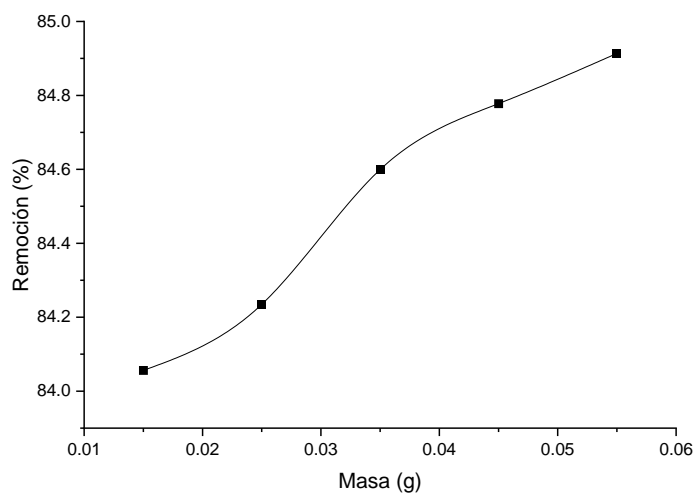
**Tabla 14**

*Remoción de Cr(VI) a partir de PVA/Quitano a diferentes masas*

Muestras	Masa (g)	C <sub>0</sub>	C <sub>f</sub>	% Remoción
Masa 1	0.015	5.892	0.9394	84.06
Masa 2	0.025	5.892	0.9289	84.23
Masa 3	0.035	5.892	0.9074	84.60
Masa 4	0.045	5.892	0.8969	84.78
Masa 5	0.055	5.892	0.8909	84.91

**Figura 32**

*% Remoción de Cr(VI) a diferentes masas.*



Una vez obtenido el peso promedio (0.035 g), se procedió a realizar la remoción de Cr a diferentes grados de acetilación, considerando su masa respectiva. En la Tabla 15 se observan los resultados obtenidos de remoción de Cr a partir de PVA, Quitosano comercial y nanofibras de PVA/Quitosano a diferentes grados de acetilación, respectivamente partiendo de una concentración inicial de Cr(VI) de 5.89 mg/L.

**Tabla 15**

*% Remoción de Cr(VI) a diferentes grados de acetilación.*

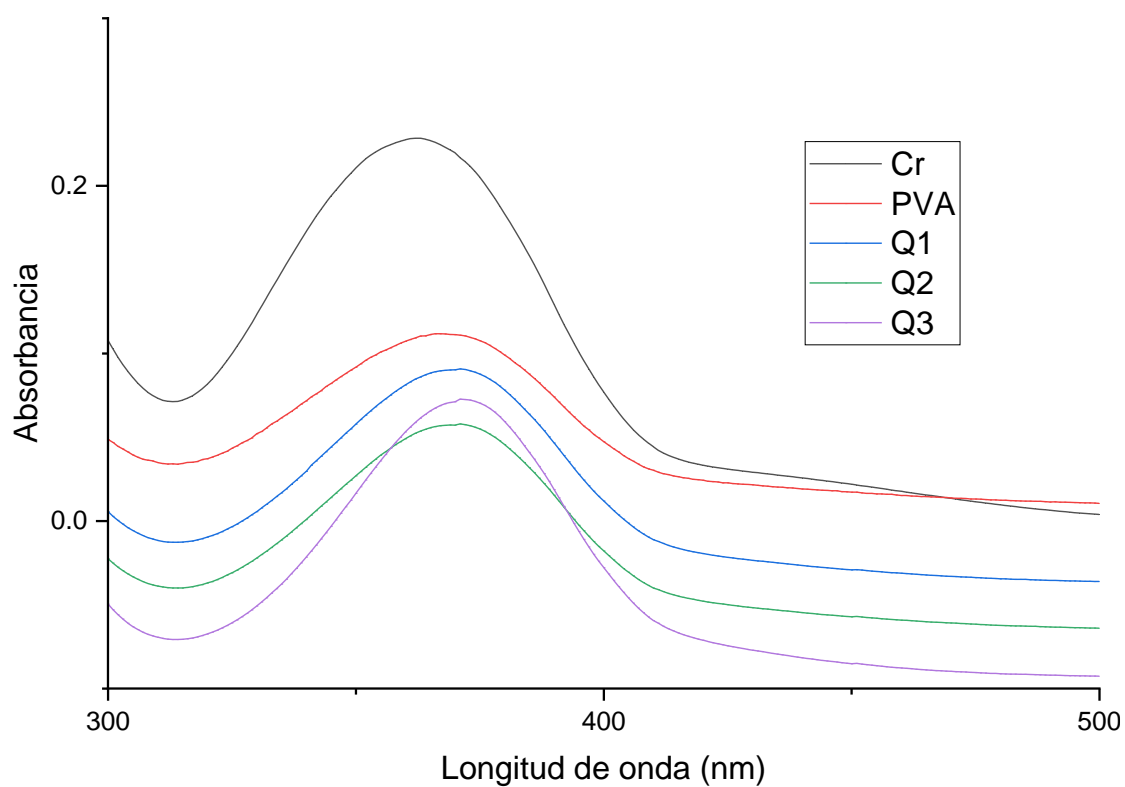
Muestras	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3	Promedio	Desviación estándar
PVA	56.24	55.12	56.2	55.85	0.6354
Quitosano comercial	59.5	58.6	58.9	59.00	0.4583
PVA/Q <sub>1</sub>	69.12	68.98	69.78	69.29	0.4272
PVA/Q <sub>2</sub>	84.19	85.69	83.74	84.54	1.0210
PVA/Q <sub>3</sub>	76.54	77.12	75.89	76.52	0.6153

En el proceso de eliminación de Cr(VI), se consideró el peso de cada nanofibras de PVA/Quitosano con diferentes grados de acetilación y el tiempo (24 h) como se muestra

en la Figura 40. Llegando así a obtenerse datos de remoción que se muestran en la tabla 16 y como se puede observar a diferentes grados de acetilación (Figura 33 y 34)

**Figura 33**

*Variación de los espectros de absorción de Cr(VI) con el PVA/Quitosano a diferentes grados de acetilación.*



**Figura 34**

*Remoción de Cr(VI) (A) PVA/ Q<sub>1</sub>, (B) PVA/ Q<sub>2</sub>, (C) PVA/ Q<sub>3</sub> y (D) PVA.*

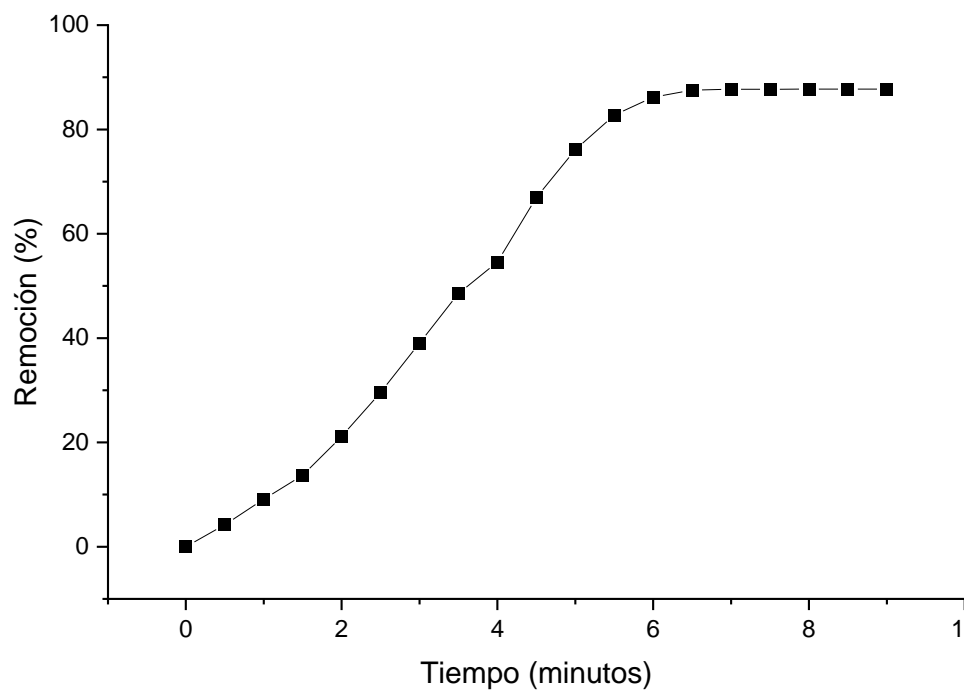


Para determinar el tiempo de equilibrio de las muestras de PVA/Quitano en soluciones de Cr(VI), se tuvo en cuenta muestras de nanofibras de PVA/Q<sub>2</sub>. Esta prueba se llevó a cabo durante un periodo de 8 h, y la remoción se evaluó en intervalos de 30 minutos, como se ilustra en la Figura 35.



**Figura 35**

*Remoción de Cr(VI) en periodos de 30 minutos.*



Para evaluar la capacidad de absorción de las nanofibras, se seleccionó la muestra Q<sub>2</sub>, que mostró la mayor remoción de Cr. Posteriormente, se determinaron las concentraciones máximas a las cuales la remoción de Cr se mantuvo constante y hasta qué punto las nanofibras dejaron de disminuir las concentraciones de Cr. Se trabajó con diversas concentraciones, incluyendo 10, 20, 40, 80, 100, 110 y 120 ppm.

**Tabla 16**

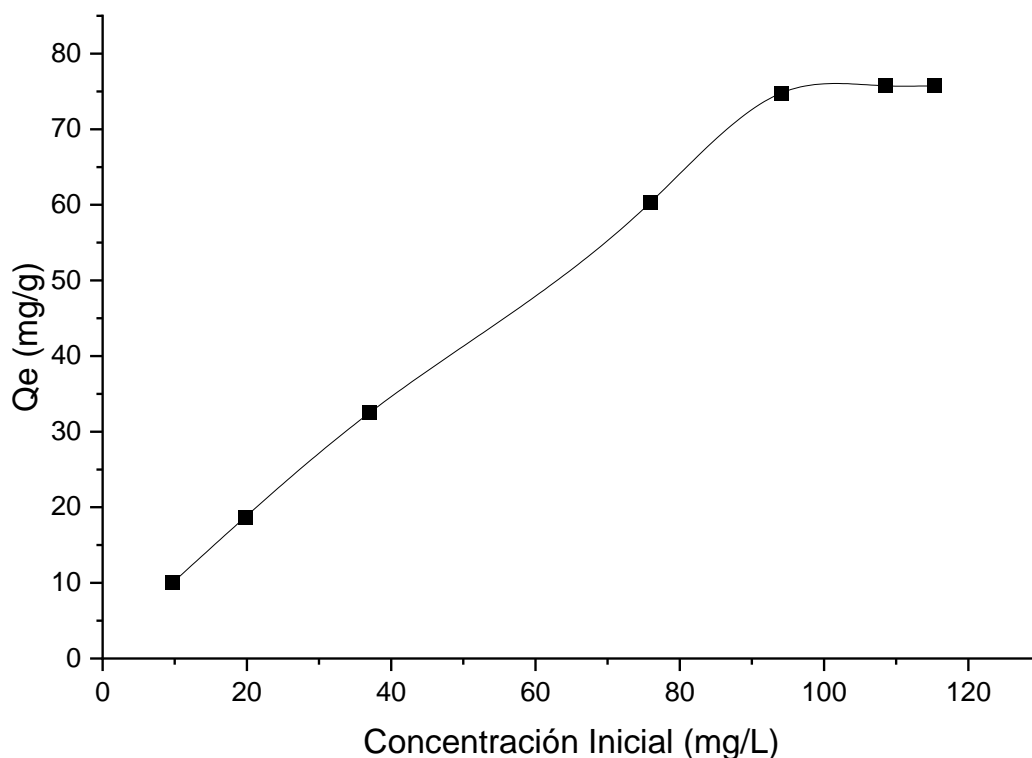
*% Remoción de Cr(VI) a diferente concentración*

Muestra	Masa (g)	C <sub>0</sub> (mg/L)	C <sub>f</sub> (mg/L)	q <sub>e</sub> ( mg/g)
M-10	0.04	9.71	2.57	10.03
M-20	0.04	19.74	6.03	18.69
M-40	0.04	37.00	13.87	32.49
M-80	0.04	76.00	30.61	60.37
M-100	0.04	94.10	40.69	74.80

Muestra	Masa (g)	C <sub>0</sub> (mg/L)	C <sub>f</sub> (mg/L)	q <sub>e</sub> (mg/g)
M-120	0.04	108.56	52.81	75.74
M-130	0.04	115.25	59.66	75.74

**Figura 36**

*Remoción a diferentes concentraciones de Cr(VI).*



Finalmente, se procedió a calcular la variación en la remoción de Cr(VI) en distintos niveles de pH, con el objetivo de identificar las condiciones óptimas para la eliminación de Cr(VI) en diferentes grados de acetilación.

Para las nanofibras de Q<sub>2</sub> se trabajó con pH de 2, 4 y 6, considerando que el Quitosano tiene grupos amino (NH<sub>2</sub>) que podían interactuar con los iones dicromato (Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)<sup>2-</sup> presentes en la solución, formando enlaces químicos que atrapaban el Cr (Maciej Serda et al., 2013).

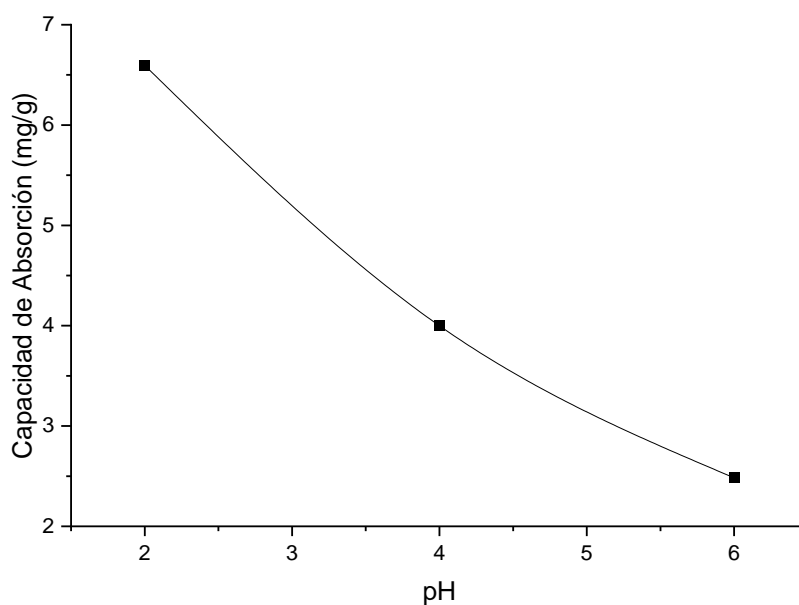
**Tabla 17**

*Concentración final de Cr(VI) a diferentes pH.*

pH	Masa (g)	Co (mg/L)	Cf (mg/L)	Capacidad de Absorción (mg/g)
2	0.04	5.89	0.91	6.59
4	0.04	5.89	2.97	3.99
6	0.004	5.89	4.13	2.48

**Figura 37**

*Efectos del pH sobre la capacidad de absorción de PVA/Quitano.*



Una vez realizadas las pruebas para determinar cómo influían los parámetros de grado de desacetilación, masa y pH, se procedió a utilizar un diseño de experimentos basado en el método factorial (Numero de fluctuaciones) <sup># de variables</sup> para llevar a cabo las pruebas de remoción de Cr(VI), siendo esta un total de 27 combinaciones. Es importante tener en cuenta que cada combinación se realizó por triplicado para calcular las desviaciones.

**Tabla 18***Resultados del diseño de experimento 3<sup>3</sup> para las pruebas de remoción de Cr(VI)*

Grado de desacetilación (%)	Masa de nanofibra (g)	pH	1ra Prueba	2da Prueba	3ra Prueba	Promedio del % de remoción de Cr(VI)
75	0.015	2	69.02	68.15	70.19	69.12
75	0.015	4	63.12	64.52	64.72	64.12
75	0.015	6	61.12	59.68	59.23	60.01
75	0.035	2	66.58	65.85	70.19	67.54
75	0.035	4	62.63	62.98	66	63.87
75	0.035	6	61.35	58.99	59.33	59.89
75	0.055	2	68.69	68.57	66.29	67.85
75	0.055	4	66.02	66.52	63.69	65.41
75	0.055	6	60.15	63.15	61.44	61.58
85	0.015	2	83.15	82.58	86.84	84.19
85	0.015	4	81.56	83.65	83.04	82.75
85	0.015	6	79.25	80.56	76.41	78.74
85	0.035	2	84.63	82.36	83.45	83.48
85	0.035	4	80.2	81.36	81.89	81.15
85	0.035	6	77.6	78.63	80.8	79.01
85	0.055	2	82.68	83.65	85.7	84.01
85	0.055	4	80.68	82.63	82.66	81.99
85	0.055	6	79.56	81.25	79.16	79.99
97	0.015	2	75.25	76.25	78.12	76.54
97	0.015	4	73.63	72.85	73.87	73.45
97	0.015	6	71.25	71.02	64.79	69.02
97	0.035	2	74.63	76.63	74.1	75.12
97	0.035	4	76.15	75.54	71	74.23
97	0.035	6	67.52	69.52	69.93	68.99
97	0.055	2	72.35	73.65	78.19	74.73
97	0.055	4	72.52	71.5	70.87	71.63
97	0.055	6	70.56	69.52	68.27	69.45

**4.1.3.1 Estudio cinético**

Para determinar el comportamiento cinético de remoción de cromo a partir de PVA/Q<sub>2</sub>, se tuvo en cuenta los siguientes datos.

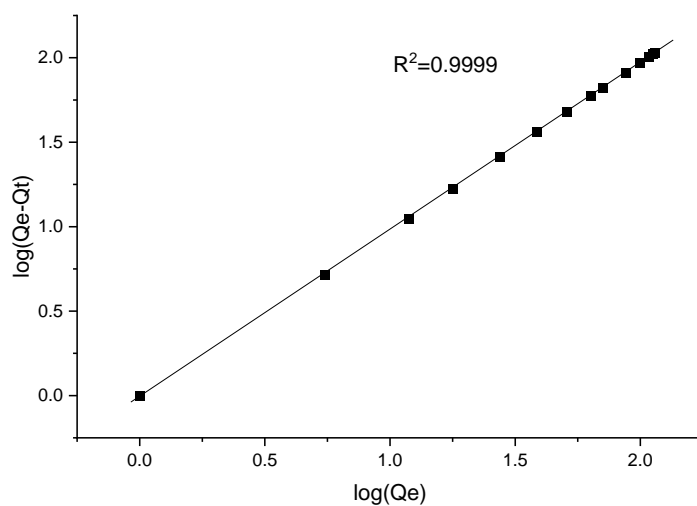
**Tabla 19***Datos para la obtención de la cinética de sorción de pseudosegundo*

t (h)	Masa (g)	Volumen (L)	C <sub>f</sub>	Q <sub>e</sub>	Q <sub>t</sub>	t/Q <sub>t</sub>	t/Q <sub>e</sub>	log(Q <sub>e</sub> -Q <sub>t</sub> )	Log(Q <sub>e</sub> )
0	0.034	0.05	6.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.037	0.05	5.84	5.50	0.35	1.44	0.09	0.71	0.74
1	0.036	0.05	5.55	11.87	0.77	1.29	0.08	1.05	1.08
1.5	0.0362	0.05	5.2630	17.8961	1.1561	1.2975	0.0838	1.2238	1.253
2	0.036	0.05	4.8120	27.5489	1.7889	1.1180	0.0726	1.4109	1.440
2.5	0.0369	0.05	4.2940	38.5672	2.4472	1.0216	0.0648	1.5577	1.586
3	0.0359	0.05	3.7170	50.9789	3.3189	0.9039	0.0588	1.6782	1.707
3.5	0.0365	0.05	3.1360	63.3403	4.0603	0.8620	0.0553	1.7729	1.802
4	0.0371	0.05	2.7720	71.0452	4.4852	0.8918	0.0563	1.8232	1.852
4.5	0.0362	0.05	2.0136	87.3722	5.6442	0.7973	0.0515	1.9124	1.941
5	0.0364	0.05	1.4586	99.2035	6.3755	0.7842	0.0504	1.9677	1.997
5.5	0.0369	0.05	1.0515	107.8108	6.8408	0.8040	0.0510	2.0042	2.033
6	0.0368	0.05	0.8425	112.2933	7.1433	0.8399	0.0534	2.0218	2.050
6.5	0.036	0.05	0.7602	114.2124	7.4164	0.8764	0.0569	2.0286	2.058
7	0.0374	0.05	0.7509	114.1330	7.1512	0.9789	0.0613	2.0293	2.057
.5	0.0369	0.05	0.7494	114.2619	7.2501	1.0345	0.0656	2.0294	2.058
8	0.0371	0.05	0.7489	114.2335	7.2117	1.1093	0.0700	2.0295	2.058
8.5	0.0372	0.05	0.7484	114.2248	7.1930	1.1817	0.0744	2.0295	2.058
9	0.0371	0.05	0.7479	114.2549	7.2131	1.2477	0.0788	2.0296	2.058

Según la tabla 19, se llevó a cabo la elaboración de gráfico para el modelo cinético de pseudosegundo orden, con el fin de determinar la dinámica de absorción. Este gráfico se presenta en la figura 38.

**Figura 38**

*Cinética de sorción de pseudosegundo orden para la sorción de Cr(VI).*

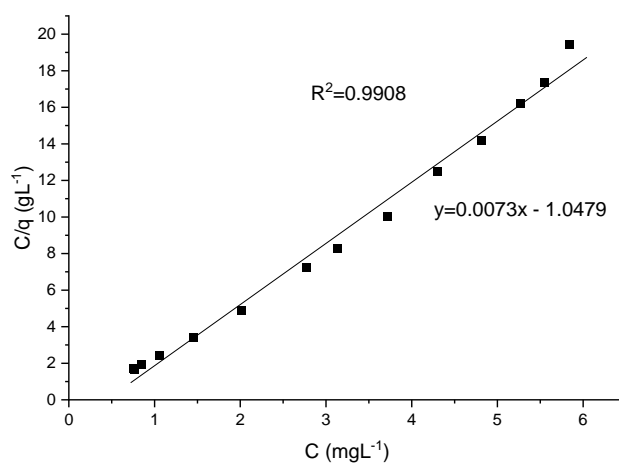


#### 4.1.3.2 Estudio Isoterma

En las siguientes gráficas, se puede verificar los modelos de isotermas de Langmuir y Freundlich, respectivamente.

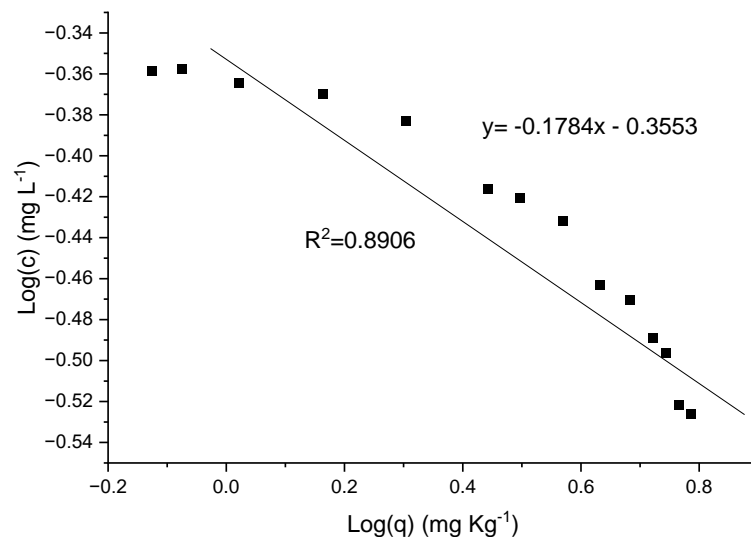
**Figura 39**

*Isoterma de absorción de Langmuir*



**Figura 40**

*Isoterma de absorción de Freundlich.*



A continuación, se indica los parámetros cinéticos calculados de acuerdo a la ecuación de la recta para cada isoterma de absorción.

**Tabla 20**

*Valores de los parámetros cinéticos de pseudo primer y segundo orden para la remoción de iones de Cromo (VI).*

Muestra	Pseudo - Primer orden			Pseudo - Segundo orden		
	K, min <sup>-1</sup>	R <sup>2</sup>	q <sub>e</sub> (mg/g)	K, min <sup>-1</sup>	R <sup>2</sup>	q <sub>e</sub> (mg/g)
PVA/Q <sub>2</sub>	-3.09	0.99	135.33	0.44	0.89	-5.61

## **4.2 Discusión e Interpretación de Resultados**

### **4.2.1 Análisis de la composición fisicoquímica de la pluma de calamar, quitina y Quitosano**

#### **4.2.1.1 Análisis Físico**

##### **4.2.1.1.1 Análisis de Rendimiento**

Los rendimientos de extracción de quitina,  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_3$ , se sitúan en 32.04%, 7.30%, 8.70% y 6.70%, respectivamente. Jiang et al. obtuvo un rendimiento del 40.75% para la quitina, el rendimiento de Quitosano fue del 8%, cifra muy cercana a los porcentajes obtenidos por (Jiang et al., 2023). La variación en los porcentajes de rendimiento se explica por el elevado contenido de proteínas y grasas en las plumas de calamar *Docidicus gigas*, según (Carrasco et al., 2016), generando pérdidas tanto en la obtención de Quitosano como en el lavado para la neutralización de las pulpas. En ese sentido, el proceso de extracción implica en sus etapas la eliminación de impurezas, como proteínas y sales presentes en las plumas de calamar, lo observando esto en la pérdida de masa. Finalmente, la transformación química inherente a la acetilación convierte la quitina en Quitosano al eliminar grupos acetilo. La desproteinización, por otro lado, implica disolver o eliminar las proteínas de las plumas de calamar mediante tratamiento alcalino, como el uso de hidróxido de sodio, lo que puede provocar la ruptura de enlaces peptídicos y la separación de aminoácidos. Este proceso conduce a la eliminación de las proteínas. Además, durante estos procesos de desproteinización y deslipidación, la quitina puede experimentar una disminución en su peso molecular debido a la degradación parcial de su cadena, ya que los tratamientos químicos y físicos pueden romper los enlaces glucosídicos de la quitina, resultando en fragmentos de menor tamaño y, por lo tanto, un peso molecular reducido (Ifuku et al., 2009).



#### **4.2.1.1.2 Análisis de Ceniza**

La Tabla 5 muestra el porcentaje de ceniza en plumas de calamar, quitina, Quitosano comercial y Quitosano con diferentes grados de acetilación, que son 0.62 %, 0.32 %, 0.43 %, 0.29 %, 0.33 % y 0.36 % respectivamente. Otros trabajos han informado que el Quitosano obtenido de salmones, gusanos de aire y cáscaras de camarón tiene un porcentaje de ceniza de 0.5 %, 0.89 % y 0.95 %, respectivamente. Estas muestras presentan un alto contenido de proteínas y grasas, lo que resulta en un alto porcentaje de ceniza (Q. Luo et al., 2019). Se espera que el Quitosano obtenido a partir de plumas de calamar tenga un bajo porcentaje de ceniza debido a su bajo contenido de proteínas (alrededor del 3%) y grasas (alrededor del 1%) (Alishahi et al., 2011). Además, el Quitosano comercial muestra un alto porcentaje de ceniza debido a su alto nivel de impurezas en comparación con las muestras obtenidas de plumas de calamar (Cuong et al., 2016).

#### **4.2.1.1.3 Análisis de Humedad**

Se observa que el contenido de humedad en las plumas de calamar (7.45%) fue más elevado en comparación con la quitina (4.83%) y el Quitosano a diferentes grados de acetilación (4.79 y 4.76 %, respectivamente). La disminución en el contenido de humedad de la quitina y el Quitosano puede estar relacionada con el grado de acetilación de estos compuestos. Según Cho et al. (1998), este cambio en la humedad puede ser atribuido a la estructura química y las propiedades de los polímeros. La quitina y el Quitosano tienen una estructura química que les permite absorber o liberar agua en función de las condiciones ambientales. En el caso específico de la acetilación, esta modificación puede afectar la capacidad de los polímeros para retener agua, lo que se refleja en una disminución en el contenido de humedad.

La disparidad en el contenido de humedad puede atribuirse a diversos factores, entre ellos el principal es a su estado natural de la materia prima, podría retener más

humedad debido a su estructura y composición biológica. Además, durante el proceso de obtención de quitina y Quitosano, es probable que se hayan aplicado condiciones y tratamientos que redujeron el contenido de agua, como el proceso de acetilación. Este último, al implicar la eliminación de grupos acetilo de la quitina para obtener Quitosano, podría afectar el contenido de humedad, resultando en un menor porcentaje en la quitina y el Quitosano en comparación con las plumas de calamar originales (Cho et al., 1998).

#### **4.2.1.1.4 Análisis de grado de acetilación**

El grado de acetilación es un indicador crucial para evaluar las propiedades de absorber contaminantes, ya que afecta características como las propiedades electrostáticas, la biodegradabilidad, el rendimiento de absorción y la capacidad para quelar iones metálicos del Quitosano (Kumari et al., 2017). Según los resultados obtenidos mediante el método de (dos Santos et al., 2009) se obtuvieron grados de acetilación aproximados de 75 %, 85 % y 97 % a tiempos de 2, 4 y 6 horas. No obstante, de acuerdo con Snapper et al, el tiempo ejerce una influencia significativa en el aumento del grado de acetilación, ya que induce la despolimerización del Quitosano.

El proceso de acetilación en la obtención de Quitosano a partir de quitina puede variar según el tiempo de acetilación y la concentración de NaOH. La reacción química que ocurre en el proceso de acetilación de la quitina para obtener Quitosano con hidróxido de sodio (NaOH) se representa de la siguiente manera:



En esta reacción, el hidróxido de sodio reacciona con los grupos acetilo (-COCH<sub>3</sub>) de la quitina, eliminando esos grupos y formando acetato de sodio como subproducto, mientras que la estructura principal de la quitina se convierte en Quitosano. Los grupos amina (-NH<sub>2</sub>) y los grupos hidroxilo (-OH) presentes en la estructura del Quitosano son

sitios activos que pueden interactuar con los iones de cromo (Cr) presentes en soluciones ácidas. En este medio, los grupos amina del Quitosano no se protonan, lo que significa que permanecen en su forma básica no protonada ( $-NH_2$ ) y pueden reaccionar con los iones de cromo sin ser neutralizados por la acidez del medio. Esta capacidad de interacción se debe a la naturaleza básica de los grupos amina del Quitosano, que les permite capturar y remover los iones de cromo de la solución. Estos grupos funcionales tienen la capacidad de formar complejos con los iones metálicos, facilitando la absorción y eliminación del Cr de la solución. Los grupos amina ( $-NH_2$ ) presentes en el Quitosano actúan como sitios activos que pueden interactuar con los iones de cromo presentes en la solución. En este proceso, los grupos amina del Quitosano pueden formar enlaces con los iones de cromo a través de interacciones electrostáticas y de coordinación, lo que lleva a la absorción de los iones de Cr en la superficie de las nanofibras de Quitosano. La capacidad de los grupos amina para adsorber los iones de cromo está relacionada con su naturaleza básica, que les permite interactuar con los iones cargados positivamente en la solución ácida (Montes-Morán et al., 2004).

Sin embargo, la presencia de grupos amina e hidroxilo en el Quitosano afecta la reactividad durante la acetilación, afectando a las propiedades como la solubilidad, viscosidad y la capacidad de formación de complejos. A niveles más altos de acetilación elimina una mayor cantidad de grupos acetilo, resultando en un mayor contenido de grupos amina en la estructura del Quitosano. Debido a la abundancia de grupos amina primaria e hidroxilo en la cadena del Quitosano, que pueden actuar como sitios de coordinación y reacción (Crini y Badot, 2008; Guibal, 2004). No obstante, el Quitosano presenta limitaciones, como una baja superficie específica, propiedades mecánicas deficientes y una disolución en soluciones altamente ácidas, lo que restringe su aplicación en la absorción (Pérez-Fonseca et al., 2011).

#### 4.2.1.2 Análisis Químico

##### 4.2.1.2.1 Análisis de Infrarrojo por Transformada de Fourier-FTIR

La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) demuestra las diferencias en la estructura química entre la quitina y el Quitosano en diversos grados de acetilación, proporcionando información estructural detallada de cada muestra (Sevenou et al., 2002). El espectro infrarrojo de la quitina muestra bandas identificadas en  $\sim 3273\text{ cm}^{-1}$  (vibraciones de estiramiento axial del grupo  $\text{-OH}$ ),  $\sim 2880\text{ cm}^{-1}$  ( $\text{C-H}$ ),  $\sim 1640\text{ cm}^{-1}$  (amida I),  $\sim 1543\text{ cm}^{-1}$  (amida II) y  $\sim 1030\text{ cm}^{-1}$  ( $\text{CO}$ ), confirmando los resultados previos sobre la quitina (Florek et al., 2009).

En cuanto al espectro de infrarrojo del Quitosano a diferentes grados de acetilación (Figuras 20, 21, 22 y 23) el Quitosano comercial presenta cuatro bandas en  $3284$ ,  $2868$ ,  $1643$  y  $1553\text{ cm}^{-1}$ , asociadas con el estiramiento del enlace del grupo  $\text{-OH}$ , vibraciones en  $\text{CH}_2$ , y las amidas ( $\text{-NH}_2$ ), respectivamente, características del beta Quitosano según (Hamdan et al., 2023).

Las bandas identificadas ( $3273$ ,  $2880$ ,  $1640$ ,  $1543$  y  $1030\text{ cm}^{-1}$ ) experimentan reducciones de intensidad en los grupos funcionales de la quitina en comparación de los grupos funcionales identificados en el Quitosano comercial y el Quitosano a diferentes grados de acetilación. Sin embargo, las bandas características en el espectro infrarrojo de la quitina incluyen el estiramiento de los grupos  $\text{-OH}$  libres y asociados a  $3273\text{ cm}^{-1}$ , vibraciones de los grupos metileno ( $\text{-CH}_2$ ) a  $2880\text{ cm}^{-1}$ , la flexión de las amidas ( $\text{C=O}$ ) conocida como "banda amida I" a  $1640\text{ cm}^{-1}$ , el estiramiento de las amidas ( $\text{NH}_2$ ) denominado "banda amida II" a  $1543\text{ cm}^{-1}$ , y el estiramiento de los enlaces  $\text{C-O-C}$  en los grupos de la cadena principal de la quitina a  $1030\text{ cm}^{-1}$ . Estas bandas pueden servir como referencia para identificar cambios en el espectro infrarrojo de la beta-Quitosano, especialmente en relación con los grupos acetamida ( $\text{-NHCOCH}_3$ ) de la quitina, que

pueden indicar procesos de desacetilación. Las bandas característicamente observadas en el espectro infrarrojo de la beta-Quitosano pueden variar ligeramente según las condiciones de producción y la fuente de los materiales. Sin embargo, generalmente se observan cambios en las bandas asociadas con los grupos acetamida ( $-\text{NHCOCH}_3$ ) de la quitina, lo que indica la acetilación. Las bandas de amida I y amida II pueden desplazarse hacia valores más bajos de número de onda ( $\text{cm}^{-1}$ ) debido a la acetilación, mientras que la banda de los grupos OH libres y asociados puede intensificarse. Es importante tener en cuenta que las bandas específicas pueden variar según el método de producción y las condiciones de análisis, por lo que es recomendable realizar un análisis experimental para confirmar las bandas características (Godeau et al., 2022).

#### **4.2.1.2.2 Análisis de Difracción de Rayos DRX**

El difractograma de la pluma de calamar y la quitina se presentan en las Figuras 24 y 25 respectivamente. Se identificaron dos picos característicos para ambos casos en  $2\theta$  de  $(8.27^\circ; 19.23^\circ)$  y  $(10.74^\circ; 20.03^\circ)$ , respectivamente, lo que indica que existe una alta cristalinidad. La cristalinidad reportada se asemeja mucho a los resultados obtenidos por parte de Cuong et al. (2016); sin embargo, la eliminación de proteínas en la pluma de calamar para obtener quitina es un paso crucial que afecta significativamente la estructura y la pureza del producto final. La presencia de proteínas en la pluma de calamar puede interferir en el proceso de desacetilación y afectar la cristalinidad de la quitina obtenida. La eliminación de las proteínas permite obtener una quitina más pura y con una mayor cristalinidad, ya que las proteínas pueden causar interferencias en la estructura cristalina de la quitina. Además, la presencia de proteínas puede afectar la calidad y las propiedades finales del Quitosano obtenido a partir de la quitina, ya que las proteínas pueden influir en la capacidad de absorción y la estabilidad del Quitosano (Cuong et al., 2016).

Respecto a los difractogramas del Quitosano a diferentes grados de acetilación (Figuras 26, 27 y 28), se identificaron 2 picos característicos en  $2\theta$  de  $20.16^\circ, 12.55^\circ; 20.13^\circ$

y 14.14°;20.13° para grados de desacetilación de 75%, 85% y 87% respectivamente. Sin embargo, Godeo et al. reportan que los picos característicos del Quitosano son de 10.03° y 20.00°; siendo las mediciones de XRD consistentes con el Quitosano; sin embargo, se pueden observar picos característicos de 12.55° y 14.14° para el grado de desacetilación de 75% y 97%; estando alejados de 10.03°, lo cual indicaría la presencia de una fracción amorfa en el Quitosano obtenido (Godeau et al., 2022).

#### **4.2.1.2.3 Análisis de Antioxidante**

Según la Tabla 12, las plumas de calamar exhiben un porcentaje de inhibición del 63.99%, un valor notablemente superior al de la quitina (28.88%) y el Quitosano en diferentes grados de acetilación (32.02%, 27.80%, 36.47%). Esto sugiere que las plumas de calamar presentan una fuerte capacidad para inhibir bacterias y microorganismos, lo que indica propiedades antibacterianas, antimicrobianas y antifúngicas, para el Quitosano y sus futuras utilidades, así como la capacidad de interactuar con otros componentes biológicos. Sin embargo, se observa una disminución en esta capacidad de inhibición debido al tratamiento de desmineralización al que fueron sometidas las plumas de calamar (Shavandi et al., 2017).

#### **4.2.1.2.4 Análisis de Microscopia Electrónica de Barrido (SEM)**

La morfología de la superficie de las muestras de Quitosano obtenidas después de diferentes tiempos de desacetilación se analizó utilizando SEM con una magnificación de 50.00, 10.00, 5.00, 20.00 y 25.00 KX y se compararon. El estudio evidenció una estructura de superficie un poco granular, viéndose puntos suaves y una observación que coincide con (Kucukgulmez et al., 2011), sin embargo, también se puede observar que existe una diferencia entre la distribución y alineación de las fibras, el cual puede verse influenciado principalmente al grado de desacetilación, llevando así a que a mayor grado de

desacetilación esta presentara una mejor distribución y alineación de fibras, la cual se puede observar en el PVA/Q<sub>1</sub>, PVA/Q<sub>2</sub> y PVA/Q<sub>3</sub>.

Durante el proceso de electrohilado, se observó que la muestra con menor grado de acetilación presentaba una mayor cantidad de gotas, lo que resultaba en la formación de estructuras globulares en el colector durante el proceso de electrohilado, sin embargo, la formación de estas gotas no se dio a los parámetros del electrohilado. A medida que aumentaba el grado de desacetilación, la cantidad de gotas y la formación de estas estructuras globulares disminuyeron, lo que condujo a una mayor estabilidad en la estructura electrohilada y a una menor presencia de estas estructuras irregulares (Pourheydari-Barsari et al., 2023).

#### **4.2.1.2.5 Análisis de Microscopia de Fuerza Atómica (AFM)**

Se utilizó la microscopía de fuerza atómica (AFM) para examinar las alteraciones en la morfología y rugosidad de la superficie del PVA y las nanofibras derivadas a distintos grados de acetilación. Las imágenes de AFM de las películas se presentan en la Figura 31. Como se puede apreciar, la muestra con el menor grado de acetilación exhibe una rugosidad en su topografía. Esta observación se atribuye principalmente a la limitada estabilidad generada durante la formación del cono de Taylor, dando lugar a posibles deformaciones debido a las características de la solución del Quitosano y PVA, siendo la conductividad uno de los factores con mayor relevancia al momento de obtener nanofibras. En contraste, la muestra con el mayor grado de acetilación (Figura 31-D) presenta una superficie más homogénea en comparación con las otras dos muestras que poseen grados de desacetilación inferiores (Pourheydari-Barsari et al., 2023).

#### **4.2.2 Análisis % de absorción de Cr(VI) en soluciones acuosas**

Para una mejor medición de la absorción de Cr(VI) utilizando Quitosano, se seleccionó el Quitosano comercial como punto de referencia.

##### **4.2.2.1 Análisis del pH**

El mecanismo que se presente entre las nanofibras y el Cr(VI) es mediante el intercambio iónico. En un ambiente ácido, el Quitosano se encuentra mayoritariamente protonado, lo que aumenta la densidad de cargas positivas en su estructura (Zimmermann et al., 2010).. Esta carga positiva le permite atraer y adsorber los iones Cr(VI) presentes en la solución, que generalmente se encuentran como dicromato  $(Cr_2O_7)^{2-}$ , los cuales tienen carga negativa en medios ácidos. La interacción electrostática entre las cargas positivas del Quitosano y las cargas negativas de los iones de cromo favorece la absorción (Wen et al., 2011). Además del efecto electrostático, se ha sugerido que el intercambio iónico también puede contribuir al proceso de sorción del Cr(VI) por el Quitosano en medios ácidos. El Quitosano contiene grupos funcionales amino ( $NH_2$ ) que pueden formar complejos con los iones Cr(VI) a través de enlaces de coordinación, lo que implica un intercambio de iones entre el Quitosano y los iones Cr(VI). Este proceso puede ser especialmente relevante en medios ácidos, donde los grupos amino del Quitosano están protonados y, por lo tanto, son más reactivos (Udaybhaskar et al., 1990).

##### **4.2.2.2 Análisis del tiempo de contacto y estudio Cinético de Absorción**

En la Figura 15, se presenta la capacidad de absorción de Cr(VI) por las nanofibras de PVA/Quitosano a diferentes grados de desacetilación en relación con el tiempo, manteniendo un pH 2 y una concentración de 5.89 mg/L de Cr(VI). De acuerdo con la Figura 33, se observa que la capacidad de sorción experimenta un incremento a medida que se incrementa el volumen de nanofibras, siendo en este sentido la masa de la nanofibra



no tan influyente, debido a que para que se pueda dar el proceso de absorción se requiere mayor área de contacto entre la nanofibra y la solución de Cr.

La absorción alcanza rápidamente el equilibrio, lográndose este estado en aproximadamente 6 h. En la etapa inicial, las nanofibras se exponen a la solución y los iones Cr(VI), los cuales comienzan a interactuar con la carga superficial de la nanofibra. Durante este proceso inicial, los iones Cr(VI) se adhieren a las nanofibras a través de interacciones electrostáticas e intercambio iónico (Sugashini & Sheriffa Begum, 2013).. A medida que el tiempo avanza, se produce una difusión de los iones Cr(VI) hacia el interior de la estructura porosa de las nanofibras, lo que aumenta la superficie de contacto y la capacidad de absorción. Este proceso continúa hasta que se alcanza un equilibrio dinámico, donde la velocidad de absorción de los iones Cr(VI) es igual a la velocidad de desorción, y se logra una distribución uniforme de los iones Cr(VI) en la superficie y el interior de las nanofibras. Al alcanzar este equilibrio en aproximadamente 6 horas, se considera que la absorción de los iones Cr(VI) por las nanofibras ha alcanzado su máxima capacidad en condiciones ambientales (S. Haider & Park, 2009).

Según la figura 38, se observó que la cinética de absorción no sigue el pseudo primer orden, sino el pseudo segundo orden ( $R=0.99$ ). Una posible explicación para este comportamiento es que la absorción de Cr en las nanofibras no solo depende de la disponibilidad de sitios de absorción en la superficie, sino también de la interacción entre los iones de Cr y los grupos funcionales presentes en las nanofibras. El modelo de pseudo segundo orden puede reflejar mejor esta interacción química adicional que no está capturada por el modelo de pseudo primer orden. Además, el modelo de pseudo segundo orden puede ser más apropiado cuando la absorción implica procesos de difusión más complejos, como la difusión intraparticular o la difusión a través de una capa de adsorbato en la superficie del adsorbente (Zimmermann et al., 2010). Estos procesos pueden ser más

relevantes en el caso de las nanofibras de Quitosano debido a su estructura porosa y a la posible formación de una capa de adsorbato en la superficie.

#### **4.2.2.3 Análisis de Isotherma de Absorción**

En la Figura 39, 40 y la Tabla 19 se observa que la absorción de PVA/Quitosano se ajusta de manera más precisa a la isoterma de Langmuir, evidenciado por el coeficiente de determinación  $R^2$  más elevado (0.99 frente a 0.89). Estos resultados sugieren que el proceso de absorción sigue un comportamiento de monocapa, como describe la isoterma de Langmuir. Esta isoterma modela la absorción de solutos en una superficie con sitios de absorción homogéneos, asumiendo que una sola capa de moléculas se adsorbe en la superficie. La abundancia de sitios de unión en la superficie favorece la absorción, mientras que la limitada difusión interna impide una mayor deposición de monocapas (L. Li et al., 2015). Por ende, se resalta la necesidad de optimizar el uso de nanofibras, aprovechando de manera efectiva la gran superficie expuesta a la solución que se pretende remover. Según el cálculo de la isoterma de Langmuir, la capacidad máxima de absorción de las nanofibras electrohiladas es de 131,58 mg/g, lo cual posiciona a este material como prometedor para procesos de absorción.

Las nanofibras de Quitosano ofrecen una alternativa eficiente para la remoción de cromo, especialmente debido a su capacidad de absorción mejorada. En comparación con métodos convencionales como la precipitación química o la absorción con carbón activado, las nanofibras de Quitosano pueden ofrecer ventajas significativas, como una mayor capacidad de absorción, selectividad y regeneración. Además, las nanofibras de Quitosano son más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente en comparación con otros métodos que pueden generar residuos químicos o consumir grandes cantidades de energía. Estas características hacen que las nanofibras de Quitosano sean una opción prometedora para aplicaciones de remoción de cromo y otros contaminantes.

### **4.3 Contratación de la Hipótesis**

Los ajustes estadísticos tomaron en cuenta la validación de la hipótesis general y las específicas mediante pruebas estadísticas, con un nivel de significancia del 95%. Se realizaron análisis cuidadosos para asegurar que los resultados obtenidos fueran estadísticamente sólidos, permitiendo evaluar las relaciones entre las variables con un alto grado de confianza de acuerdo a la Tabla 19, donde se encuentran los resultados por triplicado para cada condición dada. Este enfoque aseguró que las conclusiones derivadas del estudio fueran respaldadas por datos robustos y fiables, minimizando la probabilidad de errores al 5%.

#### **4.3.1 Prueba Estadística**

La contrastación de la hipótesis se realizó utilizando la prueba de efectos inter-sujetos, la cual es comparable a un ANOVA multifactorial. Ambas pruebas son adecuadas en este contexto; sin embargo, dado que se manejan tres variables independientes (grado de acetilación, masa de nanofibras y pH) y sus posibles interacciones, la prueba de efectos inter-sujetos es preferible. Esta prueba permite evaluar tanto los efectos principales de cada factor de manera individual como las interacciones entre ellos, lo cual es esencial para la validación de la hipótesis. En este estudio, aplicado a la remoción de Cr(VI) en soluciones ácidas, se utilizará la prueba de efectos inter-sujetos, ya que se busca comparar la eficiencia de remoción de Cr(VI) mediante replicaciones en distintas condiciones experimentales. Según la tabla 21, se observa el nivel de significancia para cada variable y como es la interacción variable a variable.

**Tabla 21**

*Prueba estadística efectos inter-sujetos para ajuste de resultados de la remoción de Cr(VI) en soluciones ácidas con nanofibras*

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1546,505 <sup>a</sup>	26	59.481	8.167	<0.001
Intersección	143424.925	1	143424.925	70131.735	<0.001
Grado	1351.914	2	675.957	45.279	<0.001
Masa	1.285	2	0.643	0.06	<0.001
pH	174.768	2	87.384	6.757	<0.001
Grado de Desacetilación * Masa	3.796	4	0.949	2.844	<0.001
Grado de Desacetilación * pH	7.350	4	1.838	0.44	<0.001
Masa * pH	4.029	4	1.007	0.953	<0.001
Grado de Desacetilación * Masa * pH	3.362	8	0.420	0.834	<0.001
Error	0.000	0			
Total	144971.430	27			
Total corregido	1546.505	26			

#### 4.3.2 Análisis de las hipótesis

A continuación, se validarán las hipótesis planteadas con base en los valores de F y Sig. (valor p) de la Tabla 21, donde un valor de Sig. menor a 0.05 indica que podemos rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ) y aceptar la hipótesis alternativa ( $H_1$ ).

##### - Hipótesis General

$H_1$ : La variación del grado de acetilación, masa de las nanofibras y pH tiene influencia en el porcentaje de remoción de Cr(VI) en soluciones ácidas.

$H_0$ : La variación del grado de acetilación, masa de las nanofibras y pH no tiene influencia en el porcentaje de remoción de Cr(VI) en soluciones ácidas.

**Validación:** El Modelo corregido tiene un valor de  $F = 8.167$  y un valor de Sig.  $< 0.001$ , lo que es significativamente menor a 0.05. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se

acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ). Esto indica que el modelo general (la combinación del grado de acetilación, masa y pH) tiene una influencia significativa en la remoción de Cr(VI).

- **Hipótesis Específicas**

**Grado de acetilación**

$H_1$ : La variación del grado de acetilación tiene influencia en el porcentaje de remoción de Cr(VI).

$H_0$ : La variación del grado de acetilación no tiene influencia en el porcentaje de remoción de Cr(VI).

**Validación:** El valor de F para el Grado es 45.279, con un valor de Sig. < 0.001. Dado que este valor es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ). Por lo tanto, la variación del grado de acetilación influye significativamente en la remoción de Cr(VI).

**Masa de las nanofibras**

$H_2$ : La variación de la masa de las nanofibras tiene influencia en el porcentaje de remoción de Cr(VI).

$H_0$ : La variación de la masa de las nanofibras no tiene influencia en el porcentaje de remoción de Cr(VI).

**Validación:** El valor de F para Masa es 0.06, con un valor de Sig. < 0.001. Aunque el valor de Sig. es menor que 0.05, el valor de F es extremadamente bajo, lo que indica que el impacto de la masa en la remoción de Cr(VI) es mínimo

Como este valor es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_2$ ). Por lo tanto, la variación de la masa de las nanofibras también tiene una influencia significativa en la remoción de Cr(VI). A pesar de la significancia estadística, el efecto de la masa es poco relevante en comparación con las otras variables.

## **pH**

$H_3$ : La variación del pH tiene influencia en el porcentaje de remoción de Cr(VI).

$H_0$ : La variación del pH no tiene influencia en el porcentaje de remoción de Cr(VI).

**Validación:** El valor de F para el pH es 6.757, con un valor de Sig. < 0.001. Como este valor es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ). Por lo tanto, la variación del pH de las nanofibras también tiene una influencia significativa en la remoción de Cr(VI).

## CONCLUSIONES

Los rendimientos de quitina y Quitosano a diferentes grados de acetilación ( $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$ ) exhiben variaciones significativas, abarcando porcentajes de quitina 6.70 %,  $Q_1$  7.3 %,  $Q_2$  8.7 % y  $Q_3$  6.7 %. Aunque comparables con investigaciones previas, estos resultados subrayan los desafíos inherentes en la obtención eficiente de Quitosano, especialmente influenciados por el elevado contenido de proteínas y grasas en las plumas de calamar. Las pérdidas durante la desacetilación se atribuyen a factores, como la eliminación de impurezas y la reducción del contenido de agua, contribuyendo a la disminución del peso del producto final. Estos hallazgos resaltan la complejidad del proceso y subrayan la necesidad crítica de estrategias de optimización para maximizar los rendimientos, destacando la importancia de abordar eficazmente cada etapa del proceso para lograr una producción más eficiente y consistente de quitina y Quitosano a partir de las plumas de calamar.

Los porcentajes de ceniza entre las muestras destaca una presencia más pronunciada de residuos minerales en las plumas de calamar (0.62 %), señalando una mayor abundancia de sales minerales y compuestos no volátiles en comparación con la quitina (0.32 %), Quitosano comercial (0.43 %),  $Q_1$  (0.29 %),  $Q_2$  (0.33 %) y  $Q_3$  (0.36 %). La variación en el contenido de ceniza, posiblemente influenciada por el grado de acetilación, subraya la importancia de considerar factores como la calidad de las materias primas y las condiciones de producción en este aspecto. Estos resultados sugieren que las condiciones y tratamientos aplicados durante la obtención de quitina y Quitosano tienen un impacto significativo en el contenido de agua, un aspecto crucial en la evaluación de las propiedades físicas y químicas.

Se llegaron a obtener Quitosanos a diferentes grados de acetilación aproximados del 75 %, 85 % y 97 % a través de distintos tiempos (2h, 4h y 6h). Es importante destacar que el tiempo desempeña un papel clave, influyendo en el aumento del grado de acetilación y,

por ende, en la despolimerización del Quitosano. El proceso de acetilación, facilitado por el NaOH, actúa como agente desacetilante al reaccionar con los grupos acetilo de la quitina, aumentando el contenido de grupo amina. La quitina resultante presenta grupos amina e hidroxilo que, en ambientes ácidos, se encuentra protonada y se carga positivamente en su superficie. Estas cargas positivas favorecen la interacción electrostática con los iones de cromo, contribuyendo significativamente al proceso de absorción. Además, los grupos hidroxilo participan en reacciones de coordinación, formando enlaces químicos que aumentan la capacidad de retención del Cr(VI) por parte de la quitina. A medida que se incrementa el grado de desacetilación, se observa una eliminación más significativa de grupos acetilo, resultando en un aumento de los grupos amina e hidroxilo en la estructura del Quitosano. A pesar de que el Quitosano presenta limitaciones, como una baja superficie específica y propiedades mecánicas deficientes, su posterior sometimiento a procesos como el electrohilado para obtener nanofibras se presenta como una estrategia eficaz. Estas nanofibras exhiben una mayor área superficial, lo que mejora la eficiencia en la remoción de cromo, destacando la versatilidad y aplicabilidad potencial de los materiales derivados del Quitosano en procesos de absorción.

La aplicación de la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) en el análisis de quitina y Quitosano en diferentes grados de acetilación han proporcionado una comprensión detallada de las variaciones en la estructura química de estos polímeros. En el caso de la quitina, los resultados del espectro infrarrojo muestran bandas específicas en  $\sim 3273\text{ cm}^{-1}$  (vibraciones de estiramiento axial del grupo  $\text{-OH}$ ),  $\sim 2880\text{ cm}^{-1}$  ( $\text{C-H}$ ),  $\sim 1640\text{ cm}^{-1}$  (amida I),  $\sim 1543\text{ cm}^{-1}$  (amida II) y  $\sim 1030\text{ cm}^{-1}$  (CO). Estas observaciones confirman la presencia de quitina, respaldando hallazgos previos. En cuanto al Quitosano a diferentes grados de acetilación, los espectros de infrarrojo exhiben cambios significativos. Las bandas identificadas experimentan reducciones de intensidad en las bandas ( $3273, 2880, 1640, 1543, 1379, 1306$  y  $1030\text{ cm}^{-1}$ ), evidenciando transformaciones estructurales durante la acetilación. Las variaciones en las bandas relacionadas con los grupos  $\text{-OH}$ ,  $\text{CH}_2$ -,



amidas I y II, así como los grupos acetilo y CO, revelan la influencia directa de la acetilación en la estructura molecular. Destacan las disminuciones en intensidad en las bandas de  $3273\text{ cm}^{-1}$  y  $2880\text{ cm}^{-1}$ , relacionadas con los grupos -OH y CH<sub>2</sub>-, respectivamente, indicando cambios en la concentración de grupos -NH y la modificación de la cadena polimérica. Asimismo, las bandas de amida I y II ( $1640\text{ cm}^{-1}$  y  $1543\text{ cm}^{-1}$ ) muestran reducciones, sugiriendo pérdida de grupos acetilo y alteraciones en la estructura de la cadena polimérica

Aun pH cercano a 2, se logra un porcentaje de absorción más elevado. Este comportamiento se atribuye a la carga de las especies iónicas del cromo, la carga superficial del Quitosano y el grado de ionización del Cr. En el rango de pH de 4 a 6, se observa una tendencia a disminuir la absorción del cromo, principalmente debido a la disminución de la protonación. La protonación se fortalece a pH más bajos, permitiendo la atracción entre los iones de Cr(VI) y la superficie cargada positivamente del Quitosano.

Según la cinética de absorción, se observa no sigue el modelo de pseudo primer orden, sino que sigue un modelo cinético de pseudo segundo orden con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.99. Este resultado indica una interacción altamente específica entre los sitios activos del Quitosano y los iones de Cr, lo que lleva a una mayor afinidad o capacidad de retención de los iones de cromo en soluciones acidas. Además, la capacidad de absorción de Cr(VI) por las nanofibras de PVA/Quitosano aumenta a medida que se disminuye el pH, siendo el pH más óptimo el de 2, llegando así al equilibrio en aproximadamente 6 h. Este aumento se atribuye a la mayor área superficial del material y la disponibilidad de sitios de unión, como el grupo amino y los hidroxilos presentes en la nanofibra.

Los resultados del análisis de la isoterma de Langmuir ofrecen información significativa sobre la capacidad de absorción de las muestras de PVA/Quitosano. La excelente

correspondencia con la isoterma de Langmuir, demostrada por un alto coeficiente de determinación  $R^2$  (0,99), confirma que el proceso de absorción sigue un comportamiento de monocapa. Este descubrimiento resalta la importancia de entender y optimizar el uso de las nanofibras, aprovechando al máximo la extensa superficie expuesta a la solución contaminante. La capacidad máxima de absorción calculada de 131,58 mg/g, según la isoterma de Langmuir, posiciona a las nanofibras electrohiladas de PVA/Quitano como materiales altamente prometedores para procesos de absorción.

La variación del grado de acetilación y el pH de la solución demuestran una influencia significativa y determinante en la eficiencia de remoción de Cr(VI) en soluciones ácidas, lo que indica que estos dos factores juegan un papel clave en el proceso de remoción. Por otro lado, aunque la variación de la masa muestra un efecto estadísticamente significativo, su impacto sobre la remoción de Cr(VI) es menor en comparación con el grado de acetilación y la masa de las nanofibras. Estos resultados sugieren que, para optimizar la eliminación de Cr(VI), es más relevante ajustar el grado de acetilación y el pH de la solución, ya que la masa tiene un efecto limitado en el rendimiento general del proceso. Esto subraya la importancia de priorizar estos dos parámetros en el diseño y aplicación de tecnologías basadas en nanofibras para el tratamiento de aguas contaminadas.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda realizar la extracción de Quitosano a partir de otros crustáceos e identificar como estos influyen en la remoción de Cr(VI) y también de que manera influye la optación del grado de acetilación en estos materiales.

Se recomienda utilizar otros métodos de obtención de quitosano para realizar una optimización al momento de obtener quitosano a partir de plumas de calamar.

Se recomienda variar los parámetros de la solución, como la viscosidad y la tensión superficial para verificar de qué manera esta influye al momento de obtener nanofibras.

## REFERENCIAS

- Abo-Farha, S. A., Abdel-Aal, A. Y., Ashour, I. A., & Garamon, S. E. (2009). Removal of some heavy metal cations by synthetic resin purolite C100. *Journal of Hazardous Materials*, 169(1–3), 190–194. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2009.03.086>
- Alishahi, A., Mirvaghefi, A., Tehrani, M. R., & Farahmand. (2011). Isolation and characterization of chitin and chitosan from marine sources, in particular, *Portunus pelagicus*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 713–717.
- Baker, M., Walsh, S., Schwartz, Z., & Boyan, B. (2012). A review of polyvinyl alcohol and its uses in cartilage and orthopedic applications. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 100B(5), 1451–1457. <https://doi.org/10.1002/JBM.B.32694>
- Bazilevsky, A., Yarin, A., & Megaridis, C. (2007). Co-electrospun core-shell fibers using a single-nozzle technique. *Langmuir*, 23(5), 2311–2314. <https://doi.org/10.1021/LA063194Q/ASSET/IMAGES/MEDIUM/LA063194QN00001.GIF>
- Boddu, V. M., Abburi, K., Talbott, J. L., & Smith, E. D. (2003). Removal of Hexavalent Chromium from Wastewater Using a New Composite Chitosan Biosorbent. *Environmental Science and Technology*, 37(19), 4449–4456. <https://doi.org/10.1021/ES021013A>
- Burger, C., Hsiao, B., & Chu, B. (2006). Nanofibrous materials and their applications. <https://doi.org/10.1146/Annurev.Matsci.36.011205.123537>, 36, 333–368. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.MATSCI.36.011205.123537>
- Cai, W., Li, Z., Wei, J., & Liu, Y. (2018). Synthesis of peanut shell based magnetic activated carbon with excellent adsorption performance towards electroplating wastewater. *Chemical Engineering Research and Design*, 140, 23–32. <https://doi.org/10.1016/J.CHERD.2018.10.008>
- Carrasco, E., Salinas, C., & Carrillo, S. (2016). Composición química de harina de calamar gigante *Dosidicus gigas*. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*. <https://www.alanrevista.org/ediciones/2016/1/art-9/>
- Casper, C., Stephens, J., Tassi, N., Chase, B., & Rabolt, J. (2003). Controlling Surface Morphology of Electrospun Polystyrene Fibers: Effect of Humidity and Molecular Weight in the Electrospinning Process. *Macromolecules*, 37(2), 573–578. <https://doi.org/10.1021/MA0351975>
- Chen, L., Su, Z., Wu, Q., Kuo, D. H., Abdeta, A. B., Wu, B., Zhang, P., Mosisa, M. T., Zelekew, O. A., Lin, J., Chen, X., & Liu, X. (2023). Co/S co-doped Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-based sulfur-oxide nano-flakes catalyst for highly efficient catalytic reduction of organics and hexavalent chromium pollutants. *Journal of Water Process Engineering*, 55, 104168. <https://doi.org/10.1016/J.JWPE.2023.104168>
- Chen, S., Tian, H., Mao, J., Ma, F., Zhang, M., Chen, F., & Yang, P. (2023). Preparation and application of chitosan-based medical electrospun nanofibers. *International Journal of Biological Macromolecules*, 226, 410–422. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2022.12.056>

- Chew, S. Y., Wen, Y., Dzenis, Y., & Leong, K. W. (2006). The Role of Electrohilado in the Emerging Field of Nanomedicine. *Current Pharmaceutical Design*, 12(36), 4751–4770. <https://doi.org/10.2174/138161206779026326>
- Cho, Y. I., No, H. K., & Meyers, S. P. (1998). Physicochemical Characteristics and Functional Properties of Various Commercial Chitin and Chitosan Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(9), 3839–3843. <https://doi.org/10.1021/JF971047F>
- Choi, S., Lee, S., Joo, C., Im, S., & Kim, S. (2004). Formation of interfiber bonding in electrospun poly(etherimide) nanofiber web. *Journal of Materials Science*, 39(4), 1511–1513. <https://doi.org/10.1023/B:JMSC.0000013931.84760.B0/METRICS>
- Chuangchote, S., & Supaphol, P. (2006). Fabrication of aligned poly (vinyl alcohol) nanofibers by Electrohilado. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 6(1), 125–129. <https://doi.org/10.1166/JNN.2006.17916>
- Cramariuc, B., Cramariuc, R., Scarlet, R., Manea, L. R., Lupu, I. G., & Cramariuc, O. (2013). Fiber diameter in electrohilado process. *Journal of Electrostatics*, 71(3), 189–198. <https://doi.org/10.1016/J.ELSTAT.2012.12.018>
- Cruz-Morales, A., Núñez-Reyes, D., Borges-Martínez, M., Taylor-Delgado, T., Cruz-Arencibia, J., & Morín-Zorrilla, J. (2015). Reacción de reducción de Cr(VI) a Cr(III) por iones sulfito en presencia de iones fosfato. *Nucleus*, 57(57), 19–25. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-084X2015000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-084X2015000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=en)
- Cuong, H. N., Minh, N. C., Van Hoa, N., & Trung, T. S. (2016). Preparation and characterization of high purity  $\beta$ -chitin from squid pens (*Loligo chinesis*). *International Journal of Biological Macromolecules*, 93, 442–447. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2016.08.085>
- Dai, L., Wang, Z., Guo, T., Hu, L., Chen, Y., Chen, C., Yu, G., Ma, L. Q., & Chen, J. (2022). Pollution characteristics and source analysis of microplastics in the Qiantang River in southeastern China. *Chemosphere*, 293, 133576. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.133576>
- Dalmar. (2024). *Tratamiento De Aguas Residuales Industriales Estrategias Eficaces Y Soluciones Sostenibles*. <https://blog.proteccionesypinturas.com/tratamiento-de-aguas-residuales-industriales-estrategias-eficaces-y-soluciones-sostenibles/>
- Deitzel, J. M., Kleinmeyer, J. D., Hirvonen, J. K., & Beck Tan, N. C. (2001). Controlled deposition of electrospun poly(ethylene oxide) fibers. *Polymer*, 42(19), 8163–8170. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(01\)00336-6](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(01)00336-6)
- dos Santos, Z. M., Caroni, A. L. P. F., Pereira, M. R., da Silva, D. R., & Fonseca, J. L. C. (2009). Determination of deacetylation degree of chitosan: a comparison between conductometric titration and CHN elemental analysis. *Carbohydrate Research*, 344(18), 2591–2595. <https://doi.org/10.1016/J.CARRES.2009.08.030>
- Espíndola-González, A., Martínez-Hernández, A. L., Fernández-Escobar, F., Castaño, V. M., Brostow, W., Datashvili, T., & Velasco-Santos, C. (2011). Natural-Synthetic Hybrid Polymers Developed via Electrohilado: The Effect of PET in Chitosan/Starch System. *International Journal of Molecular Sciences* 2011, Vol. 12, Pages 1908-1920, 12(3), 1908–1920. <https://doi.org/10.3390/IJMS12031908>

- ExpoMina. (2024). No Title. <https://www.rumbominero.com/peru/peru-top-cinco-productores-metales-basicos-y-preciosos/>
- Finch, C. A. (2005). Some properties of polyvinyl alcohol and their possible applications. *Chem and Technol of Water-Soluble Polym*, 287–306. [https://doi.org/10.1007/978-1-4757-9661-2\\_17/COVER](https://doi.org/10.1007/978-1-4757-9661-2_17/COVER)
- Florek, M., Fornal, E., Gómez-Romero, P., Zieba, E., Paszkowicz, W., Lekki, J., Nowak, J., & Kuczumow, A. (2009). Complementary microstructural and chemical analyses of *Sepia officinalis* endoskeleton. *Materials Science and Engineering: C*, 29(4), 1220–1226. <https://doi.org/10.1016/J.MSEC.2008.09.040>
- Godeau, X. Y., Andrianandrasana, F. J., Volkova, O., Szczepanski, C. R., Zenerino, A., Montreuil, O., Godeau, R. P., Kuzhir, P., & Godeau, G. (2022). Investigation on dung beetle's (*Helicopriss Hope*, 1838) chitosan valorisation for hydrogel 3D printing. *International Journal of Biological Macromolecules*, 199, 172–180. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2021.12.077>
- Guadalupe, J. (2016). *Desarrollo y catacterizacion de nanocompuesto PVA/HAP por electrohilado y su respuesta biologica*. [https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/773/1/Rosalía Ruiz Santos DCM.pdf](https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/773/1/Rosalía_Ruiz_Santos_DCM.pdf)
- Guija-Poma, E., Inocente-Camones, M. Á., Ponce-Pardo, J., & Zarzosa-Norabuena, E. (2015). Evaluación de la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad antioxidante. *Horizonte Médico (Lima)*, 15(1), 57–60. <https://doi.org/10.24265/HORIZMED.2015.V15N1.07>
- Haider, A., Haider, S., & Kang, I. K. (2018). A comprehensive review summarizing the effect of electrohiladoparameters and potential applications of nanofibers in biomedical and biotechnology. *Arabian Journal of Chemistry*, 11(8), 1165–1188. <https://doi.org/10.1016/J.ARABJC.2015.11.015>
- Haider, S., & Park, S. Y. (2009). Preparation of the electrospun chitosan nanofibers and their applications to the adsorption of Cu(II) and Pb(II) ions from an aqueous solution. *Journal of Membrane Science*, 328(1–2), 90–96. <https://doi.org/10.1016/J.MEMSCI.2008.11.046>
- Hamdan, Y. A., Elouali, S., Eladlani, N., Lefeuve, B., Oudadesse, H., & Rhazi, M. (2023). Investigation on *Akis granulifera* (Coleoptera, Sahlberg, 1823) as a potential source of chitin and chitosan: Extraction, characterization and hydrogel formation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 252, 126292. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2023.126292>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill.
- He, J. H., Wan, Y. Q., & Yu, J. Y. (2005). Scaling law in Electrohilado: Relationship between electric current and solution flow rate. *Polymer*, 46(8), 2799–2801. <https://doi.org/10.1016/J.POLYMER.2005.01.065>
- He, J. H., Wu, Y., & Zuo, W. (2005). Critical length of straight jet in Electrohilado. *Polymer*, 46(26), 12637–12640. <https://doi.org/10.1016/J.POLYMER.2005.10.130>
- Hessel, E., Staal, Y., & Piersma, A. (2021). Occupational exposure to hexavalent chromium.

Part I. Hazard assessment of non-cancer health effects. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 126, 105048. <https://doi.org/10.1016/J.YRTPH.2021.105048>

- Hou, S., Xu, X., Wang, M., Lu, T., Sun, C. Q., & Pan, L. (2018). Synergistic conversion and removal of total Cr from aqueous solution by photocatalysis and capacitive deionization. *Chemical Engineering Journal*, 337, 398–404. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2017.12.120>
- Huang, Z. M., Zhang, Y. Z., Kotaki, M., & Ramakrishna, S. (2003). A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites. *Composites Science and Technology*, 63(15), 2223–2253. [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(03\)00178-7](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(03)00178-7)
- IAGUA. (2023). *Gestión, tratamiento y reutilización de agua para el sector minero en Latinoamérica* | iAgua. <https://www.iagua.es/noticias/almar-water-solutions/gestion-tratamiento-y-reutilizacion-agua-sector-minero-latinoamerica>
- Ifuku, S., Nogi, M., Abe, K., Yoshioka, M., Morimoto, M., Saimoto, H., & Yano, H. (2009). Preparation of chitin nanofibers with a uniform width as  $\alpha$ -chitin from crab shells. *Biomacromolecules*, 10(6), 1584–1588. [https://doi.org/10.1021/BM900163D/ASSET/IMAGES/MEDIUM/BM-2009-00163D\\_0006.GIF](https://doi.org/10.1021/BM900163D/ASSET/IMAGES/MEDIUM/BM-2009-00163D_0006.GIF)
- Jadoun, S., Fuentes, J., Urbano, B., & Yáñez, J. (2023). A review on adsorption of heavy metals from wastewater using conducting polymer-based materials. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(1), 109226. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2022.109226>
- Ji, M., Li, B., Majdi, A., Alkhalifah, T., Alturise, F., & Ali, H. E. (2023). Application of nano remediation of mine polluted in acid mine drainage water using machine learning model. *Chemosphere*, 311, 136926. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.136926>
- Jiang, F., Li, X., Duan, Y., Li, Q., Qu, Y., Zhong, G., Qiu, M., Zhang, J., Zhang, C., & Pan, X. (2023). Extraction and characterization of chitosan from *Eupolyphaga sinensis* Walker and its application in the preparation of electrospun nanofiber membranes. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 222, 113030. <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFB.2022.113030>
- Justi, K. C., Fávere, V. T., Laranjeira, M. C. M., Neves, A., & Peralta, R. A. (2005). Kinetics and equilibrium adsorption of Cu(II), Cd(II), and Ni(II) ions by chitosan functionalized with 2[-bis-(pyridylmethyl)aminomethyl]-4-methyl-6- formylphenol. *Journal of Colloid and Interface Science*, 291(2), 369–374. <https://doi.org/10.1016/J.JCIS.2005.05.017>
- Khadem, M., Golvavaei, F., & Rahmani, A. (2017). Occupational Exposure Assessment of Chromium (VI): A Review of Environmental and Biological Monitoring. *International Journal of Occupational Hygiene*, 9(3), 118–131. <https://ijoh.tums.ac.ir/index.php/ijoh/article/view/290>
- Kucukgulmez, A., Celik, M., Yanar, Y., Sen, D., Polat, H., & Kadak, A. E. (2011). Physicochemical characterization of chitosan extracted from *Metapenaeus stebbingi* shells. *Food Chemistry*, 126(3), 1144–1148. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2010.11.148>
- Kumari, S., Kumar Annamareddy, S. H., Abanti, S., & Kumar Rath, P. (2017).

- Physicochemical properties and characterization of chitosan synthesized from fish scales, crab and shrimp shells. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 1697–1705. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2017.04.119>
- Lavall, R. L., Assis, O. B. G., & Campana-Filho, S. P. (2007).  $\beta$ -Chitin from the pens of *Loligo* sp.: Extraction and characterization. *Bioresource Technology*, 98(13), 2465–2472. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2006.09.002>
- Li, C. J., Zhang, S. S., Wang, J. N., & Liu, T. Y. (2014). Preparation of polyamides 6 (PA6)/Chitosan@FexOy composite nanofibers by electrohilado and pyrolysis and their Cr(VI)-removal performance. *Catalysis Today*, 224, 94–103. <https://doi.org/10.1016/J.CATTOD.2013.11.034>
- Li, D., McCann, J., & Xia, Y. (2005). Use of electrohilado to directly fabricate hollow nanofibers with functionalized inner and outer surfaces. *Small (Weinheim an Der Bergstrasse, Germany)*, 1(1), 83–86. <https://doi.org/10.1002/SMLL.200400056>
- Li, L., Li, Y., Cao, L., & Yang, C. (2015). Enhanced chromium (VI) adsorption using nanosized chitosan fibers tailored by Electrohilado. *Carbohydrate Polymers*, 125, 206–213. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2015.02.037>
- Li, L., Zhang, J., Li, Y., & Yang, C. (2017). Removal of Cr (VI) with a spiral wound chitosan nanofiber membrane module via dead-end filtration. *Journal of Membrane Science*, 544, 333–341. <https://doi.org/10.1016/J.MEMSCI.2017.09.045>
- Li, Y., Chen, X., Liu, L., Liu, P., Zhou, Z., Huhetaoli, Wu, Y., & Lei, T. (2022). Characteristics and adsorption of Cr(VI) of biochar pyrolyzed from landfill leachate sludge. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 162, 105449. <https://doi.org/10.1016/J.JAAP.2022.105449>
- Liu, X., Hu, Q., Fang, Z., Zhang, X., & Zhang, B. (2009). Magnetic chitosan nanocomposites: A useful recyclable tool for heavy metal ion removal. *Langmuir*, 25(1), 3–8. [https://doi.org/10.1021/LA802754T/SUPPL\\_FILE/LA802754T\\_SI\\_001.PDF](https://doi.org/10.1021/LA802754T/SUPPL_FILE/LA802754T_SI_001.PDF)
- Luo, L., Cai, W., Zhou, J., & Li, Y. (2016). Facile synthesis of boehmite/PVA composite membrane with enhanced adsorption performance towards Cr(VI). *Journal of Hazardous Materials*, 318, 452–459. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2016.07.019>
- Luo, Q., Wang, Y., Han, Q., Ji, L., Zhang, H., Fei, Z., & Wang, Y. (2019). Comparison of the physicochemical, rheological, and morphologic properties of chitosan from four insects. *Carbohydrate Polymers*, 209, 266–275. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2019.01.030>
- Lyons, J., Li, C., & Ko, F. (2004). Melt-electrohilado part I: processing parameters and geometric properties. *Polymer*, 45(22), 7597–7603. <https://doi.org/10.1016/J.POLYMER.2004.08.071>
- Maciej Serda, Becker, F. G., Cleary, M., Team, R. M., Holtermann, H., The, D., Agenda, N., Science, P., Sk, S. K., Hinnebusch, R., Hinnebusch A, R., Rabinovich, I., Olmert, Y., Uld, D. Q. G. L. Q., Ri, W. K. H. U., Lq, V., Frxqwu, W. K. H., Zklfk, E., Edvhg, L. V., ... فاطمی, ح. (2013). Synteza i aktywność biologiczna nowych analogów tiosemikarbazonowych chelatorów żelaza. *Uniwersytet Śląski*, 7(1), 343–354. <https://doi.org/10.2/JQUERY.MIN.JS>
- MINAM. (2015). *Estándares de calidad de Agua*. <https://www.minam.gob.pe/notas-de->



prensa/lima-30-de-diciembre-de-2015-mediante-decreto-supremo-no-015-2015-minam-publicado-el-19-de-diciembre-de-2015-en-el-diario-oficial-el-peruano-el-ministerio-del-ambiente-minam-en-coordinacion/

- Ministerio del Ambiente. (2010). *Límite Máximo Permisible (LMP)*. <https://infoaireperu.minam.gob.pe/limite-maximo-permisible-lmp/>
- Montes-Morán, A., M., Suárez, & Menéndez. (2004). Study of the surface basicity of activated carbons. *Carbon*, 1371–1375.
- Naggar, A., Mosa, A., Ahmed, N., Niazi, N. K., Yousaf, B., Sarkar, B., Rinklebe, J., Cai, Y., & Chang, S. X. (2022). Modified and pristine biochars for remediation of chromium contamination in soil and aquatic systems. *Chemosphere*, 303, 134942. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.134942>
- Ng, J. C. Y., Cheung, W. H., & McKay, G. (2002). Equilibrium Studies of the Sorption of Cu(II) Ions onto Chitosan. *Journal of Colloid and Interface Science*, 255(1), 64–74. <https://doi.org/10.1006/JCIS.2002.8664>
- Ni, N., & Zhao, K. (2007). Dielectric analysis of chitosan gel beads suspensions: influence of low crosslinking agent concentration on the dielectric behavior. *Journal of Colloid and Interface Science*, 312(2), 256–264. <https://doi.org/10.1016/J.JCIS.2007.03.073>
- Nour, H. E. S., Ramadan, F., Aita, S., & Zahran, H. (2021). Assessment of sediment quality of the Qalubiya drain and adjoining soils, Eastern Nile Delta, Egypt. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(7), 1–13. <https://doi.org/10.1007/S12517-021-06891-0/FIGURES/10>
- Pourheydari-Barsari, Z., Mirzadeh, H., Farhadi, M., Solouk, A., & Jaleesi, M. (2023). Antibacterial aligned nanofibrous chitosan/PVA patch for repairing chronic tympanic membrane perforations. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253, 126597. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2023.126597>
- Rajan, S., & Nandimandalam, J. R. (2024). Environmental health risk assessment and source apportion of heavy metals using chemometrics and pollution indices in the upper Yamuna river basin, India. *Chemosphere*, 346, 140570. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2023.140570>
- Rein, D. M., Cohen, Y., Ronen, A., Zussman, E., & Shuster, K. (2008). Electrohiladoof ultrahigh-molecular-weight polyethylene nanofibers. *Materials Research Society Symposium Proceedings*, 1083(1), 44–49. <https://doi.org/10.1557/PROC-1083-R03-03/METRICS>
- Roger, N. (2020). *La isoterma de Langmuir*. [https://espanol.libretexts.org/Quimica/Química\\_Física\\_y\\_Teórica/Libro:\\_Ciencia\\_de\\_superficie\\_%28Nix%29/03:\\_La\\_isoterma\\_de\\_Langmuir](https://espanol.libretexts.org/Quimica/Química_Física_y_Teórica/Libro:_Ciencia_de_superficie_%28Nix%29/03:_La_isoterma_de_Langmuir)
- Saeed, K., Haider, S., Oh, T. J., & Park, S. Y. (2008). Preparation of amidoxime-modified polyacrylonitrile (PAN-oxime) nanofibers and their applications to metal ions adsorption. *Journal of Membrane Science*, 322(2), 400–405. <https://doi.org/10.1016/J.MEMSCI.2008.05.062>
- Sahoo, B., Panda, P. K., & Ramakrishna, S. (2022). Electrohiladoof functional ceramic nanofibers. *Open Ceramics*, 11, 100291. <https://doi.org/10.1016/J.OCERAM.2022.100291>

- Saravanan, R., Sacari, E., Gracia, F., Khan, M. M., Mosquera, E., & Gupta, V. K. (2016). Conducting PANI stimulated ZnO system for visible light photocatalytic degradation of coloured dyes. *Journal of Molecular Liquids*, 221, 1029–1033. <https://doi.org/10.1016/J.MOLLIQ.2016.06.074>
- Sevenou, O., Hill, S. E., Farhat, I. A., & Mitchell, J. R. (2002). Organisation of the external region of the starch granule as determined by infrared spectroscopy. *International Journal of Biological Macromolecules*, 31(1–3), 79–85. [https://doi.org/10.1016/S0141-8130\(02\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0141-8130(02)00067-3)
- Sevilla, R., Cuadra, S., & Benavente, S. (2018). *Aplicación de Quitosano modificado en el tratamiento de aguas residuales de tenerías*.
- Sharifuzzaman, S. M., Rahman, H., Ashekuzzaman, S. M., Islam, M. M., Chowdhury, S. R., & Hossain, M. S. (2015). Heavy metals accumulation in coastal sediments. *Environmental Remediation Technologies for Metal-Contaminated Soils*, 21–42. [https://doi.org/10.1007/978-4-431-55759-3\\_2/COVER](https://doi.org/10.1007/978-4-431-55759-3_2/COVER)
- Shavandi, A., Hu, Z., Teh, S. S., Zhao, J., Carne, A., Bekhit, A., & Bekhit, A. E. D. A. (2017). Antioxidant and functional properties of protein hydrolysates obtained from squid pen chitosan extraction effluent. *Food Chemistry*, 227, 194–201. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2017.01.099>
- Shi, S., Si, Y., Han, Y., Wu, T., Iqbal, M. I., Fei, B., Li, R. K. Y., Hu, J., & Qu, J. (2022). Recent Progress in Protective Membranes Fabricated via Electrohilado: Advanced Materials, Biomimetic Structures, and Functional Applications. *Advanced Materials*, 34(17). <https://doi.org/10.1002/ADMA.202107938>
- Show, K., Chang, J., & Lee, D. (2023). Degradation of high-strength acrylic acid wastewater with anaerobic granulation technology: A mini-review. *Environmental Pollution*, 319, 121018. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2023.121018>
- Singh, M., Kumar, R., Sonone, S., & Jadhav, S. (2021). *Water Contamination by Heavy Metals and their Toxic Effect on Aquaculture and Human Health through Food Chain*. 10(2), 2148–2166. <https://doi.org/10.33263/LIANBS102.21482166>
- Singh, S., Kumar, S., Chauhan, V., Shehata, N., Kaur, H., Dhanjal, D., Marcelino, L., Bhati, S., Singh, J., & Ramamurthy, P. (2022). Ecological effects, remediation, distribution, and sensing techniques of chromium. *Chemosphere*, 307, 135804. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.135804>
- Son, W. K., Ho Youk, J., Seung Lee, T., & Park, W. H. (2005). Effect of pH on electrohiladoof poly(vinyl alcohol). *Materials Letters*, 59(12), 1571–1575. <https://doi.org/10.1016/J.MATLET.2005.01.025>
- Sugashini, S., & Sheriffa Begum, K. M. M. (2013). Column adsorption studies for the removal of Cr(VI) ions by ethylamine modified chitosan carbonized rice husk composite beads with modelling and optimization. *Journal of Chemistry*. <https://doi.org/10.1155/2013/460971>
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2013). *Using Multivariate Statistics*. Pearson.
- Tan, S. M., Teoh, X. Y., Le Hwang, J., Khong, Z. P., Sejare, R., Almashhadani, A. Q., Assi, R. A., & Chan, S. Y. (2022). Electrohiladoand its potential in fabricating pharmaceutical dosage form. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 76, 103761.

<https://doi.org/10.1016/J.JDDST.2022.103761>

- Texeira, L., Calisaya-Azpilcueta, D., Cruz, C., Botero, Y. L., & Cisternas, L. A. (2023). Impact of the use of seawater on acid mine drainage from mining wastes. *Journal of Cleaner Production*, 383, 135516. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.135516>
- Topuz, F., Satilmis, B., & Uyar, T. (2019). Electrohiladoof uniform nanofibers of Polymers of Intrinsic Microporosity (PIM-1): The influence of solution conductivity and relative humidity. *Polymer*, 178. <https://doi.org/10.1016/J.POLYMER.2019.121610>
- Udaybhaskar, P., Iyengar, L., & Rao, A. V. S. P. (1990). Hexavalent chromium interaction with chitosan. *Journal of Applied Polymer Science*, 39(3), 739–747. <https://doi.org/10.1002/APP.1990.070390322>
- Urbasos, I. (2023). *El “patrón oro”: cómo los minerales marcan el PIB latinoamericano*. <https://www.unav.edu/web/global-affairs/detalle/-/blogs/el-patron-oro-como-los-minerales-marcan-el-pib-latinoamericano>
- Viswanathan, G., Murugesan, S., Pushparaj, V., Nalamasu, O., Ajayan, P., & Linhardt, R. (2006). Preparation of biopolymer fibers by electrohiladoof from room temperature ionic liquids. *Biomacromolecules*, 7(2), 415–418. [https://doi.org/10.1021/BM050837S/SUPPL\\_FILE/BM050837SSI20060101\\_061819.PDF](https://doi.org/10.1021/BM050837S/SUPPL_FILE/BM050837SSI20060101_061819.PDF)
- Wanjiya, M., Zhang, J. C., Wu, B., Yin, M. J., & An, Q. F. (2024). Nanofiltration membranes for sustainable removal of heavy metal ions from polluted water: A review and future perspective. *Desalination*, 578, 117441. <https://doi.org/10.1016/J.DESAL.2024.117441>
- Wen, Y., Tang, Z., Chen, Y., & Gu, Y. (2011). Adsorption of Cr(VI) from aqueous solutions using chitosan-coated fly ash composite as biosorbent. *Chemical Engineering Journal*, 175(1), 110–116. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2011.09.066>
- Wu, N., Wei, H., & Zhang, L. (2012). Efficient removal of heavy metal ions with biopolymer template synthesized mesoporous titania beads of hundreds of micrometers size. *Environmental Science and Technology*, 46(1), 419–425. [https://doi.org/10.1021/ES202043U/SUPPL\\_FILE/ES202043U\\_SI\\_002.AVI](https://doi.org/10.1021/ES202043U/SUPPL_FILE/ES202043U_SI_002.AVI)
- Xu, F., Lai, C., Zhang, M., Li, B., Liu, S., Chen, M., Li, L., Xu, Y., Qin, L., Fu, Y., Liu, X., Yi, H., & Yang, X. (2021). Facile one-pot synthesis of carbon self-doped graphitic carbon nitride loaded with ultra-low ceric dioxide for high-efficiency environmental photocatalysis: Organic pollutants degradation and hexavalent chromium reduction. *Journal of Colloid and Interface Science*, 601, 196–208. <https://doi.org/10.1016/J.JCIS.2021.05.124>
- Zhang, K., Yi, Y., & Fang, Z. (2023). Remediation of cadmium or arsenic contaminated water and soil by modified biochar: A review. *Chemosphere*, 311, 136914. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.136914>
- Zhang, W., Zhang, D., & Liang, Y. (2019). Nanotechnology in remediation of water contaminated by poly- and perfluoroalkyl substances: A review. *Environmental Pollution*, 247, 266–276. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2019.01.045>
- Zimmermann, A. C., Mecabô, A., Fagundes, T., & Rodrigues, C. A. (2010). Adsorption of Cr(VI) using Fe-crosslinked chitosan complex (Ch-Fe). *Journal of Hazardous*

*Materials*, 179(1–3), 192–196. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2010.02.078>

## ANEXOS

### Anexo 1 Matriz de consistencia

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Indicadores	Metodología
<b>Problema General</b>  ¿Cuáles son los impactos socioambientales con la alta concentración de Cr(VI), en aguas debido a las actividades mineras en el Perú, y cómo pueden los métodos de remediación no convencionales abordar estos problemas?	<b>Objetivo general</b>  Obtener nanofibras de Quitosano y PVA mediante electrohilado de plumas de <i>dosidicus gigas</i> para la remoción de Cr(VI) en soluciones ácidas	<b>Hipótesis general</b>  H1: La variación del grado de acetilación, masa de las nanofibra y pH tienen influencia en el porcentaje de remoción de Cr(VI) en soluciones ácidas.  H0: La variación del grado de acetilación, masa de las nanofibra y pH no tienen influencia en el porcentaje de remoción de Cr(VI) en soluciones ácidas.	<b>Variable dependiente</b>  Porcentaje de remoción de Cr (VI)	%	<b>Enfoque:</b> Cuantitativo.  <b>Tipo de investigación:</b> Aplicada.  <b>Alcance o Nivel de investigación:</b> Aplicativo.  <b>Diseño:</b> Experimental.  <b>Temporalidad/Espacial:</b> Longitudinal (prospectiva).  <b>Universo:</b> Soluciones ácidas con Cr (VI).  <b>Muestra:</b> X Muestras de soluciones ácidas con Cr (VI)  <b>Tipo de muestreo:</b> Probabilístico (Muestreo aleatorio simple).  <b>Unidad de análisis:</b> Porcentaje de remoción de Cr (VI) (%).  <b>Técnicas de recolección de datos:</b> Observación experimental / Análisis de soluciones acuosas en laboratorio.
			<b>Variable independiente 1</b>  Grado de Acetilación	%	
			<b>Variable independiente 2</b>  Masa de nanofibras	mg	
			<b>Variable independiente 3</b>  pH	-	
<b>Problemas Específicos</b>  ¿En qué medida los Nanomateriales, como las membranas producidas a través del método de electrohilado, son eficaces en la remoción de Cr(VI)?  ¿Cuáles son los impactos ambientales y de salud asociados con la alta concentración de Cr(VI) en cuerpos de agua?	<b>Objetivo específico 1</b>  Extraer y caracterizar Quitosano a partir de Plumitas de calamar ( <i>dosidicus gigas</i> )	<b>Hipótesis específica 1</b>  H1: La variación del grado de acetilación tiene influencia en el porcentaje de remoción de Cr(VI) en soluciones ácidas.  H0: La variación del grado de acetilación no tiene influencia en el porcentaje de remoción de Cr(VI) en soluciones ácidas.	<b>Variables dependientes</b>  Porcentaje de remoción de Cr (VI)	%	
	<b>Objetivo específico 2</b>  Obtener nanofibras a partir de Quitosano, PVA y Quitosano/PVA a diferentes concentraciones mediante el método de electrohilado	<b>Hipótesis específica 2</b>  H2: La variación de la masa de la nanofibras tiene influencia en el porcentaje de remoción de Cr(VI) en soluciones ácidas.  H0: La variación de la masa de la nanofibras no tiene influencia en el porcentaje de remoción de Cr(VI) en soluciones ácidas.	<b>Variable independiente 1</b>  Grado de Acetilación	%	
	<b>Objetivo específico 3</b>  Caracterizar las nanofibras a partir de Quitosano, PVA y Quitosano/PVA a		<b>Variables dependientes</b>  Porcentaje de remoción de Cr (VI)	%	
			<b>Variable independiente 2</b>  Masa de nanofibras	mg	

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Indicadores	Metodología
	diferentes concentraciones				<b>Instrumentos de recolección:</b> Cámara fotográfica, cuaderno de apuntes, etc. <b>Procesamiento de datos:</b> <b>Softwares:</b> Origin
	<b>Objetivo específico 4</b>  Evaluar la remoción de Cr(VI) a partir de nanofibras de Quitosano, PVA y Quitosano/PVA.	<b>Hipótesis específica 3</b>  H3: La variación del pH tiene influencia en el porcentaje de remoción de Cr(VI) en soluciones acidas.	<b>Variables dependientes</b>  Porcentaje de remoción de Cr (VI)	%	
	<b>Objetivo específico 5</b>  Evaluar la adsorción y cinética para la remoción de Cr(VI)	H0: La variación del pH no tiene influencia en el porcentaje de remoción de Cr(VI) en soluciones acidas.	<b>Variable independiente 3</b>  pH	-	



**Ley N°30035**  
Respositorio Nacional Digital



**UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE  
INGENIERIA**

**FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN  
ELECTRÓNICA EN EL PORTAL DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL  
DE LA UNI**

**1. DATOS PERSONALES**

Apellidos y nombres: Huarcaya Nina Jhony Fredy

D.N.I: 77271786

Teléfono casa: -

Celular: 971 231 234

Correos electrónicos: jhuarcayan@uni.pe

**2. DATOS ACADÉMICOS**

Grado académico: Bachiller

Mención: Ingeniería Ambiental

**3. DATOS DE LA TESIS**

Título: "Obtención de nanofibras por Electrohilado del Quitosano y PVA Extraído de las Plumas de Dosidicus Gigas para la Remoción de Cr (VI) en Minería"

Año de publicación: 2024

A través del presente, autorizo a la Biblioteca Central de la Universidad Nacional de Ingeniería, la publicación electrónica a texto completo en el Repositorio Institucional, el citado título.

Firma:

Fecha de recepción: 25/09/2024

### Anexo 3 Curriculum Vitae

**JHONY HUARCAYA NINA**

jhuarcayan@uni.pe

971231234



#### **RESUMEN PROFESIONAL**

Ingeniero Ambiental colegiado y habilitado, con estudios de maestría en Minería y Medio Ambiente en la Universidad Nacional de Ingeniería, especialización en Sostenibilidad y Medio Ambiente en Infraestructuras por la Universidad Politécnica de Madrid y diplomado en Gestión Ambiental por la Universidad Peruana del Norte. Cuento con conocimientos en derecho ambiental, supervisión ambiental, SSOMA, monitoreo ambiental, residuos sólidos, permisología, remediación ambiental, tratamiento de aguas acidas, modelamiento de aire (Aermod) y economía circular, ISO (14001, 45001, 9001) y cursos de software de ArcGIS, Power Bi, Project, AutoCAD, QGIS y Ofimática.

Cuento con más de 3 años y medio de experiencia en la supervisión de compromisos ambientales en el área de minería, elaboración de Instrumentos de gestión ambiental (DIA, EIA-sd y EIA-D) e instrumentos complementarios (Planes de cierre, ITS, planes de remediación, ERSAs, etc), elaboración de propuestas económicas, monitoreo ambiental e informes técnicos en el sector de Minería. Por último cuento con más de 5 años de experiencia como investigador principal y co-investigador en el sector público en proyectos de investigación subvencionados por entidades Públicas (PROCIENCIA, VRI-UNI y FONDECYT) en las líneas de investigación de Minería, Energía, Hidrocarburos, Suelos Contaminados, Aguas Ácidas, Reaprovechamiento de Residuos y Producción más Limpia.

Actualmente pertenezco al grupo de investigación de biomateriales, biotecnología y siderurgia de la Universidad Nacional de Ingeniería, dando aporte y publicando artículos científicos relacionados a las líneas de investigación de biorremediación, tratamiento de aguas ácidas mineras, recuperación de suelos contaminados, mejora de procesos, producción más limpia y cambio climático, la cual me permite aplicar y desarrollar los conocimientos adquiridos en mi formación académica y profesional.

#### **FORMACIÓN ACADÉMICA**

**Universidad Nacional de Ingeniería** - Ingeniero Ambiental (CIP N° 328018)

**Universidad Nacional de Ingeniería** - Maestría en Minería y medio Ambiente

**Universidad Politécnica de Madrid** - Especialización en Sostenibilidad en infraestructuras y Medio Ambiente

**Universidad Peruana del Norte** - Gestión Ambiental

#### **EXPERIENCIA LABORAL**

**Supervisor Ambiental**



Funciones realizas

Supervisión de compromisos ambientales en las distintas áreas de la unidad minera a nivel de contratas y a nivel de unidad, encargándome de verificar las desviaciones que se puedan encontrar en los distintos IGAs. También implemente el seguimiento de los compromisos ambientales en la plataforma SUMAW QASI, con el objetivo de mejorar la supervisión y la identificación temprana de desviación en las distintas etapas del proyecto.

Participo de manera activa en la gestión de los compromisos ambientales, mediante una sistematización de información para la supervisión y la identificación de desviación en las etapas de construcción, operación y cierre, llevando al levantamiento de observaciones antes de la supervisión por parte de la autoridad fiscalizadora (OEFA).

Supervisión de componentes que se encontraban en etapa de cierre progresivo y cierre final de los componentes de la unidad Minera, también realice la supervisión de componentes de cierre de las actividades realizadas por cada contrata.

Participé activamente en la elaboración y desarrollo de los indicadores de fiscalización ambiental, desempeñando un papel crucial en la medición y evaluación de los impactos ambientales de las operaciones. Además, fui responsable de la elaboración de informes detallados dirigidos a la alta gerencia de la Unidad Minera, destacando los resultados obtenidos y proponiendo acciones correctivas o mejoras continuas.

Como parte de mis responsabilidades, tuve a mi cargo la exposición y preparación de documentos para la alta gerencia de la Unidad Minera, comunicando de manera efectiva los aspectos ambientales y proponiendo medidas estratégicas para la mejora continua.

Coordiné activamente en campo con el área de Medio Ambiente, facilitando la ejecución eficiente de los planes y protocolos ambientales. Además, gestioné coordinaciones tanto en campo como en gabinete con los especialistas de las respectivas áreas, asegurando una integración efectiva de los esfuerzos multidisciplinarios.

Ofrecí apoyo esencial en la gestión y entrega de información al cliente, asegurando una comunicación fluida y efectiva en todo momento. También brindé respaldo en la elaboración de reportes de avances al área de medio ambiente, contribuyendo al monitoreo constante de las actividades y logros alcanzados.

**Especialista Ambiental Junior**

Ecología y Tecnología Ambiental – Grupo Aenza | Noviembre 2019 – Febrero 2021

Funciones realizas

Participo en la elaboración de propuestas técnicas y económicas destinadas a la participación en proyectos del sector privado y público.

Participo en la elaboración de distintos capítulos de Instrumentos de Gestión Ambiental para proyectos del subsector Minero, Hidrocarburos, Electricidad.

Brindé respaldo en la gestión y entrega de información al cliente, asegurando una comunicación efectiva y cumplimiento de sus requerimientos.

Contribuí en la generación de reportes de avances, facilitando la comunicación fluida con el Jefe de Proyecto y asegurando la transparencia en la ejecución de las actividades.

Colaboré en la elaboración del plan de trabajo, aportando ideas y estrategias para optimizar la eficiencia en la gestión de proyectos

Soporte en los procesos de permisología vinculados a los Instrumentos de Gestión Ambiental

Realicé monitoreos de suelo, agua, aire y sedimentos en distintos proyectos de Minería, Hidrocarburos, Transporte e industria.

Participé en la elaboración de informes de campo y en la interpretación de datos, asegurando la precisión y relevancia de la información recopilada.

Mantuve informada a la gerencia sobre el estatus del proyecto mediante reportes periódicos, facilitando una visión integral del progreso y posibles áreas de mejora.

### **PUBLICACIONES CIENTIFICAS**

Evaluación de situación financiera, estados de resultados, flujos económicos y financieros aplicados al café orgánico.

Carbothermic Reduction of Brazilian Linz–Donawitz (LD) Steel Sludges – Springer - 2021

Study and application of wind rose for vertical and horizontal axis wind turbine installation in Lima – IEEE -2020

Study Assessment of the water quality in the Titicaca lake, Peru using the grey clustering method - (Proceso de publicación en una revista Indexada)

Caracterización y Tratamiento Térmico de Cáscara de Huevo y Hueso de Olivo para Remoción de Metales Pesados en Sitios de Pasivos Ambientales Mineros - (Proceso de publicación en una revista Indexada)

### **CURSOS Y CAPACITACIONES**

Gerencia de Proyectos - | 2023| - 48 horas

Dirección de Proyectos Proyecta UNI. Lima – Perú

Diploma de Estudios de Impacto Ambiental en Minería - | 2022| - 120 horas

Instituto Minero del Pacífico. Lima – Perú

Supervisión en Medio Ambiente - | 2022|-120 horas

Instituto de la Calidad Ambiental. Lima – Perú

Gestión de suelos contaminados - | 30/09/2021– 30/12/2021 | 208 horas académicas

Centro de Extensión y Proyección Social (CELAEP)

Ecoeficiencia y Huella de carbono - | 18/10/2021– 12/12/2021 | 60 horas académicas

Ministerio del Ambiente

Formación de auditor interno del sistema integrado de gestión en ISO 14001, 45001 y 90001 | 17/01/2020– 02/03/2020 | - 40 horas

TUV Rheinland SouthAmerica

Gestión de suelos contaminados - | 30/09/2021– 30/12/2021 | 208 horas académicas

Centro de Extensión y Proyección Social (CELAEP)

Ecoeficiencia y Huella de carbono - | 18/10/2021– 12/12/2021 | 60 horas académicas

Ministerio del Ambiente

Seguridad y salud en el trabajo | 04/05/2020– 07/10/2020 | - 148 horas

La capacitación se dio por parte de Gestión Integral HQSE, siendo acreditado por la Universidad Nacional de Ingeniería

Monitoreo de la Calidad Ambiental | 12/01/2020– 23/02/2020| - 64 horas

La capacitación de monitoreo fue de agua, suelo, ruido y aire- Teórico/ Practico.

Competencias adquiridas: Manejo de equipos, reconocimiento de normas, revisión de parámetros.

Desarrollado por el instituto de la calidad Ambiental.

Paquete de Office (Excel, Word, PowerPoint) Intermedio completo – 144 horas | 12/07/2019– 01/09/2019 |

Centro de Extensión y Proyección Social (CEPS-UNI).

AutoCAD (Intermedio) | 08/08/2019– 24/08/2019 | - 48 horas

Centro de extensión y Proyección social (CEPS UNI)

## **LOGROS**

Participe como Co-investigador del proyecto: “Uso de biocarbón hecho a base de cáscaras y fibras de coco para tratamiento de aguas residuales municipales e industriales - 2021”.

Participe como Co-investigador del proyecto: “Obtención de fibras inteligentes a partir de nanobiomateriales /PET reciclados con potencial aplicación en el sector biotecnológico. Una propuesta basada en el aprovechamiento de residuos sólidos para la preparación de nuevos (bio)materiales con un alto valor agregado” – 2021.

Subvención aprobada por Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica del Perú (FONDECYT) 1,000,000.00 soles

Participante como Investigador principal del proyecto de investigación: “Evaluación de la calidad de agua del ecosistema acuático en la cuenca del Lago Titicaca mediante el método de Grey Clustering”-2021.

Primer puesto en la Categoría III del concurso de proyectos de investigación formativa ABET 2020-2, Facultad de Ingeniería Ambiental – UNI

Participe como ponente en el I Congreso Internacional de Investigación en Ingeniería - EIRCON 2020 con el trabajo de investigación: “Study and application of comopass rose for the installation of vertical and horizontal axis wind turbines in Lima” – 2020.

Participe como investigador principal del proyecto: Evaluación de la capacidad de remoción de plomo del pasivo ambiental minero de la Facultad de Ingeniería Geológica UNI Sector A, utilizando cascara de huevo natural calcinada de s gallina- Biochar” - 2020. - (TESIS)

Subvención aprobada por el Vicerrectorado de investigación – UNI por un monto de 10,000.00 soles

Participe como Co-Investigador del proyecto de investigación:” Estudio de la capacidad de adsorción de Hg (II) en biochar procedente de huesos de aceitunas (Olea europaea L.) preoxidado y modificado con tiol” – 2020.

Subvención aprobada por el Vicerrectorado de investigación – UNI por un monto de 50,000.00 soles

Participe Participante como Co-Investigador del proyecto de investigación: “Evaluación y análisis de la calidad del suelo en la zona de influencia de la planta concentradora de la UNI usando el método de Grey Clustering” - 2020.

Subvención aprobada por el Instituto de investigación de la Facultad de Ingeniería Ambiental - UNI por un monto de 20,000.00 soles

Participe como Co- Investigador del proyecto de investigación: “Evaluación de la precisión de los modelos de series de tiempos y modelos regresivos basados en Machine Learning para el pronóstico de caudales mensuales del río Rímac” - 2020.

Subvención aprobada por el Instituto de investigación de la Facultad de Ingeniería Ambiental - UNI por un monto de 15,000.00 soles

Participe en el concurso: Hult Prize at UNI 2018-2019 realizado por la Universidad Nacional de Ingeniería, con el emprendimiento “EcoCuero” quedando el proyecto en el segundo lugar de dicha competición - 2018

**JHONY HUARCAYA NINA**

jhuarcayan@uni.pe

971231234



## **PROFESSIONAL SUMMARY**

Chartered and qualified Environmental Engineer, with a master's degree in Mining and Environment from the National University of Engineering, specialization in Sustainability and Environment in Infrastructures from the Polytechnic University of Madrid and a diploma in Environmental Management from the Peruvian University of the North. I have knowledge in environmental law, environmental supervision, SSOMA, environmental monitoring, solid waste, permitting, environmental remediation, acid water treatment, air modeling (Aermod) and circular economy, ISO (14001, 45001, 9001) and software courses in ArcGIS, Power Bi, Project, AutoCAD, QGIS and Office automation.

I have more than 3 and a half years of experience in the supervision of environmental commitments in the mining area, elaboration of environmental management instruments (EIS, EIA-sd and EIA-D) and complementary instruments (closure plans, ITS, remediation plans, ERSA, etc), elaboration of economic proposals, environmental monitoring and technical reports in the mining sector. Finally, I have more than 5 years of experience as principal investigator and co-investigator in the public sector in research projects funded by public entities (PROCIENCIA, VRI-UNI and FONDECYT) in the research lines of Mining, Energy, Hydrocarbons, Contaminated Soils, Acid Waters, Waste Reuse and Cleaner Production.

Currently I belong to the research group of biomaterials, biotechnology and siderurgy of the Universidad Nacional de Ingeniería, contributing and publishing scientific articles related to the research lines of bioremediation, acid mine water treatment, contaminated soil remediation, process improvement, cleaner production and climate change, which allows me to apply and develop the knowledge acquired in my academic and professional training.

## **ACADEMIC BACKGROUND**

**National University of Engineering** - Environmental Engineer (CIP N° 328018)

**National University of Engineering** - Master's Degree in Mining and the Environment

**Universidad Politécnica de Madrid** - Specialization in Infrastructure and Environmental Sustainability.

**Universidad Peruana del Norte** - Environmental Management

## **WORK EXPERIENCE**

Environmental Supervisor

San Rafael Mining Unit- MINSUR / ECOFISH | March 2021 - Present

### Functions performed

Supervision of environmental commitments in the different areas of the mining unit at contract and unit level, being in charge of verifying the deviations that can be found in the different IGAs. I also implemented the monitoring of environmental commitments in the SUMAW QASI platform, with the objective of improving the supervision and early identification of deviation in the different stages of the project.

Actively participate in the management of environmental commitments, through a systematization of information for supervision and identification of deviations in the construction, operation and closure stages, leading to the collection of observations prior to supervision by the supervisory authority (OEFA).

Supervision of components that were in the stage of progressive closure and final closure of the components of the mining unit, also perform the supervision of closure components of the activities carried out by each contractor.

I actively participated in the elaboration and development of environmental monitoring indicators, playing a crucial role in the measurement and evaluation of the environmental impacts of the operations. In addition, I was responsible for the preparation of detailed reports to the Mining Unit's senior management, highlighting the results obtained and proposing corrective actions or continuous improvements.

As part of my responsibilities, I was in charge of the presentation and preparation of documents for the Mining Unit's senior management, effectively communicating environmental aspects and proposing strategic measures for continuous improvement.

I actively coordinated in the field with the Environmental area, facilitating the efficient execution of environmental plans and protocols. In addition, I managed both field and office coordination with the specialists of the respective areas, ensuring an effective integration of multidisciplinary efforts.

I provided essential support in the management and delivery of information to the client, ensuring smooth and effective communication at all times. I also provided support in the preparation of progress reports to the environmental area, contributing to the constant monitoring of activities and achievements.

## **Junior Environmental Specialist**

Ecology and Environmental Technology - Grupo Aenza | November 2019 - February 2021

### Duties performed

Participate in the preparation of technical and economic proposals for participation in private and public sector projects.

Participate in the elaboration of different chapters of Environmental Management Instruments for projects in the Mining, Hydrocarbons and Electricity subsectors.

I provided support in the management and delivery of information to the client, ensuring effective communication and compliance with their requirements.

I contributed in the generation of progress reports, facilitating fluid communication with the Project Manager and ensuring transparency in the execution of activities.

I collaborated in the development of the work plan, contributing ideas and strategies to optimize efficiency in project management.

Support in permitting processes related to Environmental Management Instruments.

I performed soil, water, air and sediment monitoring in different mining, hydrocarbon, transportation and industrial projects.

I participated in the preparation of field reports and data interpretation, ensuring the accuracy and relevance of the information collected.

I kept management informed about the status of the project through periodic reports, providing a comprehensive view of progress and possible areas of improvement.

## **SCIENTIFIC PUBLICATIONS**

Evaluation of financial situation, income statements, economic and financial flows applied to organic coffee.

Carbothermic Reduction of Brazilian Linz-Donawitz (LD) Steel Sludges - Springer - 2021

Study and application of wind rose for vertical and horizontal axis wind turbine installation in Lima - IEEE - 2020

Study Assessment of the water quality in the Titicaca lake, Peru using the grey clustering method - (Publication process in an Indexed journal)

Characterization and Thermal Treatment of Eggshell and Olive Stones for Heavy Metals Removal in Mining Environmental Liability Sites - (Indexed journal publication process)

## **COURSES AND TRAININGS**

Project Management - | 2023| - 48 hours

Project Management Proyecta UNI. Lima - Peru

Diploma of Environmental Impact Studies in Mining - | 2022| - 120 hours

Pacific Mining Institute. Lima - Peru

Environmental Supervision - | 2022|-120 hours

Institute of Environmental Quality. Lima - Peru

Contaminated Soil Management - | 30/09/2021- 30/12/2021 | 208 academic hours

Center for Extension and Social Projection (CELAEP)

Eco-efficiency and Carbon Footprint - | 18/10/2021- 12/12/2021 | 60 academic hours

Ministry of the Environment

Training of internal auditor of the integrated management system in ISO 14001, 45001 and 90001 | 17/01/2020- 02/03/2020 | - 40 hours

TUV Rheinland SouthAmerica

Contaminated Soil Management - | 30/09/2021- 30/12/2021 | 208 academic hours

Center for Extension and Social Projection (CELAEP)

Eco-efficiency and Carbon Footprint - | 10/18/2021- 12/12/2021 | 60 academic hours

Ministry of the Environment

Occupational Health and Safety | 04/05/2020- 07/10/2020 | - 148 hours

The training was given by Gestión Integral HQSE, being accredited by the Universidad Nacional de Ingeniería.

Environmental Quality Monitoring | 12/01/2020- 23/02/2020| - 64 hours

The monitoring training was of water, soil, noise and air - Theoretical/ Practical.

Skills acquired: Equipment handling, recognition of standards, review of parameters.

Developed by the Institute of Environmental Quality.



Office Package (Excel, Word, PowerPoint) Intermediate complete - 144 hours | 12/07/2019-01/09/2019 |

Center for Extension and Social Projection (CEPS-UNI).

AutoCAD (Intermediate) | 08/08/2019- 24/08/2019 | - 48 hours

Center for Extension and Social Projection (CEPS UNI)

## **ACHIEVEMENTS**

Participate as Co-investigator of the project: "Use of biochar made from coconut shells and fibers for municipal and industrial wastewater treatment - 2021".

Participate as Co-investigator of the project: "Obtaining smart fibers from recycled nanobiomaterials /PET with potential application in the biotechnology sector. A proposal based on the use of solid waste for the preparation of new (bio)materials with high added value" - 2021.

Grant approved by Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica del Perú (FONDECYT) 1,000,000.00 soles.

Participant as Principal Investigator of the research project: "Evaluation of the water quality of the aquatic ecosystem in the Lake Titicaca basin using the Grey Clustering method"- 2021.

First place in Category III of the ABET 2020-2 formative research project competition, Faculty of Environmental Engineering - UNI.

Participate as a speaker at the I International Congress of Engineering Research - EIRCON 2020 with the research work: "Study and application of compass rose for the installation of vertical and horizontal axis wind turbines in Lima" - 2020.

Participate as principal investigator of the project: "Evaluation of the lead removal capacity of the mining environmental liability of the Faculty of Geological Engineering UNI Sector A, using natural calcined chicken eggshell - Biochar" - 2020. - (THESIS)

Grant approved by the Vicerrectorado de investigación - UNI for an amount of 10,000.00 soles.

Participate as Co-Investigator of the research project: "Study of the adsorption capacity of Hg (II) in biochar from olive pits (Olea europaea L.) preoxidized and modified with thiol" - 2020.

Grant approved by the Vice-rectorate of Research - UNI for an amount of 50,000.00 soles.

Participate as Co-Investigator of the research project: "Evaluation and analysis of soil quality in the area of influence of the UNI concentrator plant using the Grey Clustering method" - 2020.

Grant approved by the Research Institute of the Faculty of Environmental Engineering - UNI in the amount of 20,000.00 soles.

Participate as Co-Investigator of the research project: "Evaluation of the accuracy of time series models and regression models based on Machine Learning for forecasting monthly flows of the Rimac River" - 2020.

Grant approved by the Research Institute of the Faculty of Environmental Engineering - UNI in the amount of 15,000.00 soles.

Participate in the competition: Hult Prize at UNI 2018-2019 conducted by the National University of Engineering, with the venture "EcoCuero" leaving the project in second place in that competition - 2018.