

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
FORESTAL**



**"EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE PLOMO, HIERRO Y
CADMIO DE LAS AGUAS PROCEDENTES DEL RÍO CRUCERO
EMPLEANDO QUITOSANO COMO ADSORBENTE"**

Bach. Roscy Tapara Palomino

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

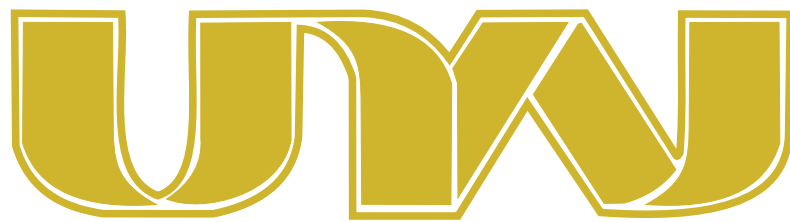
Asesor: Dr. Wile Mamani Navarro



Juliaca, 2024



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
FORESTAL**



**"EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE PLOMO, HIERRO Y
CADMIO DE LAS AGUAS PROCEDENTES DEL RÍO CRUCERO
EMPLEANDO QUITOSANO COMO ADSORBENTE"**

Bach. Roscy Tapara Palomino

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

Asesor: Dr. Wile Mamani Navarro



Juliaca, 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
Y FORESTAL



**“EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE PLOMO, HIERRO Y
CADMIO DE LAS AGUAS PROCEDENTES DEL RÍO CRUCERO
EMPLEANDO QUITOSANO COMO ADSORBENTE”**

Bach. Roscy Tapara Palomino

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

Asesor: Dr. Wile Mamani Navarro

Juliaca, 2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Tapara, R. (2024). *Evaluación de la remoción de plomo, hierro y cadmio de las aguas procedentes del río crucero empleando quitosano como adsorbente (Tesis de Pregrado)*. Universidad Nacional de Juliaca.

AUTOR: Roscy Tapara Palomino.

TÍTULO: Evaluación de la remoción de plomo, hierro y cadmio de las aguas procedentes del río crucero empleando quitosano como adsorbente.

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2024.

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (107 pp.)

NOTA: Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal – Universidad Nacional de Juliaca.

CÓDIGO: 01-000036-01/T21

NOTA: Incluye Bibliografía.

ASESOR: Dr. Wile Mamani Navarro.

PALABRAS CLAVE: Aguas superficiales, adsorción, remoción, metales pesados, quitosano.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
Y FORESTAL

**“EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE PLOMO, HIERRO Y
CADMIO DE LAS AGUAS PROCEDENTES DEL RÍO CRUCERO
EMPLEANDO QUITOSANO COMO ADSORBENTE”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y
FORESTAL**

Presentado por:

Bach. Roscy Tapara Palomino

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

Dr. José Luis Pineda Tapia

PRESIDENTE DE JURADO



M. Sc. Godofredo Huanca Chambi

JURADO (Secretario)



2º MIEMBRO

M. Sc. Ebed David Paredes Rodriguez

JURADO (Vocal)



3º MIEMBRO



Dr. Wile Mamani Navarro

ASESOR DE TESIS

NOMBRE DEL TRABAJO

**EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE PLO
MO, HIERRO Y CADMIO DE LAS AGUAS P
ROCEDENTES DEL RÍO CRUCERO EMPLE
AN**

AUTOR

ROSCY TAPARA PALOMINO

RECUENTO DE PALABRAS

23470 Words

RECUENTO DE CARACTERES

127721 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

102 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

5.6MB

FECHA DE ENTREGA

Sep 3, 2024 5:05 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 3, 2024 5:07 PM GMT-5

● **9% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)


Wile Yamani Navarro
2972 9165

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía constante en cada etapa de mi vida y por otorgarme la fortaleza valiosa para alcanzar mis objetivos.

A mis padres, por el inmenso apoyo, paciencia, comprensión, y con su fe constante en mí, han sido una fuente de inspiración en cada momento.

A mis hermanos, quienes han sido mi fuente de aliento y mi mayor inspiración en mi carrera académica.

Roscy Tapara Palomino

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Juliaca y a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal, por su valiosa contribución en mi desarrollo académico y profesional.

Al Dr. Wile Mamani Navarro, asesor de la presente tesis, por su valioso tiempo y el apoyo brindado a lo largo de la elaboración de la presente investigación.

A los miembros del jurado, Dr. José Luis Pineda Tapia, M.Sc. Godofredo Huanca Chambi y M.Sc. Ebed David Paredes Rodriguez, por sus valiosas sugerencias y aportes brindados, que han sido fundamentales para mejorar mi trabajo de investigación.

Roscy Tapara Palomino

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN.....	xi
CAPÍTULO I.....	1
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Formulación del problema.....	3
1.2.1. Problema general	3
1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.3. Objetivos de la investigación.....	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Hipótesis de la investigación	4
1.4.1. Hipótesis general	4
1.4.2. Hipótesis específicas.....	4
1.5. Justificación de la investigación	4
CAPÍTULO II.....	6
REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	6
2.1. Antecedentes de la investigación.....	6
2.1.1. Antecedentes internacionales	6
2.2.2. Antecedentes nacionales.....	8
2.2.3. Antecedentes locales.....	9
2.2. Bases teóricas	9
2.2.1. Agua.....	9

2.2.2. Aguas superficiales.....	9
2.2.3. Calidad de agua	10
2.2.4. Importancia del agua	10
2.2.5. Fuentes de contaminación en las aguas superficiales	10
2.2.6. Acumulación de metales en las aguas superficiales	11
2.2.7. Tecnología de adsorción.....	13
2.2.8. Diferentes adsorbentes (convencionales y no convencionales) para la eliminación de contaminantes del agua	16
2.2.9. Quitosano.....	17
CAPÍTULO III	22
MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1. Diseño de investigación.....	22
3.2. Ámbito de estudio.....	22
3.3. Ubicación del punto del muestreo	22
3.4. Población y muestra.....	24
3.4.1. Población	24
3.4.2. Muestra	24
3.5. Equipos, reactivos y materiales	24
3.5.1. Equipos	24
3.5.2. Reactivos	24
3.5.3. Materiales	24
3.6. Metodología.....	25
3.6.1. Obtención del quitosano a partir de los caparazones de crustáceos (cangrejos y camarones) mediante el método químico	25
3.6.2. Determinación del efecto de la dosis de quitosano, tiempo de contacto y variación de pH en la remoción Pb, Fe y Cd	28
3.6.3. Determinación de los niveles de concentración Pb, Fe y Cd antes y después del tratamiento con quitosano de las aguas procedentes del río Crucero	30

3.7. Proceso del diseño experimental	30
3.7.1. Diseño experimental.....	30
3.7.2. Pruebas estadísticas	32
CAPÍTULO IV	33
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.1. Obtención de quitosano a partir de los caparazones de crustáceos mediante el método químico.....	33
4.1.1. Quitosano.....	33
4.1.2. Rendimiento del quitosano	33
4.1.3..Caracterización del quitosano mediante Espectrofotometría Infrarroja FTIR-ATR y determinación del grado de desacetilación mediante la observación de los grupos funcionales del quitosano	36
4.2. Determinación del efecto de la dosis de quitosano, tiempo de contacto y variación de pH en la remoción de Pb, Fe y Cd de las aguas procedentes del río Crucero	40
4.2.1. Muestreo de agua: Parámetros fisicoquímicos y metales en el río Crucero	40
4.2.2. Eficiencia de remoción de Pb, Fe y Cd en la capacidad de adsorción	41
4.3. Determinación de los niveles de concentración de Pb, Fe y Cd antes y después del tratamiento con quitosano de las aguas procedentes del río Crucero	47
4.3.1. Concentración inicial y final de Pb.....	49
4.3.2. Concentración inicial y final de Fe.....	50
4.3.3. Concentración inicial y final de Cd.....	50
CAPÍTULO V.....	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
5.1. Conclusiones.....	51
5.2. Recomendaciones	52
BIBLIOGRAFÍA	53
ANEXOS	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Adsorbentes convencionales y sus funciones.....	16
Tabla 2 Adsorbentes no convencionales y sus funciones.....	17
Tabla 3 Punto de muestreo del río Crucero.....	22
Tabla 4 Niveles de los factores cuantitativos.....	31
Tabla 5 Diseño factorial de 2^k con 5 puntos centrales.....	31
Tabla 6 Desproteínización química de los caparazones de crustáceos.....	34
Tabla 7 Desmineralización química de los caparazones de crustáceos.....	34
Tabla 8 Decoloración química de los caparazones.....	34
Tabla 9 Desacetilación química de los caparazones.....	35
Tabla 10 Frecuencias de absorción infrarrojas y grupo funcional del quitosano.....	37
Tabla 11 Comparación del grado de desacetilación (DD) del quitosano con otros estudios.....	39
Tabla 12 Resultados de los parámetros fisicoquímicos del río Crucero.....	40
Tabla 13 Resultados de la concentración de Pb, Fe y Cd, de las aguas procedentes del río Crucero.....	41
Tabla 14. Resultados de la eficiencia de remoción Pb, Fe y Cd empleando quitosano como adsorbente en las aguas procedentes del río Crucero.....	42
Tabla 15 Resultados de la concentración de Pb, Fe y Cd en muestras de agua del río Crucero, antes y después del tratamiento con quitosano.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales fuentes y vías comunes de contaminación del agua	11
Figura 2. Proceso de la tecnología de adsorción	13
Figura 3. Procedimiento de la obtención de quitosano.....	18
Figura 4. Mapa de ubicación del punto de muestreo del río Crucero.....	23
Figura 5. Diagrama de flujo de la obtención de quitosano	27
Figura 6. Diagrama de flujo para el muestreo de agua en el río Crucero y su determinación de la concentración de metales	29
Figura 7. Espectro Infrarrojo del quitosano a partir de caparazones de crustáceos.....	36
Figura 8. Efecto de la dosis de quitosano en la eficiencia de remoción de Pb, Fe y Cd	44
Figura 9. Efecto del tiempo de contacto en la eficiencia de remoción Pb, Fe y Cd	45
Figura 10. Efecto de la variación de pH en la eficiencia de remoción de Pb, Fe y Cd	47
Figura 11. Recojo de muestra de agua en el río Crucero para su respectivo tratamiento....	70
Figura 12. Proceso de acondicionamiento de caparazones de crustáceos	71
Figura 13. Desproteínización química de los caparazones.....	71
Figura 14. Desmineralización química de los caparazones.....	72
Figura 15. Decoloración química de los caparazones	72
Figura 16. Desacetilación química de la quitina para la obtención de quitosano.....	72
Figura 17. Obtención de quitosano a partir de caparazones	72
Figura 18. Pruebas de adsorción de metales empleando quitosano como adsorbente en agua	73

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Muestreo de agua en el río Crucero	70
Anexo 2. Obtención del quitosano a partir de los caparazones de crustáceos mediante el método químico y pruebas de adsorción de metales empleando quitosano como adsorbente en agua.....	71
Anexo 3. Análisis de Varianza (ANOVA) de los factores dosis, tiempo y pH en función a la variable respuesta	74
Anexo 4. Resultados de la caracterización de quitosano a partir de los caparazones de crustáceos en el equipo FITR-ATR	76
Anexo 5. Informe de ensayo de pruebas para la determinación de metales en las aguas del río Crucero.....	80
Anexo 6. Informe de ensayo de resultado de análisis de metales en muestras de agua del río Crucero tratada con quitosano	83
Anexo 7. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales	87

RESUMEN

La contaminación del agua es un problema mundial que amenaza los ecosistemas, la salud humana, la agricultura y la economía, por lo tanto, preservar este recurso es crucial porque es un componente esencial del medio ambiente para el sustento de la vida, en ese contexto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la remoción de Pb, Fe y Cd de las aguas procedentes del río Crucero empleando quitosano como adsorbente, para lo cual, se obtuvo quitosano mediante el método químico utilizando NaOH, HCl y H₂O₂ y luego se caracterizó con espectrofotometría infrarroja de transformadas de fourier, posteriormente se tomaron muestras de agua para determinar los niveles de concentración de metales mediante la espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente. Los resultados indicaron que el quitosano obtenido tuvo un grado de desacetilación de 81.52 % y un rendimiento de 74.24 %, presentando un color blanco ligeramente amarillo. En cuanto a la eficiencia de remoción, se evaluaron a dosis de 1, 3 y 5 g, tiempo 30, 60 y 90 min y variación de pH 5, 7 y 9. Para Pb, a una concentración inicial de 0.0051 mg/L se removió un 49.02 % alcanzado a una concentración final de 0.0026 mg/L en los tratamientos T3, T4, T5, T6, T7, T8, T12, T13, por otro lado, para Fe, a una concentración inicial de 0.67 mg/L, se logró remover un 97.61 %, disminuyendo la concentración final a 0.016 mg/L, no obstante, en el tratamiento T7, se alcanzó una remoción de 94.80 % disminuyendo la concentración final a 0.035 mg/L de Fe, sin embargo, para Cd a una concentración inicial de 0.00011 mg/L, no se evidenció una disminución en los tratamientos T3, T4, T5, T6, T7, T12, y T13 lo cual podría atribuirse a que los resultados están por debajo del límite de detección del método. Se concluye que el quitosano demostró ser un adsorbente viable para la remoción de plomo y hierro, alcanzando eficiencias significativas en la remoción de hierro, sin embargo, no se logró una remoción de cadmio en este estudio.

Palabras clave: Aguas superficiales, adsorción, remoción, metales pesados, quitosano.

ABSTRACT

Water pollution is a global problem that threatens ecosystems, human health, agriculture and the economy, therefore, preserving this resource is crucial because it is an essential component of the environment for the sustenance of life, in this context the present research aimed to evaluate the removal of Pb, Fe and Cd from water from the Crucero river using chitosan as an adsorbent, For this purpose, chitosan was obtained by the chemical method using NaOH, HCl and H₂O₂ and then characterized with fourier transform infrared spectrophotometry, then water samples were taken to determine the concentration levels of metals by inductively coupled plasma optical emission spectrometry. The results indicated that the chitosan obtained had a deacetylation degree of 81.52 % and a yield of 74.24 %, presenting a slightly yellow white color. For Pb, at an initial concentration of 0.0051 mg/L, 49.02 % was removed, reaching a final concentration of 0.0026 mg/L in treatments T3, T4, T5, T6, T7, T8, T12, T13; on the other hand, for Fe, at an initial concentration of 0.67 mg/L, it was possible to remove 97.61 %, decreasing the final concentration to 0.016 mg/L, however, in treatment T7, a removal of 94.80 % was achieved decreasing the final concentration to 0.035 mg/L of Fe, however, for Cd at an initial concentration of 0.00011 mg/L, no decrease was evidenced in treatments T3, T4, T5, T6, T7, T12, and T13, which could be attributed to the results being below the detection limit of the method. It is concluded that chitosan proved to be a viable adsorbent for the removal of lead and iron, reaching significant efficiencies in iron removal; however, cadmium removal was not achieved in this study.

Keywords: Surface water, adsorption, removal, heavy metals, chitosan.

INTRODUCCIÓN

Las aguas superficiales, en particular la calidad del agua de los ríos, se ve afectada por diversos factores, entre ellos la actividad minera, el desarrollo urbano, las actividades agrícolas y otras actividades humanas han contribuido de manera negativa en el deterioro de la calidad del agua (Hamsina et al., 2021) y se proyecta que para el año 2025, alrededor de dos tercios de la población global enfrentarán situaciones de escasez de agua y que algunos países experimentarán un elevado estrés hídrico (Talukdar & Hasnine, 2014). Un informe de las Naciones Unidas revela que, en todo el mundo, 2 millones de toneladas de residuos industriales se vierten diariamente en los cursos de agua del planeta y que el 80 % de las aguas residuales generadas en los países en desarrollo se liberan sin ningún tratamiento en las aguas superficiales (ONU, 2023).

Las aguas vertidas contienen una variedad de metales, por ejemplo, cadmio, plomo, hierro, entre otros (Rahman et al., 2023), en consecuencia, estos metales pueden ingresar al cuerpo humano por varias vías, como la piel, la respiración y a través de la cadena alimentaria (Lan et al., 2022), por ello, una vez dentro, estos contaminantes se bioacumulan en diferentes órganos, como los músculos, el cerebro, los huesos, el hígado y los riñones, donde pueden interferir con funciones biológicas esenciales, causando trastornos graves, entre estos trastornos se encuentran la insuficiencia renal, la anemia, la encefalopatía, la hepatitis, el síndrome nefrítico y en casos extremos, pueden resultar mortales (Zia et al., 2020).

Con el aumento de la contaminación y la escasez de fuentes de agua dulce, las tecnologías para el tratamiento de agua son cruciales (Kolya & Kang, 2023), por lo tanto, diversas tecnologías se han aplicado, como la oxidación (Chai et al., 2023), coagulación – floculación, intercambio iónico, separación por membranas y adsorción (Bertoni et al., 2018; He et al., 2023). Entre estas técnicas la adsorción presenta ventajas, como su bajo costo, eficacia y simplicidad (Bertoni et al., 2018; Humelnicu et al., 2020). La adsorción emplea una variedad de materiales adsorbentes, como zeolitas, arcillas modificadas (Khalid et al., 2023), así como materiales naturales que son respetuosos con el medio ambiente (Benettayeb et al., 2023), en particular el quitosano es uno de los adsorbentes que se prestan atención debido a sus propiedades como los grupos hidroxilo (-OH) y amina (-NH₂), los cuales actúan como sitios de adsorción activa (Bağ et al., 2022; Popa et al., 2021).

En el Perú, la demanda de agua supera su disponibilidad debido a la distribución desigual del recurso, el rápido crecimiento poblacional y la alta concentración de contaminantes en las aguas superficiales, lo que provoca escasez hídrica, por ello, es crucial buscar alternativas para aliviar la presión sobre las fuentes naturales y mejorar la calidad de agua mediante el tratamiento de aguas (Paucar & Iturregui, 2020). Además, las fuentes de agua en las altas montañas del Perú, están cerca de explotaciones mineras, lo que las expone a metales pesados, contaminando la producción agropecuaria y afectando a la población (Larios et al., 2016).

En la región Puno, la contaminación se ha intensificado debido al crecimiento poblacional y la gestión deficiente de las aguas residuales, que están siendo vertidas en diversos cuerpos de aguas superficiales, lo cual ha impactado a la biodiversidad, el medio ambiente y la salud humana (Tumi et al., 2021). La minería artesanal que se lleva en los campamentos cercanos a la cabecera de la cuenca Ramis, principal afluente del lago Titicaca, ha contribuido al deterioro ambiental y la alteración de la flora y fauna ribereña (Salas et al., 2020). El río Crucero, ubicado en la cabecera de la cuenca Ramis, muestra concentraciones de metales que exceden los Estándares de Calidad Ambiental para el agua (ECA) (Flores, 2018).

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la remoción de plomo, hierro y cadmio de las aguas procedentes del río crucero empleando quitosano como adsorbente, proponiendo una alternativa de solución. En la presente investigación se dio a conocer la obtención de quitosano a partir de los caparazones de crustáceos mediante el método químico y se determinó su grado de desacetilación mediante la observación de sus grupos funcionales; se determinaron los efectos de las dosis, tiempo y pH en el proceso de remoción. Además, se determinaron los niveles de concentración de Pb, Fe y Cd después del tratamiento con quitosano de las aguas procedentes del río Crucero.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La contaminación del agua se ha convertido en un problema global que amenaza los ecosistemas y la salud humana (Aljar et al., 2023), por lo tanto, preservar este recurso es crucial, ya que desempeña un papel importante en diversos sectores. Sin embargo en las últimas décadas, la rápida industrialización, las actividades agrícolas y el rápido crecimiento poblacional han contribuido negativamente (Karimi et al., 2022; Vakili et al., 2019). Cuando la presencia de contaminantes, ya sean de origen natural o antrópico, supera los niveles establecidos, estos elementos se consideran contaminantes, que afecta directamente la ecología y, por ende, la vida, desvirtuando el carácter de inocuidad del agua, necesario para su consumo humano y uso en diferentes actividades (Gallardo et al., 2015). De hecho la calidad de agua se ve afectada por el incremento de toxicidad y persistencia de contaminantes en el medio acuático que afecta directamente, lo cual llama la atención a las sociedades científicas por los efectos negativos tanto en los ecosistemas acuáticos como en la salud humana (Yeh et al., 2020).

A lo largo de los años, las aguas superficiales, han sido contaminados por metales tóxicos, particularmente aquellos derivados de la actividad minera (Brandes et al., 2021), lo cual representa una amenaza tanto para la salud humana como para la supervivencia de los organismos acuáticos, como los peces (Mounes et al., 2021; Rathinam et al., 2018), liberar estos metales tóxicos sin ser tratados a los ríos provoca su persistencia y la no biodegradación (Bertoni et al., 2018; Khalid et al., 2023; Rashid et al., 2019), ya que poseen una densidad relativamente alta, venenosos y causan efectos mutagénicos incluso a bajas concentraciones (Alaswad et al., 2020). Los metales como el plomo, el cadmio y el cobre son considerados muy tóxicos, en diversos países se han observado niveles de contaminación superiores a 10 mg/L. Sin embargo, a niveles tan bajos como 0.5 mg/L causan una gran aflicción tanto en el medio ambiente y en los seres vivos (Brandes et al., 2021; Rahaman et al., 2021). El plomo, por ejemplo, se acumula en plantas y animales, y pueden ingresar al cuerpo a través de varias vías, como la piel y mediante el consumo de alimentos contaminados (Khanniri et al., 2021), por otro lado, el cadmio principalmente de uso industrial, resultan nocivos para la salud humana (Zhang et al., 2021) y el exceso de hierro en los animales provoca una reducción de crecimiento y la mortalidad (Miranda, 2019).

En el Perú la actividad minera es un sector de gran impacto económico, pues representa un 50 % de las exportaciones anuales, posicionándose como el mayor productor de oro, zinc, plomo, cobre, estaño y otros en el mercado latinoamericano, a pesar de que la minería tiene beneficios económicos, ocasiona problemas ambientales (Matamet & Bonotto, 2019). En la región de Puno, la extracción artesanal de oro se realiza en los campamentos mineros de la Rinconada y ubicadas en la cabecera de la cuenca Ramis (Gammons et al., 2006), en el proceso de extracción están asociados metales como el plomo y zinc (Salas et al., 2020), estos metales son liberados sin ningún tratamiento, lo cual perjudica las funciones hidrológicas de la cuenca (Cornejo & Pacheco, 2009). Las unidades mineras están ubicadas cerca de la zona donde se localiza el río Crucero, que forma parte de la cabecera de la cuenca Ramis que es el afluente más grande del Lago Titicaca (Salas et al., 2020).

En el río Crucero se han encontrado concentraciones elevadas de cadmio 0.00429 mg/L y hierro 7.96 mg/L que sobrepasan de los Estándares de Calidad Ambiental de agua (Arteaga, 2018). Además las aguas residuales son vertidas directamente al río Crucero lo cual influye negativamente en la calidad del agua (Sucapuca, 2022). Ante los problemas identificados, la presente investigación proporciona una alternativa de solución, que tuvo como objetivo evaluar la remoción de plomo, hierro y cadmio de las aguas procedentes del río Crucero empleando quitosano como adsorbente, para lo cual se dieron a conocer la obtención del quitosano a partir de los caparazones de crustáceos y se determinó el grado de desacetilación mediante la observación de sus grupos funcionales del quitosano obtenido; se determinaron los efectos de los factores como, la dosis, tiempo de contacto y variación de pH en el proceso de adsorción. Además, se determinó el nivel de concentración plomo, hierro y cadmio después del tratamiento con quitosano de las aguas procedentes del río Crucero.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿Cuánto es la remoción de plomo, hierro y cadmio de las aguas procedentes del río Crucero empleando quitosano como adsorbente?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo se realiza el proceso de obtención del quitosano a partir de los caparazones de crustáceos empleando el método químico, y cómo se puede determinar su grado de desacetilación observando sus grupos funcionales?
- ¿Cómo afectan los factores de la dosis de quitosano, tiempo de contacto y variación de pH en la remoción de Pb, Fe y Cd de las aguas procedentes del río Crucero?
- ¿Cuánto es el nivel de concentración de Pb, Fe y Cd después del tratamiento con quitosano de las aguas procedentes del río Crucero?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar la remoción de plomo, hierro y cadmio de las aguas procedentes del río Crucero empleando quitosano como adsorbente.

1.3.2. Objetivos específicos

- Obtener quitosano a partir de los caparazones de crustáceos mediante el método químico y determinar su grado de desacetilación mediante la observación de sus grupos funcionales.
- Determinar el efecto de la dosis de quitosano, tiempo de contacto y variación de pH en el proceso de remoción Pb, Fe y Cd de las aguas procedentes del río Crucero.
- Determinar el nivel de concentración de Pb, Fe y Cd antes y después del tratamiento con quitosano de las aguas procedentes del río Crucero.

1.4. Hipótesis de la investigación

1.4.1. Hipótesis general

- Debido a la alta capacidad de adsorción del quitosano es capaz de remover el plomo, hierro y cadmio de las aguas procedentes del río Crucero.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Se plantea que mediante el método químico la obtención de quitosano a partir de los caparazones de crustáceos, se obtendrá un quitosano con un grado de desacetilación adecuado, lo que lo hará eficaz como adsorbente.
- Debido a los efectos de la dosis de quitosano, tiempo de contacto y variación de pH, se espera una mejora en el proceso de remoción de Pb, Fe y Cd de las aguas procedentes del río Crucero.
- Debido a la capacidad de adsorción del quitosano reduce el nivel de concentración de Pb, Fe y Cd después del tratamiento con quitosano de las aguas procedentes del río Crucero.

1.5. Justificación de la investigación

En el ámbito ambiental, el río crucero está siendo contaminada por la actividad minera, el desarrollo urbano y el vertido de las aguas residuales, representando uno de los problemas ambientales en la zona y está afectando a la agricultura, ganadería y a la población cercana al río (Arteaga, 2018; Matamet & Bonotto, 2019), por lo tanto, este desafío ambiental requiere la reducción de las concentraciones de metales mediante tecnologías sostenibles, en ese contexto, la adsorción con quitosano, un material biodegradable y no tóxico, puede ofrecer una solución efectiva y ecológica, mitigando los impactos negativos en el ecosistema y promoviendo la restauración ambiental del río Crucero.

En el ámbito económico, los proyectos mineros en Perú aumentan el grado de contaminación en los ríos debido a los relaves generados en la extracción metalúrgica de minerales (Quispe et al., 2019). Las tecnologías convencionales son costosas y a veces poco eficaces, en cambio la adsorción es económicamente viable y de fácil operación (Rahaman et al., 2021). El uso de quitosano ofrece una solución más económica debido a que se basa en una materia prima renovable.

En el ámbito social, la contaminación del río Crucero afecta directamente a las comunidades locales que dependen de este recurso, la exposición a estos metales en el agua representa un riesgo significativo para la salud pública, por lo tanto, el uso del quitosano mejorará la calidad del agua, reduciendo los riesgos de salud para la población y proporcionando agua segura para el riego de vegetales y bebida de animales. Esto, a su vez, tendrá un impacto positivo en la agricultura y la ganadería, mejorando la calidad de vida de las comunidades cercanas al río. Además, esta investigación proporciona información valiosa para futuras gestiones del agua y proyectos de tratamiento en la región, contribuyendo así a la salud y el bienestar de la población.

En el ámbito científico, a lo largo de los años, el enfoque en el río Crucero ha estado principalmente en el monitoreo de aguas, sin propuestas concretas para dar soluciones, este estudio se centra en ofrecer una solución innovadora mediante el uso de quitosano como adsorbente en futuras plantas de tratamiento de agua, de esta manera, nuestra investigación no solo llena este vacío en la implementación práctica, sino que también establece una base científica para posibles intervenciones futuras en la gestión de la contaminación por metales presentes en el río Crucero.

La modificación del primer objetivo de la tesis para incluir la determinación del grado de desacetilación del quitosano responde a la necesidad de una caracterización del quitosano obtenido, inicialmente, el objetivo se centraba en la obtención de quitosano mediante un método químico, sin embargo, al integrar la determinación del grado de desacetilación mediante la observación de los grupos funcionales, se asegura que el quitosano cumpla con las características deseadas. El grado de desacetilación es un parámetro importante en las propiedades del quitosano, incluyendo su capacidad de adsorción, los grupos funcionales, como los grupos hidroxilo (-OH) y amina (-NH₂), juegan un papel esencial en estas propiedades y la caracterización mediante espectroscopía infrarroja de transformadas de Fourier (FTIR-ATR) permite una evaluación detallada de estos grupos funcionales, proporcionando una medida precisa del grado de desacetilación.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Bakar et al. (2023), investigaron el comportamiento de adsorción de microesferas de quitosano en la remoción de metales Pb, Zn y Fe de las aguas grises. Se evaluaron los efectos de la dosis, pH, tiempo de contacto, temperatura y concentración inicial del metal. Los resultados del porcentaje de remoción a un pH 7, a una dosis de 2 g/L, fue para Zn un 55.86 %, para Pb 93.33 % y Fe un 61.25 % respectivamente. La influencia del tiempo de contacto se estudió de 10 min a 30 h y el efecto de la temperatura se evaluó a 25 ° C. En conclusión, los hallazgos de este estudio indican que el quitosano puede ser una opción viable y eficaz para la remoción de metales.

Ridwanto et al. (2022), obtuvieron quitosano a partir de los caparazones de crustáceos a través de un proceso de aislamiento en varias etapas, que incluyó la desmineralización, la desproteínización, la despigmentación, la desacetilación y, finalmente, la caracterización del quitosano aislado. La caracterización incluye la determinación del grado de desacetilación (DD), el porcentaje de rendimiento y el análisis de absorción del grupo funcional mediante espectrofotometría infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR). El quitosano resultante presentó un grado de desacetilación del 82.78 % y un rendimiento del 75.94 %. En conclusión, estos valores indican que los parámetros fisicoquímicos están dentro del rango adecuado, lo que asegura la correcta obtención del quitosano.

Mounes et al. (2021), investigaron el efecto del quitosano para la eliminación Fe, Zn, Cu, Cd y Pb a concentraciones de 1 ppm a una dosis de 5, 7.5 y 10 g/L. Se comprobó la eficiencia de remoción en diferentes tiempos (30 min, 1, 3, 6, 12, 18 y 24 h). Los resultados mostraron que la eficiencia de remoción aumentó con el tiempo de contacto. Los valores más bajos de eliminación para Fe, Zn, Cu, Cd y Pb fueron 27.70 %, 48.40 %, 68.40 %, 22.20 % y 88.30 %, respectivamente, después de 30 min, mientras que los valores más altos fueron 95.20 %, 91.90 %, 89.10 %, 94.10 % y 99.90 % respectivamente después, de 24 h. En conclusión, el quitosano demostró ser un adsorbente eficaz para la remoción de metales.

Younis et al. (2019), evaluaron la eficiencia de remoción de Zn, Cd, Pb y Cu de soluciones de aguas sintéticas con diferentes concentraciones de 10 a 30 mg/L, utilizando quitosano con un grado de desacetilación (DD) de 82.00 %, caracterizado mediante el FITR y presentó un color blanco amarillento, el porcentaje máximo de eliminación de metales fue a una concentración de 10 y 20 mg/L fue en el orden de Cd > Pb > Cu > Zn con un promedio de porcentaje de remoción de 97.50 %, 95.00 %, 94.00 % y 93.50 %, mientras que en la concentración de 30 mg/L la eficiencia de eliminación del quitosano fue en orden de Cd > Cu > Pb > Zn con 97.00 %, 91.00 %, 87.00 % y 85.50 %. La influencia del pH se presenta y la máxima captación los metales se obtuvo a pH 4 y a temperatura ambiente.

Ghannam et al. (2019), utilizaron quitosano con un grado de desacetilación (DD) de 87.00 % y carbón activado como materiales de bajo costo para la eliminación de metales. Los adsorbentes se caracterizaron mediante FITR. La efectividad de remoción, tanto como el quitosano como el carbón activado adsorbieron Fe, Cu, Zn, Pb y Mn de soluciones acuosas en muestras de agua recogidas del río Nilo, bajo los efectos de la dosis, pH, tiempo, temperatura y concentración inicial. Los resultados mostraron una excelente eliminación, siguió el orden Fe > Pb > Cu > Zn > Mn, con porcentajes de 93.26 %, 92.82 %, 86.20 %, 75.54 % y 57.67 %. En cambio, para el carbón activado, el orden de eliminación fue Mn > Cu > Fe > Pb > Zn.

Mohanasrinivasan et al. (2014), prepararon quitosano a partir de los residuos de crustáceos, obteniendo un grado de desacetilación (DD) del 74.82 %, caracterizado mediante FITR, emplearon el quitosano como adsorbente en la eficiencia de remoción de metales como Cu, Zn, Fe y Cr de un efluente industrial. Los resultados indicaron que el quitosano removió los metales en el siguiente orden Cu > Zn > Fe > Cr, con eficiencias de remoción del 98.97 %, 86.15 %, 65.20 % y 37.51 %, respectivamente. Estos resultados sugieren que el quitosano tiene un gran potencial para la remoción de ciertos metales.

2.2.2. Antecedentes nacionales

Cruz (2023), aprovechó los residuos de exoesqueletos recolectados para el tratamiento de aguas. Se extrajo quitina al 75.00 % mediante procesos de desproteización, desmineralización y purificación. En el estudio, se analizaron Fe, Mo, Sb, Ti, V, Zn, Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Tl, Ag, Al, Cr y Mn. Los resultados mostraron eficiencias de eliminación en un rango de Ag (39.50 - 62.00 %), Al (42.20 - 46.10 %), Cd (94.10 %), Co (74.40 %), Cr (60.50 - 74.40 %), Cu (97.60 %), Fe (93.40 - 96.20 %), Mn (49.50 - 63.90 %), Mo (90.70 - 91.30 %), Ni (93.40 %), Pb (90.00 %), Sb (91.40 - 92.60 %), Ti (93.80 %), Tl (98.30 %) y V (93.00 - 93.20 %). Demostrando la eficiencia de la quitina en la remoción de metales.

Gutiérrez (2022), determinó la remoción de metales Al, As, Cd, Cu, Fe, Pb y Zn del río Moche empleando quitosano. La investigación se centró en analizar el efecto de diferentes dosis de adsorbente (2.5, 5, 10 g) y en distintos tiempos de contacto (30, 60 y 90 min). Los resultados demostraron que la dosis de quitosano y tiempo tienen un efecto significativo en el porcentaje máxima de remoción de metales Al, As, Cd, Cu, Fe, Pb y Zn fueron, 95.28 %, 94.05 %, 96.6 %, 98.3 %, 94.06 %, 95.49 % y 93.36 % respectivamente. Estos hallazgos demuestran que el quitosano es eficaz para la remoción de varios metales.

Choque y Oviedo, (2020), estudiaron los adsorbentes de quitina y quitosano para la remoción de las aguas con contenido de metales como el Cu, Zn, Al y Mn. La tecnología utilizada es la bioadsorción. Se estudiaron en función a factores como el pH, la temperatura, el tiempo de contacto y la concentración inicial de iones metálicos. Los resultados han demostrado que el quitosano presenta mayor capacidad de adsorción de metales como el Cu, Zn, Al y Mn, con porcentajes de remoción de 99.94 %, 99.88 %, 99.74 % y 79.29 % respectivamente. Por lo tanto, se puede concluir que el quitosano adsorbe los metales.

2.2.3. Antecedentes locales

Monroy (2019), investigó la eficacia del adsorbente arcilla chacko (hidralgirita) para la remoción de plomo (Pb) en aguas residuales de mina. Utilizó una concentración de 1 g/L de adsorbente chacko a un pH de 5.5 y agitación durante 70 min a 30 revoluciones por min. Los resultados mostraron que se logró una remoción de plomo del 62.50 % mediante adsorción. Además, se obtuvo una notable eliminación de turbiedad del 89.13 % en unidades de turbidez nefelométrica.

Aguirre (2017), utilizó como adsorbente el carbón activado elaborado a partir de semillas de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) para la capacidad de adsorción en la remoción de plomo (Pb). Se llevaron a cabo ensayos de adsorción utilizando 2 g de carbón activado en contacto con soluciones acuosas de plomo, logrando una remoción del 98.70 % de Pb en condiciones de pH ácido y tiempo de agitación de 75 a 120 min.

Ttito (2008), utilizó quitina, un biopolímero derivado de los caparazones de moluscos, para la remoción de metales pesados de Pb y Cd del agua del río Ramis. En este estudio, se determinó que la adsorción de plomo alcanza un 55.00 % a un pH de 2.87 en 13 min, a una dosis constante de 4 g, mientras que, para el cadmio, la adsorción es del 47.00 % a un pH de 5 en solo 2 min. Estos resultados subrayan la eficacia del uso de quitina como una técnica de remoción selectiva en tecnologías limpias no convencionales.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Agua

El agua es un recurso esencial y es uno de nuestros recursos más importantes (Bhatt et al., 2023; He et al., 2023; Rahman et al., 2023). El agua es un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan, y la seguridad de la Nación (MINAM, 2012).

2.2.2. Aguas superficiales

El agua dulce, un recurso esencial y limitado necesario para mantener todas las formas de vida en nuestro planeta (Rajamani & Rajendrakumar, 2019), comprenden cuerpos de agua como ríos, lagos, embalses, estanques y arroyos, los cuales presentan características y comportamientos únicos y están expuestos tanto a la superficie terrestre subyacente como a la atmósfera (ALSamman & Sánchez, 2021).

Además, los seres humanos, las plantas y los animales necesitan agua para su sobrevivencia, es así que se utiliza en la agricultura, la industria, saneamiento, la construcción, el transporte, etc. (Chelu et al., 2023) y están más expuestas a la contaminación (Ghorab, 2018).

2.2.3. Calidad de agua

Es el estado físico, químico y biológico de los cuerpos de agua, los criterios de la calidad varían según el uso designado, que incluye el suministro de agua pública, el hábitat de peces, vida silvestre, recreación, agricultura y la industria. Por ejemplo, los criterios de la calidad del agua utilizados para el consumo deben ser superiores a los que son utilizados para la agricultura y la industria (Giri, 2021), es decir para evaluar la calidad de agua se debe comparar los parámetros fisicoquímicos con las directrices de la calidad de agua establecidas (Regmi et al., 2017).

2.2.4. Importancia del agua

El agua es de vital importancia para las comunidades locales, ya que no solo brinda un suministro directo para hogares y agricultura, sino que también desempeña un papel importante en la preservación de ecosistemas saludables (Yang et al., 2020). Además, las aguas superficiales son importantes para la sociedad, ya que proveen agua dulce para satisfacer las necesidades humanas y abastecer a diferentes industrias (Yotova et al., 2021).

2.2.5. Fuentes de contaminación en las aguas superficiales

a. Actividad minera

La industria minera vierte en grandes cantidades residuos tóxicos sin ser tratados y estos causan un deterioro ambiental (Olayinka et al., 2016). En los últimos años se ha elevado la extensión de los metales en las aguas naturales a través de las actividades industriales como la minería (Ali et al., 2020; Peralta et al., 2019).

b. Actividad antropogénica

La contaminación antropogénica se está convirtiendo en un problema creciente (Weißpflog et al., 2020), porque los metales de fuentes antrópicas son más móviles y biodisponibles que los metales en su forma mineral natural y, por lo tanto, representan una mayor amenaza para la salud pública y el medio ambiente (Benson et al., 2018).

c. Actividad natural

La contaminación de las aguas superficiales con metales pesados pueden producirse de origen natural, como la meteorización de las rocas y la precipitación atmosférica directa (Kumar et al., 2019).

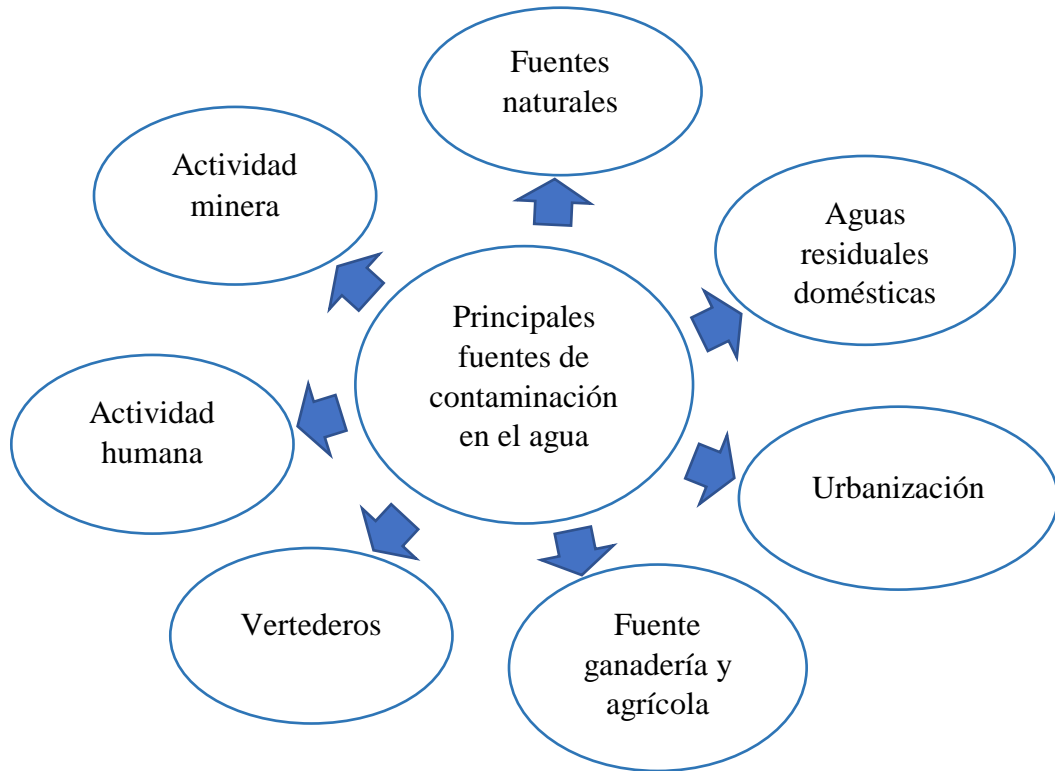


Figura 1. Principales fuentes y vías comunes de contaminación del agua

Fuente: Chelu et al. (2023)

2.2.6. Acumulación de metales en las aguas superficiales

a. Plomo (Pb)

El plomo es considerado como uno de los metales más peligrosos (Fu & Xi, 2020). Aunque el plomo se encuentra en la corteza terrestre de la tierra como un metal gris azulado (K. Rehman et al., 2018), la mayoría de las concentraciones en el medio ambiente se deben a las actividades humanas (Kadawathagedara et al., 2018). Se ha demostrado que, en concentraciones no deseadas, el plomo puede afectar a las plantas, efectos morfológicos, fisiológicos y bioquímicos (A. U. Rehman et al., 2020). Además, este metal existe en tres estados de oxidación (0, +2, +4) en los que son comunes y considerados como orgánicos e inorgánicos (Abhinaya et al., 2021).

Utilizado en diversas aplicaciones industriales como pinturas, soldaduras, baterías y tuberías de agua y las principales causas de contaminación incluyen la minería, fundición de metales, antiguas pinturas y tuberías de plomo que pueden ingresar al cuerpo humano por inhalación, ingestión de alimentos o aguas contaminadas, teniendo efectos adversos en la salud como problemas neurológicos en niños, hipertensión y enfermedades renales en adultos (Usman et al., 2022).

b. Hierro (Fe)

El hierro es el elemento más común en la tierra y se encuentra en forma de óxidos, sulfuros, carbonatos y silicatos (Yilmaz et al., 2017). Desempeña un papel importante en varias reacciones bioquímicas y se considera un elemento vital para la supervivencia. su presencia en el agua se debe a diversas fuentes naturales y actividades antropogénicas, y esto puede tener efecto en la calidad del agua, en ciertas concentraciones, el hierro puede resultar perjudicial tanto en el ecosistema acuático como en la salud pública (Boultif et al., 2023; Kaveeshwar et al., 2018).

Es un metal esencial con propiedades que lo hacen fundamental en numerosas aplicaciones industriales, destacándose por su amplia distribución en la corteza terrestre y su capacidad de formar aleaciones como el acero, su ciclo natural incluye procesos geológicos y biológicos que regulan su presencia en el medio ambiente, aunque su contaminación puede ocurrir en áreas industriales (Boultif et al., 2023).

c. Cadmio (Cd)

El cadmio forma compuestos orgánicos complejos y sales solubles, se utiliza en industrias como la galvanoplastia y como estabilizador en plásticos de PVC. En la naturaleza, se encuentra en complejos inorgánicos y orgánicos, y es altamente móvil en el medio ambiente (Abhinaya et al., 2021; Gupta et al., 2021), se vierte principalmente de los efluentes industriales, operaciones mineras e incineración de residuos (Omer et al., 2022). Además se transporta en vegetales a través del riego (Huang et al., 2021).

Sus impactos negativos en la salud humana incluyen daños severos en riñones, huesos y sistemas respiratorios, además de su impacto negativo en la biodiversidad acuática y terrestre, además, el cadmio puede ser transportado en arrozales, frutas y verduras a través del riego (Huang et al., 2021).

2.2.7. Tecnología de adsorción

Es un fenómeno que involucra principalmente la superficie del material adsorbente en el que se transfiere la masa del adsorbato (gas o líquido) a la superficie del adsorbente (líquido o sólido) formando así una película atómica o molecular en su superficie (Abhinaya et al., 2021; Al-Saydeh et al., 2017). Dependiendo del tipo de atracción entre el adsorbato y el adsorbente, la adsorción se divide en dos tipos: Adsorción física y química, también conocida como fisisorción y quimisorción (Worch, 2012). El material sólido que forma la superficie para la adsorción se llama adsorbente, y las especies adsorbidas se denominan adsorbato. Al cambiar las propiedades de la fase líquida (por ejemplo, concentración, temperatura y pH), las partículas adsorbidas pueden liberarse de la superficie y transferirse de nuevo a la fase líquida. Este proceso inverso se denomina desorción (Worch, 2012), tal como se muestra en la siguiente figura 2.

La tecnología de adsorción es considerada como una de las técnicas más efectivas para la remoción de metales y es ampliamente utilizada para el tratamiento de agua debido a su abundante biodisponibilidad, alta eficiencia, bajo costo, factible, conveniente, respetuoso con el medio ambiente y favorables por sus propiedades físicas, químicas y superficiales (Pandey, 2021; Rahaman et al., 2021; Rathinam et al., 2018; Yan et al., 2018). Depende de la interacción de los grupos funcionales del quitosano con los metales, lo que influye en la eficiencia, capacidad, selectividad y reutilización (Afifah et al., 2023).

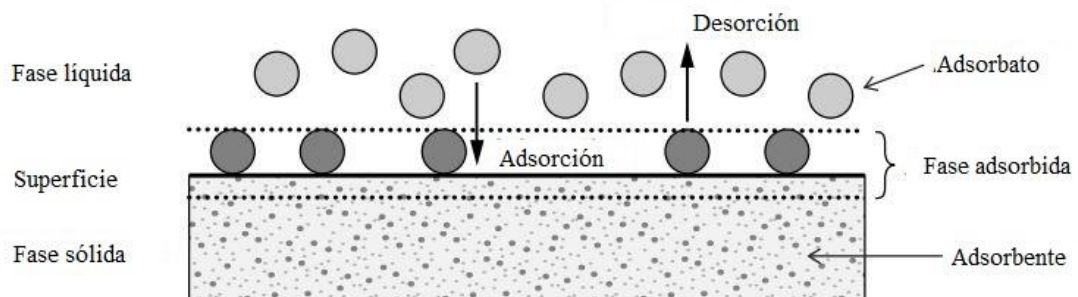


Figura 2. Proceso de la tecnología de adsorción

Fuente: Worch (2012)

Adsorbato: La sustancia que se concentra en la superficie se llama adsorbato (Singh et al., 2018).

Adsorbente: El material sobre cuya superficie tiene lugar la adsorción se llama adsorbente (Singh et al., 2018). La cantidad de metal que es adsorbida por el adsorbente se calcula utilizando la siguiente ecuación 1 (Hussain et al., 2017; Rahaman et al., 2021).

$$\%E = \frac{(C_0 - C_f)}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

E : Porcentaje de remoción (%)

C_0 : Concentración inicial (mg/L)

C_f : Concentración final (mg/L)

a. Tipos de adsorción

- **Adsorción física**

También conocida como fisisorción, está causada por las fuerzas de Van der Waals (interacciones dipolo-dipolo, fuerzas de dispersión, fuerzas de inducción), que son interacciones relativamente débiles (Worch, 2012).

- **Adsorción química**

También conocida como quimisorción, se basa en reacciones químicas entre el adsorbato y los sitios de la superficie, por lo que las energías de interacción son del orden de magnitud de entalpías de reacción (Worch, 2012) o el fuerte enlace covalente (Abhinaya et al., 2021).

b. Factores de adsorción en la fase líquida y sólida

- **Propiedades del adsorbente**

El quitosano tiene propiedades que son capaces adsorber los metales tóxicos de una solución acuosa, porque posee sitios de quelación y grupos amino (-NH₂) e hidroxilo (-OH) que atraen los metales a través del enlace de coordinación o el intercambio iónico (El-saied & Motawea, 2020; Mostafa & El-latif, 2020), es decir su alta área superficial y su capacidad de adsorción (Benettayeb et al., 2023; Kolya & Kang, 2023).

- **Dosis de adsorbente**

Efecto de la dosis de adsorbente es uno de los parámetros que influyen en el proceso de adsorción en una solución acuosa, el número de sitios de complejación disponible para la adsorción depende de la cantidad de adsorbente en el proceso de adsorción, el aumento de la adsorción con el aumento de la cantidad de adsorbente puede atribuirse a la disponibilidad de una mayor superficie y más sitios de adsorción (Yan et al., 2018).

- **pH**

El pH de una solución es un factor importante que regula la capacidad de los metales para unirse en soluciones acuosas, ya que influye en la solubilidad y la especiación de metales (Igberase & Osifo, 2015). La especiación del adsorbato depende del pH de la solución metálica, los sitios activos de un adsorbente pueden estar protonados o desprotonados, lo que, a su vez, afecta la adsorción de otros metales (Chattopadhyay & Inamdar, 2010). Además, el pH de la solución afecta a la carga superficial de los adsorbentes (Gokila et al., 2017).

- **Temperatura**

La temperatura afecta al aumento de la eficiencia de adsorción y de la solubilidad, es decir a temperaturas altas, la energía de unión entre el agua y la superficie se reduce, lo que mejora la eficacia de adsorción, por otro lado, el aumento de la temperatura aumenta la solubilidad de metales en el agua, lo que facilita que los metales se muevan de la fase sólida a líquida, sin embargo, a temperaturas muy altas, la fuerza motriz de adsorción puede disminuir, lo que resulta en una disminución de la capacidad de adsorción (Seyedmohammadi et al., 2016).

- **Tiempo de contacto**

Es un parámetro importante porque este factor determina la eficiencia de adsorción, el tiempo que tardan los metales y el adsorbente en alcanzar el equilibrio, es decir a medida que se incremente el tiempo de contacto incrementa la cantidad adsorbida del metal (Igberase & Osifo, 2015; Prakash et al., 2013). Por otro lado, la adsorción es rápida, debido a la adsorción de iones de la superficie exterior, cuando el proceso de adsorción es lento, debido que las moléculas entran en los poros (superficie exterior), también, la adsorción que se da de forma más rápida puede atribuirse a la presencia de un gran número de sitios de unión para la adsorción y la adsorción más lenta al final se deben a la saturación de los sitios de unión y al logro del equilibrio (Yan et al., 2018).

2.2.8. Diferentes adsorbentes (convencionales y no convencionales) para la eliminación de contaminantes del agua

Se enumeran varios materiales adsorbentes y sus características para el tratamiento de aguas.

Tabla 1

Adsorbentes convencionales y sus funciones

Adsorbentes convencionales	Funciones
Residuos de madera	Buen fenómeno superficial y eficiente para contaminantes a gran escala.
Residuos agrícolas	Rápido y eficiente.
Residuos de cáscaras de coco	Se emplea en forma granular y es ampliamente utilizado para el tratamiento de aguas.
Zeolitas	Altas capacidades de intercambio iónico y buenos adsorbentes para colorantes y disolventes orgánicos.
Resinas	Se utiliza para el proceso de tratamiento de agua.

Fuente: Omer et al. (2022)

Tabla 2

Adsorbentes no convencionales y sus funciones

Adsorbentes no convencionales	Funciones
Residuos sólidos de las industrias forestales	Barato y eficaz para muchos contaminantes, posible regeneración
Hidrogel	Eficaz para ciertos tipos de recuperación de metales.
Biomasa a partir de microorganismos	Eficaz y más selectivo que el adsorbente iónico.
Quitina/quitosano	Biodegradable, renovable, abundante, barato.

Fuente: Omer et al. (2022)

2.2.9. Quitosano

El quitosano es un polisacárido preparado a partir de la quitina, que es el segundo biopolímero más abundante después de la celulosa, está compuesto por unidades de D-glucosamina y N-acetil-D-glucosamina a través de enlaces β -(1→4), sus grupos amino (-NH₂) e hidroxilo (-OH) pueden actuar como sitios de quelación para los iones metálicos, que puede extraerse principalmente de los caparazones de crustáceos, como cangrejos, camarones y langostas, también de las escamas de pescado y hongos, y tienen excelentes propiedades biológicas, biocompatibilidad, biodegradabilidad, no toxicidad y bajo costo (Doshi et al., 2018; Nerdy et al., 2022; Nguyen & Bui, 2021; Nishad et al., 2023; Novikov et al., 2023). Además, tiene un gran valor económico debido a sus excelentes propiedades químicas, biológicas y se aplica en áreas de biomédicas, agricultura e industriales (Ilyas et al., 2021; Morin-Crini et al., 2019). En la figura 3 se aprecia el procedimiento de extracción del quitosano a partir de diferentes materias primas.

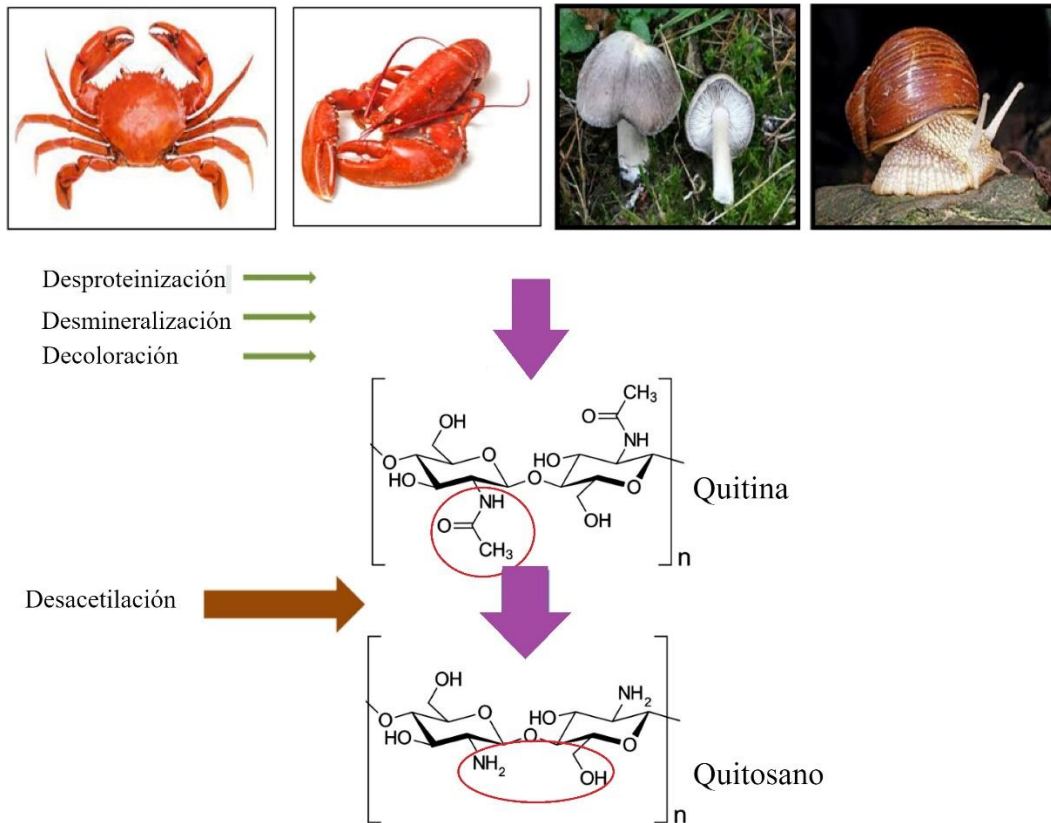


Figura 3. Procedimiento de la obtención de quitosano

Fuente: Haripriyan et al. (2022); Benettayeb et al. (2023)

a. Grupos funcionales del quitosano

Los grupos amino (-NH₂) del quitosano son esenciales debido a su capacidad para interactuar con iones metálicos y otras moléculas cargadas, facilitando procesos como la adsorción de metales en soluciones acuosas y la formación de complejos poliméricos. Por otro lado, los grupos hidroxilo (-OH) del quitosano, forman un enlace que puede participar en la formación de puentes de hidrógeno con otras moléculas polares como el agua, esta interacción facilita la solubilización de compuestos orgánicos en medios acuosos (El-saied & Motawea, 2020).

b. Fuentes comunes para la obtención de quitosano

Los caparazones de camarones y cangrejos son las fuentes de materia prima más utilizadas para la preparación del quitosano, hay otras especies como la langosta y la ostra que también se han utilizado (Kou et al., 2021). Además, se obtiene de micelios fúngicos y algas verdes (Weska et al., 2007).

El quitosano se deriva de la quitina, el contenido de quitina en los hongos varía entre el 19 - 42 %, en comparación con los caparazones de crustáceos, donde la quitina puede alcanzar hasta el 75.0 % (Hamed et al., 2016). No todos los caparazones de crustáceos son buenas fuentes de quitina, el cangrejo azul contiene 14.0 % de quitina, mientras que las conchas de ostras y almejas tienen un contenido de 4 - 6 % de quitina (Kaur & Dhillon, 2015). Asimismo, el contenido de quitina puede variar según proporción de minerales y proteínas dependiendo de la especie, la fase del ciclo reproductivo, el estado nutricional y la edad (Gonçalves et al., 2019).

c. Métodos comúnmente utilizados para la obtención de quitosano

- **Método químico**

Constan de cuatro etapas: La desproteínización, desmineralización, decoloración y desacetilación (Haripriyan et al., 2022). La gran mayoría de estudios utilizan para la desproteínización el hidróxido de sodio (NaOH), para la desmineralización el ácido clorhídrico (HCl) para eliminar el CaCO_3 y para la etapa de conversión de quitina a quitosano se emplea el NaOH a un 40-50 % de solución alcalina calentada (Da Silva Alves et al., 2021; Kou et al., 2021; Yadav et al., 2019). En los procesos de desproteínización y desmineralización, el producto de quitina resultante puede adquirir una apariencia coloreada debido a la presencia de carotenoides que se encuentran en el exoesqueleto de los crustáceos (Gamage et al., 2023). La astaxantina, el astatine y la cantaxantina son los principales componentes carotenoides, para la decoloración se utilizan solventes orgánicos como la acetona, peróxido de hidrógeno, el éter o etanol (Pellis et al., 2022).

- **Método biológico**

Implica el uso de bacterias, en lo cual se producen ácidos orgánicos y enzimas para la desmineralización y desproteínización de los exoesqueletos de los crustáceos (Arbia et al., 2013) y estas enzimas suelen extraerse de extractos de microbio o entrañas de peces (Younes et al., 2014). Las enzimas comúnmente utilizadas son lipasas y proteasas, estos son biocatalizadores efectivos (Begum et al., 2021).

d. Grado de desacetilación (DD)

El grado de desacetilación (DD) del quitosano es uno de los parámetros más importantes porque se determina la cantidad de grupos acetilo que se han eliminado de la estructura de la quitina (Ridwanto et al., 2022; Weska et al., 2007). Cuando el grado de desacetilación de la quitina es del 50 % o superior, se conoce como el quitosano (Sikorski et al., 2021). El grado de desacetilación se evalúan de diferentes maneras, mediante la Espectroscopia Infrarroja (IR), Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), la espectroscopia UV (Beil et al., 2012; Gamage et al., 2023). Además, Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), Difracción de rayos X en polvo (DRX) y Espectroscopia de Resonancia Magnética Nuclear de Protones (NMR), mediante la observación de los grupos funcionales del quitosano que son los grupos amino e hidroxilo (Sitohy et al., 2022).

e. El Espectrofotómetro Infrarrojo de Transformadas de Fourier - Reflectancia total atenuada (FTIR-ATR)

La espectrofotometría infrarroja por transformada de Fourier con reflectancia total atenuada (FTIR-ATR, por sus siglas en inglés Fourier Transform Infrared Spectroscopy - Attenuated Total Reflectance) es una técnica avanzada de espectroscopia infrarroja utilizada para el análisis de muestras sólidas, líquidas o superficiales (Wahab et al., 2023).

- **Reflectancia Total Atenuada (ATR)**

En FTIR-ATR, se utiliza un cristal especial con una superficie interna altamente reflectante, la muestra se pone en contacto directo con este cristal, lo que permite que la radiación infrarroja interactúe con la muestra a través del fenómeno de Reflectancia Total Atenuada y esto implica que la luz infrarroja se refleja varias veces dentro del cristal, a solo unos pocos micrómetros de la muestra, esta configuración mejora la sensibilidad y la resolución del espectro infrarrojo al minimizar la interferencia del entorno y al permitir el análisis de muestras pequeñas o heterogéneas (Alca & Wid, 2016).

- **Análisis de materiales**

FTIR-ATR se utiliza ampliamente en la caracterización de polímeros, películas delgadas, recubrimientos, superficies y materiales compuestos. Permite estudiar la composición química superficial y determinar la presencia de grupos funcionales específicos (Wahab et al., 2023).

- **Identificación de compuestos**

Esta técnica es valiosa en la identificación de productos químicos, control de calidad, estudios de materiales biológicos y farmacéuticos, entre otros campos. Es especialmente útil para muestras que no pueden ser analizadas por métodos de transmisión convencionales debido a su estado físico o tamaño (Olayinka et al., 2016).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Diseño de investigación

La investigación se basa en un enfoque cuantitativo con nivel explicativo, se emplea un diseño experimental en el que se manipularon las variables independientes (dosis de quitosano, tiempo de contacto y variación de pH); prospectivo, con datos obtenidos directamente de las unidades experimentales (fuente primaria); y longitudinal, ya que la variable en estudio se mide tanto antes como después del experimento.

3.2. Ámbito de estudio

El río Crucero tiene un área de 4,396 km² y está ubicado en el distrito de Crucero, provincia de Carabaya, departamento de Puno, Perú, a una altitud 4131 m.s.n.m, confluye con otros ríos pertenecientes a la Cuenca Ramis, cuya desembocadura se encuentra en el Lago Titicaca (Salas et al., 2020).

3.3. Ubicación del punto del muestreo

Tabla 3

Punto de muestreo del río Crucero

Código	Punto de muestreo	Zona	Este	Norte	Latitud	Longitud
PM1	Río Crucero/Aguas arriba del puente colgante/ Crucero/Carabaya/ Puno.	19L	388910	8411341	-14.367698	-70.030275

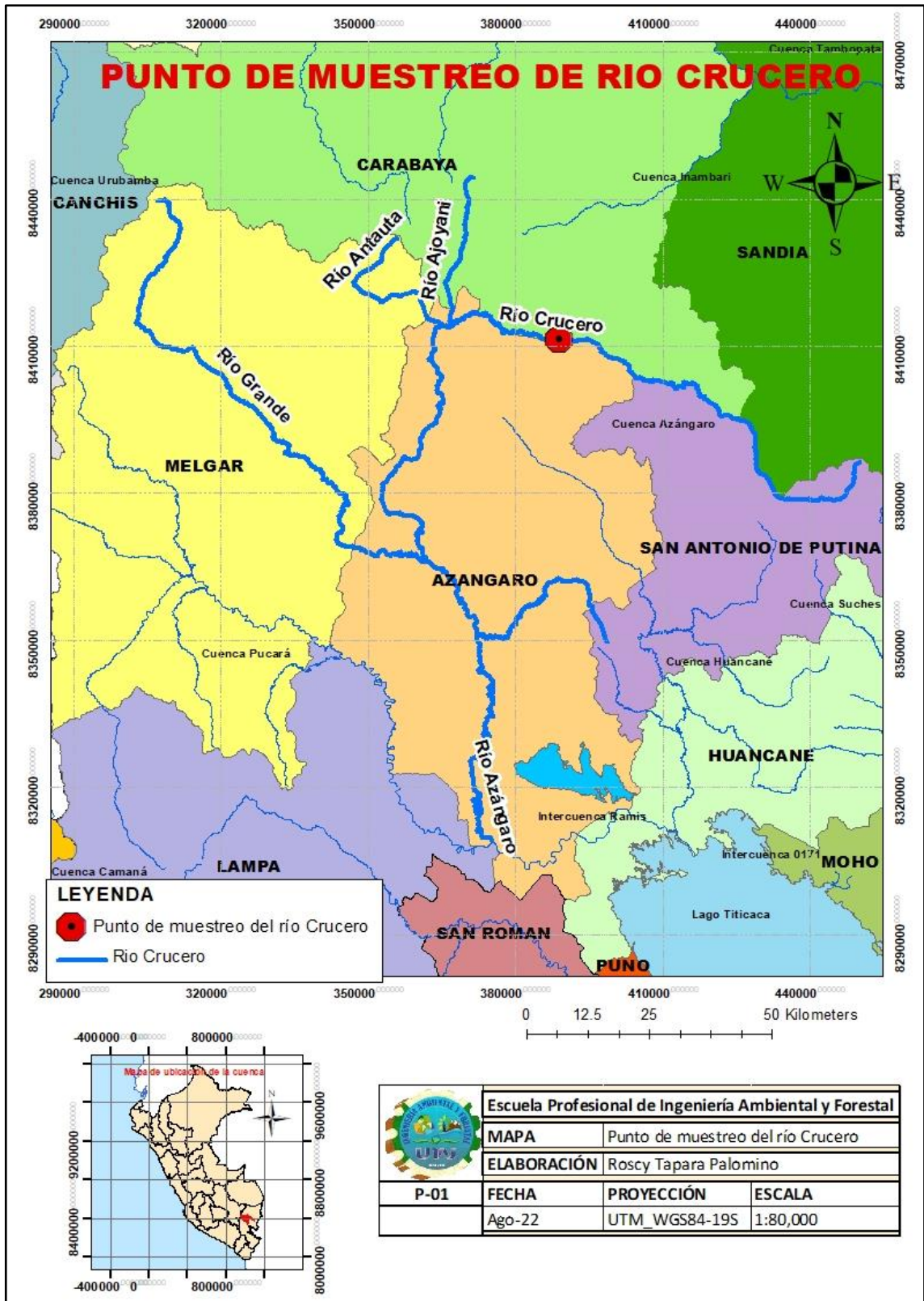


Figura 4. Mapa de ubicación del punto de muestreo del río Crucero

Fuente: ANA (2016)

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

El estudio abarcó las aguas procedentes del río Crucero, misma que ha sido analizada en el laboratorio donde se realizó el tratamiento propuesto.

3.4.2. Muestra

En el tratamiento propuesto de las aguas procedentes del río Crucero, se tomó una muestra en el punto de la cabecera del río, donde se realiza actividades mineras (Salas et al., 2020). La toma de muestra se realizó mediante un muestreo manual simple o puntual teniendo en cuenta el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de Recursos Hídricos Superficiales del Perú.

El muestreo se realizó para determinar la concentración de metales Pb, Fe y Cd y llevar a cabo el tratamiento correspondiente. Durante la recolección, se evitó la remoción de sedimentos. Las muestras se trasladaron en un coolers a temperatura apropiada, con el fin de evitar cualquier alteración química, hasta su respectivo análisis y tratamiento con quitosano.

3.5. Equipos, reactivos y materiales

3.5.1. Equipos

GPS, multiparámetro, espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), Espectrofotómetro Infrarrojo de Transformadas de Fourier - Reflectancia total atenuada (FTIR-ATR), balanza analítica, tamizadora analítica, estufa, balanza manual, agitadores magnéticos con calentamiento y cámara fotográfica

3.5.2. Reactivos

Hidróxido de sodio (NaOH) a 2M y al 50 %, peróxido de hidrogeno (H₂O₂) al 10 %, ácido clorhídrico (HCl) a 1M y agua destilada.

3.5.3. Materiales

Matraces Erlenmeyer, bolsas de polietileno (ziploc), guantes de nitrilo, vidrio de reloj, fiolas, vasos de precipitado, coolers, frasco hermético, coolers, papel filtro Whatman, marcador permanente, varilla, tamices, soportes universales, embudos, mortero, probetas, pipetas, espátulas, pera de succión, cinta embalaje y lapicero.

3.6. Metodología

3.6.1. Obtención del quitosano a partir de los caparazones de crustáceos (cangrejos y camarones) mediante el método químico

a. Proceso de acondicionamiento de los caparazones de crustáceos

Se recogieron un 1 kg de los caparazones de crustáceos en bolsas de polietileno (ziploc) en los mercados de la ciudad de Juliaca, se lavaron con agua destilada, luego se almacenaron en un armario refrigerado, después de 24 h, las muestras se secaron 48 h a temperatura ambiente, luego se redujeron de tamaño en un mortero y se tamizaron hasta obtener el tamaño de partícula requerido, que es malla 60 y se almacenaron en bolsas ziploc (Ghannam et al., 2019; Ilyas et al., 2021).

b. Procedimiento para la obtención de quitosano

- **Desproteización**

Se llevó a temperatura ambiente (18 °C) utilizando un matraz erlenmeyer de 1000 mL, la muestra de malla 60 de 100 g en una solución de hidróxido de sodio (NaOH) 2M con una proporción 1:10 (p/v) (Ilyas et al., 2021), luego se mezclaron durante 8 h con un agitador magnético a una velocidad de 400 rpm, después se filtró la muestra restante y se lavaron con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro (pH 6.5 A 7.5), antes del proceso de desmineralización, se eliminó el agua en la estufa a 50-60 °C por 16 h (Ilyas et al., 2021; Younis et al., 2019).

- **Desmineralización**

Se realizó a temperatura ambiente (18 °C) utilizando ácido clorhídrico (HCl) 1M con una proporción de 1:10 (p/v). La suspensión se sometió a una agitación de 400 rpm durante 8 h para eliminar el carbonato de calcio (CaCO₃). Durante este proceso, el HCl eliminó a CaCO₃ y otras sales inorgánicas como cloruros solubles. En la etapa inicial se notó la presencia de dióxido de carbono (CO₂), la ausencia de emisión de gas confirmó que el proceso de desmineralización se ha completado, la muestra de reacción se lavó con agua destilada hasta obtener un pH neutro (6.5 a 7.5), seguidamente la muestra se secó en la estufa a 50-60 °C por 16 h (Ilyas et al., 2021; Rasweefali et al., 2022).

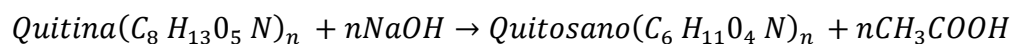
- **Decoloración**

Los caparazones desmineralizados se trató a temperatura ambiente (18 °C) con peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 10 % en una proporción de 1:10 (p/v) con agitación de 400 rpm durante 3 h hasta obtener la muestra incolora (Hafsa et al., 2016; Ilyas et al., 2021). Después de la eliminación de todos los pigmentos, la muestra se lavó con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro (6.5 a 7.5) y el producto final que es la quitina se secó en la estufa a 50-60 °C por 16 h y se almacenó en un frasco hermético (Ilyas et al., 2021).

- **Desacetilación**

La obtención de quitosano ha sido a partir de la quitina aislada, mediante la reacción química con hidróxido de sodio (NaOH) al 50 % durante 2 h con un agitador magnético a una velocidad de 50 rpm a una temperatura de 90 °C, durante este periodo de tiempo se produce la reacción química de desacetilación luego se hizo enfriar durante 30 min, el producto se lavó con agua destilada hasta obtener un pH neutro, se filtró y se secó en la estufa a 50-60 °C por 16 h luego se trituró y se tamizó hasta obtener un tamaño de partícula de 0.22 mm, finalmente se ha obtenido el producto que es el quitosano (Romero et al., 2018; Younis et al., 2019).

Aquí se puede apreciar la reacción química en el proceso de desacetilación:



- La quitina está formada por unidades repetitivas de N-acetilglucosamina (GlcNAc).
- Cada unidad de N-acetilglucosamina tiene un grupo acetilo (-COCH₃) unido al nitrógeno del grupo amino.
- El NaOH al 50 % se disocia en iones Na⁺ y OH⁻. Los iones OH⁻ son los nucleófilos que atacan el grupo acetilo.
- El OH⁻ ataca el carbono del grupo acetilo, rompiendo el enlace C-N y liberando el grupo acetilo como ácido acético (CH₃COOH).

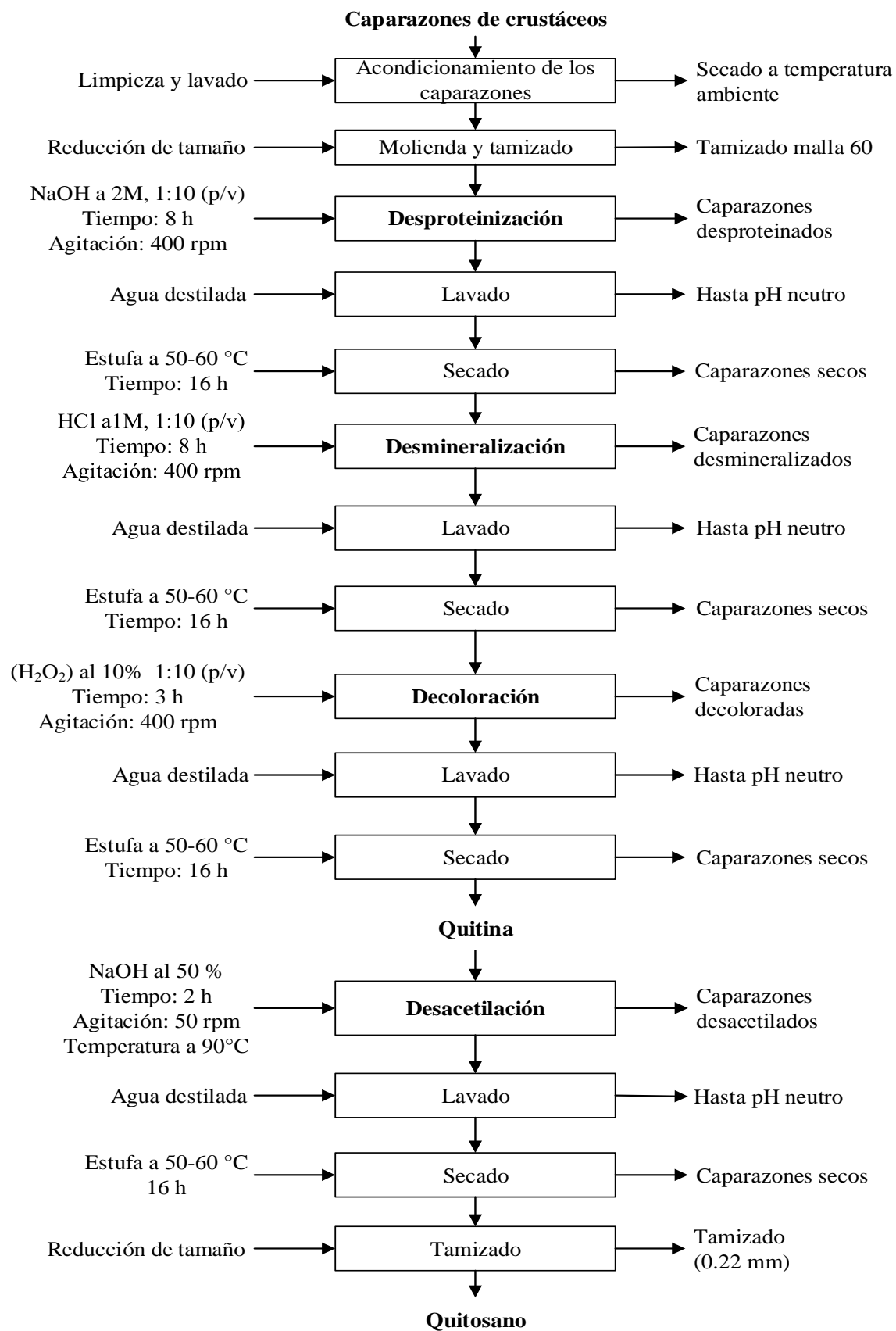


Figura 5. Diagrama de flujo de la obtención de quitosano

Fuente: Ilyas et al. (2021); Romero et al. (2018)

c. Caracterización del quitosano procedente de caparazones de crustáceos (cangrejo y camarones) mediante la determinación de la Espectrofotometría Infrarroja FTIR-ATR y su determinación del grado de desacetilación

Se realizó a través del equipo Espectrofotómetro Infrarrojo de Transformadas de Fourier - Reflectancia total atenuada (FTIR-ATR) en el rango de barrido predeterminado de 400 a 4000 cm^{-1} modelo PERKIN ELMER, FRONTIER y se repitieron para tres réplicas (Abdou et al., 2008; Alca & Wid, 2016) en el laboratorio LABICER de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). El grado de desacetilación (DD) del quitosano se determinó utilizando datos obtenidos (grupos funcionales) del Espectro Infrarrojo.

3.6.2. Determinación del efecto de la dosis de quitosano, tiempo de contacto y variación de pH en la remoción Pb, Fe y Cd

Los tratamientos con quitosano se realizaron en el laboratorio de química de la Universidad Nacional de Juliaca (UNAJ).

a. Muestreo de agua en el río Crucero

El punto de muestreo fue identificado y registrado utilizando un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) con coordenadas en el sistema UTM y el estándar geodésico WGS84, las coordenadas registradas fueron las siguientes: este 388910 - norte 8411341, ubicado en distrito de Crucero - Carabaya - Puno, y se estableció de acuerdo con el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de Recursos Hídricos Superficiales del Perú y se realizó mediante un muestreo manual simple o puntual (ANA, 2016).

Para la toma de muestra se utilizó un coolers, guantes de nitrilo, un recipiente de polietileno cuyo volumen de muestra recogido fue de 10 L, donde se lavó con la misma agua de la cual se tomó una alícuota de 500 mL para la determinación de metales antes del tratamiento y el resto de agua para el tratamiento con quitosano, para ello, se empleó una cadena de custodia y previamente se etiquetó y preservó en bolsas plásticas negras, manteniéndolas refrigeradas, posteriormente, se trasladaron en un coolers al laboratorio de la Universidad Nacional de Juliaca para realizar el tratamiento, y al Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L, donde el método de ensayo para el análisis de la muestra fue EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua por ICP-OES, Revisión 4.4. (Belizario et al., 2019).

Los parámetros fisicoquímicos que se midieron in situ fueron el pH y temperatura (T) del agua, utilizando el equipo multiparámetro de calidad de agua (Salas et al., 2020).

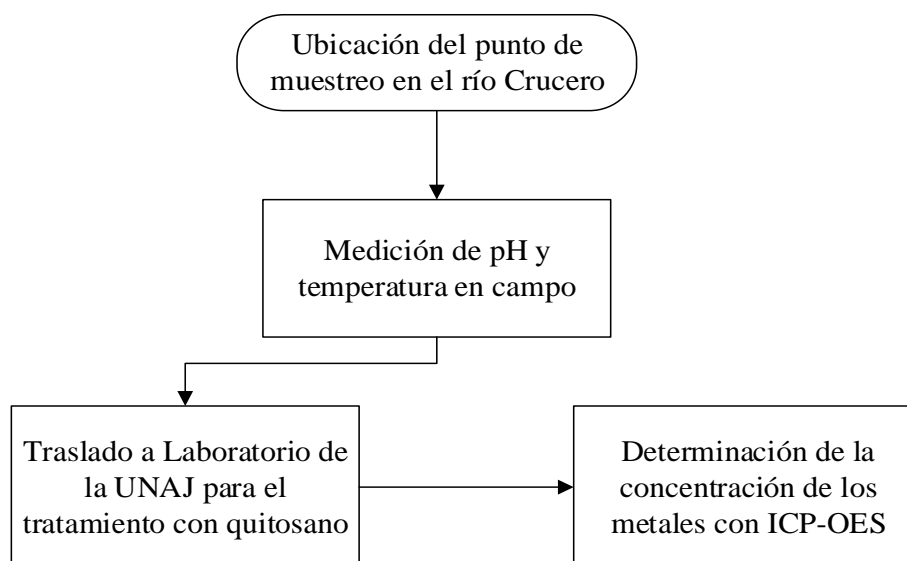


Figura 6. Diagrama de flujo para el muestreo de agua en el río Crucero y su determinación de la concentración de metales

b. Pruebas de adsorción

Para llevar a cabo las pruebas, se pesaron masas de quitosano de 1, 3 y 5 g, respectivamente, utilizando una balanza analítica. La experimentación se llevó a cabo utilizando 500 mL de agua procedentes del río Crucero en matraces a diferentes variaciones de pH (5, 7 y 9), que se ajustaron con soluciones de HCl 0.1N para disminuir el pH y NaOH 0.1N para aumentar el pH, y se agitaron a diferentes tiempos (30, 60 y 90 min) a 200 rpm a temperatura ambiente (18 °C) con el equipo de agitadores magnéticos con calentamiento. Posteriormente, las muestras se dejaron en reposo por 10 min y se filtraron con papel Whatman 42, luego se recolectaron en envases de polietileno (Ghannam et al., 2019; Mounes et al., 2021).

El porcentaje de remoción se calculó utilizando la siguiente ecuación 2 (Hussain et al., 2017; Rahaman et al., 2021).

$$\%E = \frac{(C_0 - C_f)}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

E : Porcentaje de remoción (%)

C_0 : Concentración inicial (mg/L)

C_f : Concentración final (mg/L)

3.6.3. Determinación de los niveles de concentración Pb, Fe y Cd antes y después del tratamiento con quitosano de las aguas procedentes del río Crucero

Con la finalidad de realizar la determinación de la concentración de metales en agua las muestras se enviaron a Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L, donde el método de ensayo para el análisis de la muestra es EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua por ICP-OES, Revisión 4.4. (Belizario et al., 2019). Las muestras fueron determinadas antes y después de los tratamientos con quitosano.

3.7. Proceso del diseño experimental

3.7.1. Diseño experimental

Se aplicó un diseño factorial 2^k con 5 puntos centrales para determinar el efecto de las dosis, tiempo y pH en la remoción de la variable de dependiente. El diseño consta de 8 combinaciones factoriales extremas y 5 puntos centrales. En total 13 tratamientos (Gutiérrez & De la Vara, 2014).

$$N = 2^k + n_o \quad (3)$$

Donde:

N : Número de experimentos

k : Número de factores (dosis. Tiempo y pH)

n_o : Número de puntos centrales

En esta investigación, se realizaron un total de 13 experimentos, como se aprecia en la tabla 4, de acuerdo a la ecuación 3.

$$N = 2^3 + 5 = 13$$

A continuación, se detallan los niveles de los factores y los tratamientos empleados, los cuales están representados en las tablas 4 y 5

Tabla 4

Niveles de los factores cuantitativos

Factores cuantitativos	Niveles		
	-1	0	1
Dosis de quitosano (g/L)	1	3	5
Tiempo de contacto (min)	30	60	90
pH	5	7	9

La notación de niveles (-1,0,1) se refiere a cómo se codifican los niveles de los factores en un diseño factorial, en este contexto:

- El nivel “0” representa punto central de cada factor
- El nivel “-1” representa nivel bajo de un factor
- El nivel “1” representa nivel alto de un factor

Tabla 5

Diseño factorial de 2^k con 5 puntos centrales

Tratamientos	Dosis (g)	Tiempo (min)	pH
1	1	30	5
2	5	30	5
3	1	90	5
4	5	90	5
5	1	30	9
6	5	30	9
7	1	90	9
8	5	90	9
9	3	60	7
10	3	60	7
11	3	60	7
12	3	60	7
13	3	60	7

3.7.2. Pruebas estadísticas

a. Análisis de la varianza (ANOVA)

El análisis de varianza (ANOVA) es la técnica central en el análisis de datos experimentales, la idea general de esta técnica es separar la variación total en las partes con las que contribuye cada fuente de variación en el experimento (Gutiérrez & De la Vara, 2014).

Esta herramienta estadística determina e infiere los factores dosis, tiempo y variación de pH en relación a la variable respuesta que son la remoción de Pb, Fe y Cd.

Donde se calcula un valor de $p < 0.05$, con un nivel de confianza del 95 % y un margen de error del 5 %

- Si $p < 0.05$, se considera que los factores tienen un efecto significativo
- Si $p > 0.05$, se considera que los factores no tienen un efecto significativo

Para la validez de los resultados obtenidos en el análisis de varianza se verificó los supuestos modelos como la normalidad de los datos (Gutiérrez & Vara, 2012) y la prueba estadística que se utilizó para determinar distribución normal fue Shapiro-Wilk.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Obtención de quitosano a partir de los caparazones de crustáceos mediante el método químico

4.1.1. Quitosano

El quitosano se obtuvo a partir de los caparazones de crustáceos como derivado de la reacción de desacetilación de la quitina. En el anexo 2, se puede observar el color del quitosano obtenido a partir de caparazones de cangrejo y camarones de color blanco - ligeramente amarillo. Este resultado es consistente con los hallazgos de Choque y Oviedo (2020), quienes obtuvieron un color blanco transparente para el quitosano obtenido de los caparazones de cangrejo.

La ligera variación en el color puede estar relacionada con diferentes factores como la fuente de los caparazones y la utilización de reactivos. En nuestro estudio se utilizó peróxido de hidrógeno (H_2O_2) para la decoloración, en lo cual se obtuvo un color blanco - ligeramente amarillo, mientras que Younis et al. (2019) utilizaron hipoclorito de sodio ($NaClO$) obtuvieron un color blanco crema, ambos reactivos, el peróxido de hidrógeno y el hipoclorito de sodio, tienen propiedades oxidantes, pero el hipoclorito de sodio podría ser más efectivo para obtener un color más uniforme y claro en el quitosano.

4.1.2. Rendimiento del quitosano

El rendimiento de quitosano se calculó con la siguiente ecuación 4 (Ilyas et al., 2021; Ridwanto et al., 2022) para cada proceso, tal como se detalla en las siguientes tablas 6, 7, 8 y 9.

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{m}{w} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

m : Peso neto después del proceso (g)

w : Peso total inicial (g)

Tabla 6

Desproteínización química de los caparazones de crustáceos

Peso inicial de los caparazones (g)	(NaOH)	Peso de materia desproteínizada	Rendimiento (%)
100	2M	78.31	78.31

Según la tabla 6, se observa la desproteínización química de los caparazones, a partir de 100 g de caparazones en una solución de NaOH a 2M, se ha obtenido 78.31 g de materia desproteínizada, con un rendimiento de 78.31 %.

Tabla 7

Desmineralización química de los caparazones de crustáceos

Peso de materia (g)	(HCl)	Peso de materia desmineralizada	Rendimiento (%)
78.31	1M	71.32	91.07

En la tabla 7, se observa la desmineralización de la materia desproteínizada, a partir de 78.31 g de materia en una solución de HCl a 1M, se obtuvo resultado 71.32 g de materia desmineralizada, con un rendimiento de 91.07 %.

Tabla 8

Decoloración química de los caparazones

Peso de materia (g)	(H ₂ O ₂)	Peso de materia decolorado	Rendimiento (%)
71.32	10%	64.44	90.35

En la tabla 8, se observa la decoloración de la materia desmineralizada, a partir de 71.32 g de materia en una solución de H₂O₂ al 10 %, se obtuvo 64.44 g de materia decolorada, también conocida como la quitina, con un rendimiento de 90.35 %.

Tabla 9

Desacetilación química de los caparazones

Peso de materia (g)	(NaOH)	Peso de materia desacetilado	Rendimiento (%)
64.44	50%	47.84	74.24

Según la tabla 9, se observa la desacetilación de materia decolorada, a partir de 64.44 g de quitina en una solución de NaOH al 50 %, se obtuvo 47.84 g de quitosano con un rendimiento de 74.24 %. Esta etapa es crucial en la obtención de quitosano, ya que tiene como objetivo eliminar total o parcialmente los grupos acetilo de la quitina como mencionan, Puvvada et al. (2012).

Además, se presentan los rendimientos para cada etapa del proceso, y como resultado final, se obtuvo un rendimiento de 74.24 % a partir de caparazones de crustáceos. Al comparar estos resultados con los obtenidos por Ridwanto et al. (2022), quienes lograron un rendimiento de 75.94 % a partir de caparazones de crustáceos, se puede observar que ambos estudios reportan rendimientos similares, esta similitud podría ser porque ambos estudios aplicaron procedimientos similares y tratamiento de una cantidad inicial de 100 g de materia prima, lo que sugiere una consistencia en las técnicas empleadas.

Dado que nuestros resultados están en un rango cercano a los reportados en la literatura, podemos afirmar que los procedimientos aplicados en este estudio han logrado un rendimiento consistente con lo observado en estudios previos, lo que refuerza la validez y eficacia de los métodos utilizados en nuestra investigación.

4.1.3. Caracterización del quitosano mediante Espectrofotometría Infrarroja FTIR-ATR y determinación del grado de desacetilación mediante la observación de los grupos funcionales del quitosano

a. Caracterización del quitosano mediante la determinación de la Espectrofotometría Infrarroja FTIR-ATR

El análisis estructural del quitosano obtenido de los caparazones de crustáceos, se caracterizó empleando el equipo Espectrofotómetro Infrarrojo de Transformadas de Fourier - Reflectancia total atenuada (FTIR-ATR), en el rango de barrido predeterminado de 400 a 4000 cm^{-1} modelo PERKIN ELMER, FRONTIER (Abdou et al., 2008; Alca & Wid, 2016) en el laboratorio LABICER de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), tal como se aprecia en la figura 7.

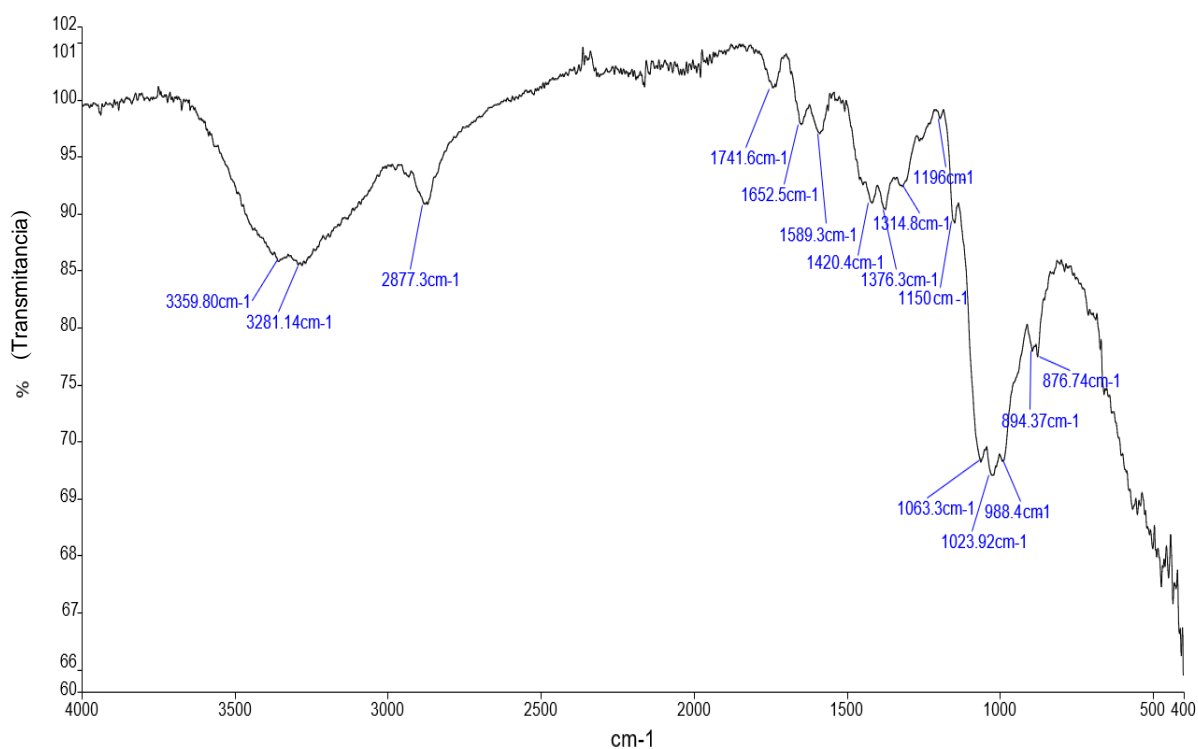


Figura 7. Espectro Infrarrojo del quitosano a partir de caparazones de crustáceos

Tabla 10

Frecuencias de absorción infrarrojas y grupo funcional del quitosano

N°	Frecuencias de absorción del espectro (cm ⁻¹)	Grupo funcional característico del quitosano
1	3359.80	-OH
2	3281.14	-N-H
3	2932.30	-C-H
4	2877.30	-C-H
5	1652.60	-C=O
6	1589.50	-NH ₂
7	1418.80	-CH ₂
8	1374.20	-CH ₃
9	1318.60	-C-N
10	1148.90	-C-O-C
11	1062.40 y 1023.92	-C-O
14	894.23	-C-H

Según la figura 7 y tabla 10, se observó una banda de absorción 3359.80 cm⁻¹, que se asigna al estiramiento del enlace O-H, que corresponde al grupo funcional hidroxilo y el estiramiento N-H aparece a 3281.14 cm⁻¹, indicando la presencia del grupo funcional amino. La banda de 2877.30 cm⁻¹ se refiere al estiramiento asimétrico de enlaces C-H, indicando la presencia de grupos metilo (CH₃), la vibración de 1652.50 cm⁻¹ corresponde al enlace C=O en la amida I. Además, la banda 1589.50 cm⁻¹ indica el doblaje de -NH₂, 1418.80 cm⁻¹ presencia de CH₂ y 1314.80 cm⁻¹ señala enlaces carbono-nitrógeno (C-N) en una amida, 1150 cm⁻¹ está asociada al estiramiento asimétrico del puente carbono-oxígeno - carbono (C-O-C), 1063.30 cm⁻¹ y 1023.92 cm⁻¹ reflejan estiramientos de enlaces carbono - oxígeno (C-O), y 894.37 cm⁻¹ muestra el estiramiento C-H de grupos anoméricos (Olayinka et al., 2016; Rahaman et al., 2021).

b. Determinación del grado de desacetilación del quitosano mediante Espectrofotometría Infrarroja FTIR-ATR

A partir del Espectro Infrarrojo representado en la figura 7, se obtuvieron datos para determinar el grado de desacetilación (DD). Se observa a una banda de absorción en 3359.80 cm^{-1} que atribuye al estiramiento del enlace O-H (hidroxilo) y la banda de 1652.50 cm^{-1} corresponde al enlace C=O en la amida I. Estas bandas son necesarias para calcular el DD mediante la siguiente ecuación 5 (Ghannam et al., 2019; Ridwanto et al., 2022; Tello, 2017; Wahab et al., 2023).

$$DD(\%) = 100 - \frac{100}{1.33} \left(\frac{A_{1652.60}}{A_{3359.80}} \right) \quad (5)$$

Calculando el grado de desacetilación:

Línea base (3359.80): 86.5 % $\rightarrow T = 0.865$

Línea base (1652.60): 96.5 % $\rightarrow T = 0.975$

Para el cálculo de DD es necesario convertir

T (transmitancia) a absorbancia (A)

Donde:

$$A_{1652.60} = -\log(T)$$

$$A_{3359.80} = -\log(T).$$

$$DD(\%) = 100 - \frac{100}{1.33} \left(\frac{-\log(0.965)}{-\log(0.865)} \right)$$

$$DD(\%) = 81.52$$

Tabla 11

Comparación del grado de desacetilación (DD) del quitosano con otros estudios

Materia prima	Técnica analítica	DD %	Referencia
Cangrejo y camarones	FTIR	81.52	Estudio actual
Camarones	FTIR	87.00	Ghannam et al. (2019)
Camarones	FTIR	74.82	Mohanasrinivasan et al. (2014)
Camarones	FTIR	82.78	Ridwanto et al. (2022)
Camarones	FITR	82.00	Younis et al. (2019)
Conchas de mejillón	FTIR	60.60	Abdulwadud y Muhammed (2013)
Camarones	FTIR	72.00	Atangana y Oberholster (2020)
Escamas de pescado	FTIR	68.31	Tello (2017)
Cangrejo	FTIR	81.17	Wahab et al. (2023)

En la tabla 11, se aprecia que el grado de desacetilación (DD) del quitosano obtenido a partir de los caparazones de cangrejo y camarones en el estudio actual es 81.52 %. Los resultados obtenidos por Ghannam et al. (2019) para caparazones de camarones es 87.00 %, Mohanasrinivasan et al. (2014), para caparazones de camarones 74.82 %, Ridwanto et al. (2022) para caparazones de camarones es 82.78 %, Younis et al. (2019) para caparazones de camarones 82.00 % y Wahab et al. (2023) para caparazones de cangrejo 81.17 % comparando hay similitud con nuestro estudio y se encuentra en el rango adecuado.

Según El Knidri et al. (2018), la conversión de quitina a quitosano cuando se elimina al menos un 50 % de grupos acetilo. Por lo tanto, podemos afirmar que en nuestra investigación se obtuvo quitosano. Además, según El-saied y Motawea (2020), indica que al eliminarse una gran cantidad de los grupos acetilo, el quitosano se convierte es un excelente candidato para adsorber los metales, ya que posee grupos amino (-NH₂) e hidroxilo (-OH) que facilitan la adsorción a través de enlace de coordinación o el intercambio iónico.

Por otro lado para Abdulwadud y Muhammed (2013) para conchas de mejillon 60.60 %, Tello (2017) para escamas de pescado 68.31 %, podemos ver una ligera variabilidad, es probable debido a las diferentes fuentes de materia prima, de lo cual podemos concluir

que la obtención a base de los caparazones de crustáceos es mejor que a la obtención de conchas de mejillón y escamas de pescado. Por otra parte, cabe recalcar que en nuestro estudio se hicieron conjuntamente los caparazones de cangrejo y camarones, mientras que otros autores estudiaron individualmente, pero haciendo una comparación concluimos que no hay una variabilidad significativa.

4.2. Determinación del efecto de la dosis de quitosano, tiempo de contacto y variación de pH en la remoción de Pb, Fe y Cd de las aguas procedentes del río Crucero

4.2.1. Muestreo de agua: Parámetros fisicoquímicos y metales en el río Crucero

a. Parámetros fisicoquímicos

Tabla 12

Resultados de los parámetros fisicoquímicos del río Crucero

Punto de muestreo		Parámetro	Unidad de medida	Valor medido	Estándar Nacional* MINAM 2017**	
Este	Norte	Fisicoquímicos			D1	D2
388910	8411341	pH	Unidad de pH	8.12	6.5 – 8.5	6.5 – 8.4
		Temperatura	°C	8	Δ 3	Δ 3

*ECA - Estándares Nacionales de Calidad Ambiental

**Categoría 3: Riego vegetales y bebida de animales (Decreto Supremo N° 004-2017 MINAM). D1 (Riego vegetales), D2 (Bebida de animales) (MINAM, 2017).

Los parámetros fisicoquímicos se midieron in situ, el pH es de 8.12 y la temperatura de 8. Arteaga (2018), realizó mediciones en el río Crucero, obteniendo un pH de 8.4 y una temperatura de 8.3 °C. Por otro lado Salas et al. (2020), reportaron en el río Crucero, un pH de 8.8 y una temperatura de 7.3 °C, estas comparaciones indican consistencia en las condiciones fisicoquímicas del río.

Es importante destacar que cuando el $\text{pH} < 5$, los metales se vuelven más solubles, en este caso, el pH es de 8.12, es probable que este resultado sea porque los metales tienden estar más propensos a precipitarse y por lo tanto, son menos solubles (Salas et al., 2020).

Por otro lado, la temperatura del agua en un río está en función de la época del año, el caudal, hora y zona de muestreo, además influye es la solubilidad de los metales (Flores, 2018), en este caso la temperatura resultó ser de 8 °C, comparando es probable que no haya variabilidad, lo que indica condiciones fisicoquímicas adecuadas para la Categoría 3: Riego vegetales y bebida de animales.

b. Metales

Tabla 13

Resultados de la concentración de Pb, Fe y Cd, de las aguas procedentes del río Crucero

Punto de muestreo		Parámetro	Unidad de medida	Valor medido	Estándar Nacional* MINAM 2017**	
Este	Norte	Metales	mg/L		D1	D2
388910	8411341	Pb	mg/L	0.0051	<=0.05	<=0.05
		Fe	mg/L	0.67	<=5	-
		Cd	mg/L	0.00011	<=0.01	<=0.05

*ECA - Estándares Nacionales de Calidad Ambiental

**Categoría 3: Riego vegetales y bebida de animales (Decreto Supremo N° 004-2017 MINAM). D1 (Riego vegetales), D2 (Bebida de animales) (MINAM, 2017).

En la tabla 13, se observa los niveles de concentración de los metales, para el plomo (Pb) 0.0051 mg/L, hierro (Fe) 0.67 mg/L y cadmio (Cd) 0.00011 mg/L en las aguas del río Crucero. Estos valores, aunque cumplen con la Categoría 3: Riego vegetales y bebida de animales, aún requieren tratamiento adicional para asegurar la mejor calidad de agua para sus usos previstos.

4.2.2. Eficiencia de remoción de Pb, Fe y Cd en la capacidad de adsorción

En la tabla 14, se representa el porcentaje de remoción en relación con la dosis de quitosano, tiempo de contacto y pH durante el proceso de adsorción, lo que nos permite analizar cómo varían las concentraciones en respuesta a diferentes condiciones experimentales.

Tabla 14.

Resultados de la eficiencia de remoción Pb, Fe y Cd empleando quitosano como adsorbente en las aguas procedentes del río Crucero

N° Tratamientos	Dosis (g)	Tiempo (min)	Ph	Metales (mg/L)	
				%Fe	%Pb
1	1	30	5	97.61	0.00
2	5	30	5	97.61	0.00
3	1	90	5	97.61	49.02
4	5	90	5	97.61	49.02
5	1	30	9	97.61	49.02
6	5	30	9	97.61	49.02
7	1	90	9	94.78	49.02
8	5	90	9	97.61	49.02
9	3	60	7	97.61	0.00
10	3	60	7	97.61	0.00
11	3	60	7	97.61	0.00
12	3	60	7	97.61	49.02
13	3	60	7	97.61	49.02

Nota. *En todos los tratamientos, el % Cd fue 0.00.*

a. Efecto de la dosis de quitosano en la remoción de Pb, Fe y Cd

El efecto de la dosis del adsorbente en la remoción de Pb, Fe y Cd mediante una serie de experimentos empleando diferentes dosis 1, 3 y 5 g, como se muestra en la tabla 14. El análisis de varianza, realizado con un nivel de significancia del 5 %, tal como se muestra en el anexo 3, indica que la dosis de adsorbente no tiene un efecto significativo en la remoción de Pb, Fe y Cd.

Para el plomo, a una concentración inicial de 0.0051 mg/L, se observó que en los tratamientos 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12 y 13 con una dosis de 1, 3 y 5 g, se logra una eficiencia de remoción del 49.02 %, mientras para los tratamientos 1, 2, 9, 10 y 11, no se logra una remoción, mientras, que, a concentraciones iniciales de 10 y 20 mg/L y a una dosis de 2.5 g, Younis et al. (2019), lograron remover un 95.00 %, esto podría atribuirse principalmente a la diferencia en las concentraciones iniciales. A concentraciones iniciales más altas, la eficiencia del quitosano aumenta porque se incrementa la fuerza motriz de transferencia de masa entre la solución acuosa y el adsorbente (Dávila et al., 2022). Por otro lado, comparando con otros adsorbentes, Monroy (2019), utilizó hidralgirita para la remoción de plomo, alcanzó una remoción de 62.50 %. La mayor eficiencia del hidralgirita podría deberse a su estructura química y alta superficie específica. Estos resultados indican que, aunque ambos materiales podrían ser efectivos, la arcilla chacko podría ser más adecuada para la remoción de plomo.

Respecto al hierro, a una concentración inicial de 0.67 mg/L, se observó que en los tratamientos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13 con una dosis de 1, 3 y 5 g, se alcanzó una eficiencia de remoción del 97.61 %, mientras para el tratamiento 7, un 94.80 %. Estos resultados coinciden con estudios previos de Ghannam et al. (2019), donde se encontró que el quitosano presentaba una alta afinidad por el hierro con un 93.00 %, esto es probable a que el quitosano tiene una afinidad por el Fe a comparación de otros metales estudiados y, por lo tanto, ha sido el primer metal en adsorberse, también podría atribuirse a que tiene una interacción particularmente fuerte o rápida entre el Fe y el quitosano.

En cuanto al cadmio, con una dosis de 1, 3 y 5 g, no se observó una eficiencia de remoción, esto sugiere que el quitosano utilizado puede no ser efectivo para la remoción de cadmio.

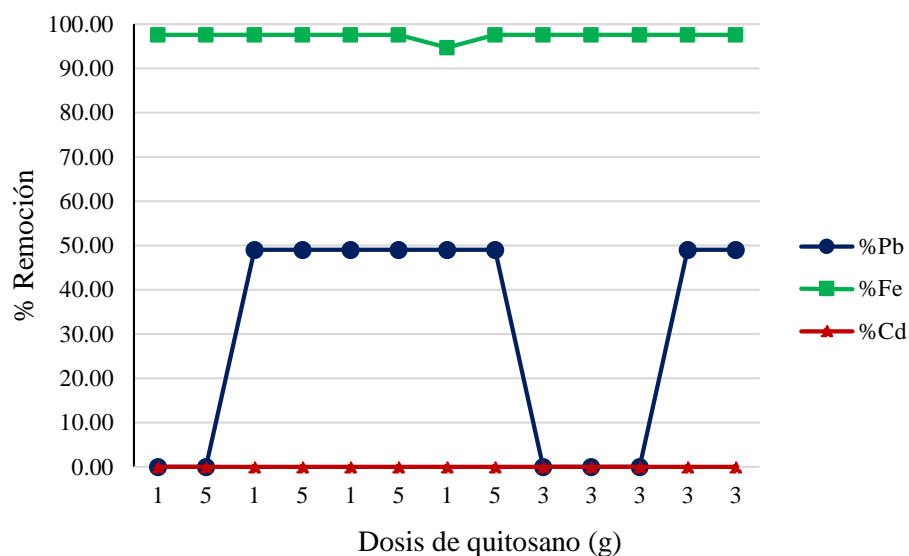


Figura 8. Efecto de la dosis de quitosano en la eficiencia de remoción de Pb, Fe y Cd

b. Efecto de tiempo de contacto

El efecto del tiempo de contacto en la remoción de Pb, Fe y Cd, mediante una serie de experimentos, como se muestra en la tabla 14, en diferentes tiempos de 30, 60 y 90 min. El análisis de varianza, realizado con un nivel de significancia del 5 %, tal como se muestra en el anexo 3, indica que el tiempo de contacto no tiene un efecto significativo en la eficiencia de remoción de Pb, Fe y Cd.

Para el plomo, a una concentración inicial de 0.0051 mg/L, se observó que en los tratamientos 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12 y 13 con un tiempo de 30, 60 y 90 min, se logra una eficiencia de remoción del 49.02 %, en contraste, en los tratamientos 1, 2, 9, 10 y 11, no se observó una remoción. Sin embargo, Bakar et al. (2023), lograron una eficiencia de remoción del 93.33 % con tiempos de contacto que variaba entre 10 min y 30 h, utilizando microesferas de quitosano. Esto sugiere que las modificaciones del quitosano, como la formación de microesferas, pueden mejorar significativamente su capacidad de adsorción. Por otro lado, utilizando otros adsorbentes, Aguirre (2017), logró una remoción del 98.70 % de Pb con carbón activado hecho de semillas de eucalipto. El carbón activado muestra mayor eficiencia debido a su alta superficie y estructura porosa, facilitando la adsorción (Karnib et al., 2014). Aunque el quitosano logró una remoción del 49.02 % en este estudio, sigue siendo una opción viable. Estas diferencias resaltan la importancia de seleccionar el adsorbente adecuado según las características específicas del contaminante y las condiciones del proceso de remoción.

Por otro lado, el hierro mostró en los tratamientos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13 con un tiempo de 30, 60 y 90 min se alcanzó una eficiencia de remoción del 97.61 %, mientras para el tratamiento 7, un 94.80 %. El hierro tiene una alta eficiencia de remoción de 97.61 %, esto es probable a que el Fe tiene una afinidad por el quitosano y, por lo tanto, ha sido el primer metal en adsorberse. La adsorción de metales por la superficie del adsorbente será rápida al inicio cuando hay una afinidad relativamente fuerte (Sugashini & Gopalakrishnan, 2012), por ello, es posible que se saturó rápidamente y que ha alcanzado un equilibrio. En contraste, Mohanasrinivasan et al. (2014), obtuvieron una remoción de 65.20 % de Fe, lo que podría atribuirse a diferencias en las propiedades del adsorbente como el grado de desacetilación (DD) y a los factores de experimentación.

Sin embargo, no se observó una eficiencia de remoción para el cadmio, lo que indica limitaciones en la capacidad del quitosano para adsorber este metal en las condiciones experimentales.

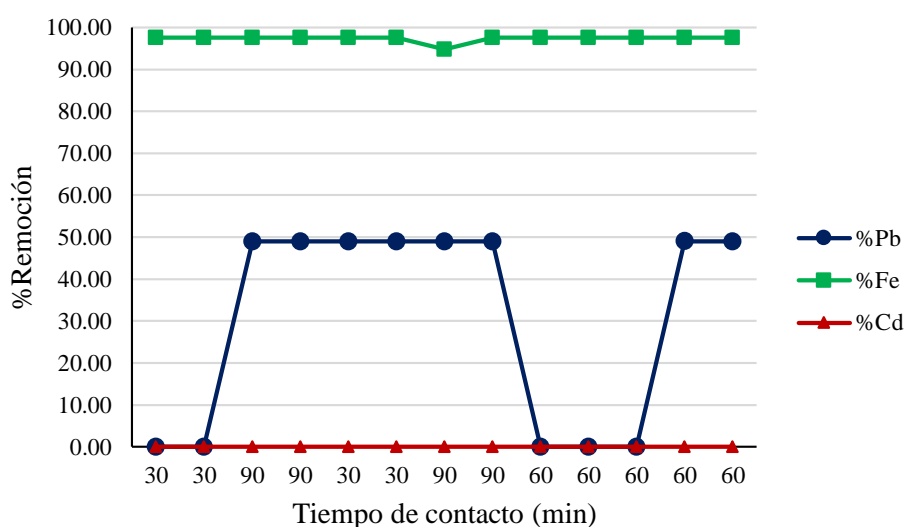


Figura 9. Efecto del tiempo de contacto en la eficiencia de remoción Pb, Fe y Cd

c. Efecto de la variación de pH

El efecto de la variación de pH en la remoción de Pb, Fe y Cd, mediante una serie de experimentos empleando diferentes variaciones de pH 5, 7 y 9, como se observa en la tabla 14. El análisis de varianza, realizado con un nivel de significancia del 5 %, tal como se muestra en el anexo 3, nos dice que la variación de pH no tiene un efecto significativo en la eficiencia de remoción de Pb, Fe y Cd.

Para Pb a un pH 5, 7 y 9, se observó una eficiencia de remoción de 49.02 % en los tratamientos 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12 y 13, mientras para los tratamientos 1, 2, 9, 10 y 11, no se logra una remoción. En un estudio realizado por Ttito (2008), a un pH 2.87 se reportó una remoción del 55.00 %, obtuvo un menor remoción en soluciones ácidas. Esta disminución podría atribuirse a la presencia de un gran número de H⁺ y a pH bajo se protonan los grupos amino del quitosano (P. Wang & Lo, 2009), pero, en este estudio se mantuvo constante a pH bajos, medios y altos, es posible a que se forman enlaces fuertes o complejos químicos entre el Pb y el quitosano, o a la ocurrencia de reacciones químicas opuestas que ocurren al mismo tiempo, lo que hace que la adsorción sea menos dependiente del pH.

Por otro lado, el Fe en los tratamientos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13 la eficiencia de remoción alcanzó un 97.61 %, mientras para el tratamiento 7, un 94.80 %, un pH 9. La alta eficiencia fue consistente a través de diferentes valores de pH, indicando una fuerte afinidad del Fe por el quitosano.

Sin embargo, no se observó eficiencia de remoción para el cadmio, en ninguna de las condiciones de pH estudiadas.

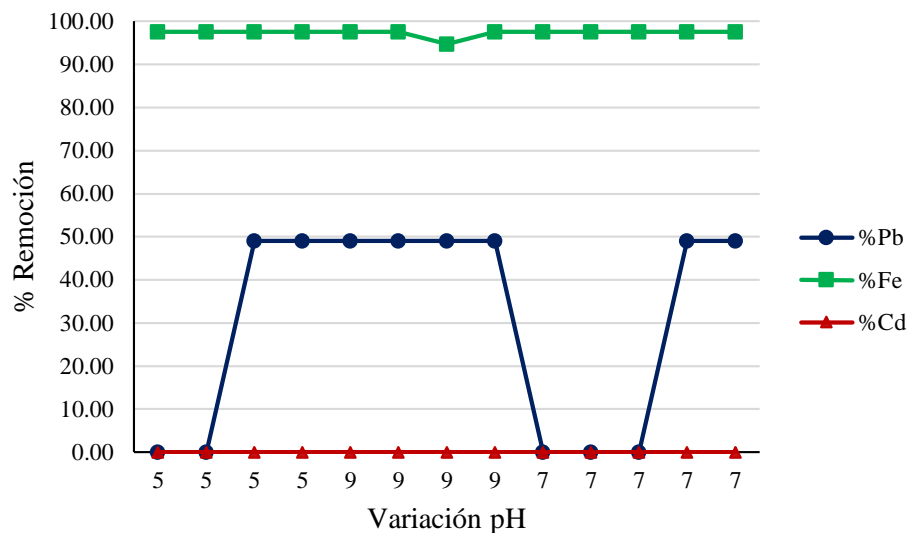


Figura 10. Efecto de la variación de pH en la eficiencia de remoción de Pb, Fe y Cd

4.3. Determinación de los niveles de concentración de Pb, Fe y Cd antes y después del tratamiento con quitosano de las aguas procedentes del río Crucero

Para determinar la concentración de metales en las aguas procedentes del río Crucero antes y después del tratamiento con quitosano, las muestras se enviaron a Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L, donde el método de ensayo para el análisis de la muestra es EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua por ICP-OES, Revisión 4.4.

Tabla 15

Resultados de la concentración de Pb, Fe y Cd en muestras de agua del río Crucero, antes y después del tratamiento con quitosano

N° de Tratamientos	Concentración inicial de Pb mg/L	Concentración final de Pb mg/L	Concentración inicial de Fe mg/L	Concentración final de Fe mg/L	Concentración inicial de Cd mg/L	Concentración final de Cd mg/L
1	0.0051	0.0064	0.67	0.016*	0.00011	0.00079
2	0.0051	0.0094	0.67	0.016*	0.00011	0.00114
3	0.0051	0.0026*	0.67	0.016*	0.00011	0.00011*
4	0.0051	0.0026*	0.67	0.016*	0.00011	0.00011*
5	0.0051	0.0026*	0.67	0.016*	0.00011	0.00011*
6	0.0051	0.0026*	0.67	0.016*	0.00011	0.00011*
7	0.0051	0.0026*	0.67	0.035	0.00011	0.00011*
8	0.0051	0.0026*	0.67	0.016*	0.00011	0.00052
9	0.0051	0.0091	0.67	0.016*	0.00011	0.00112
10	0.0051	0.0074	0.67	0.016*	0.00011	0.00031
11	0.0051	0.0081	0.67	0.016*	0.00011	0.00024
12	0.0051	0.0026*	0.67	0.016*	0.00011	0.00011*
13	0.0051	0.0026*	0.67	0.016*	0.00011	0.00011*

*LD por debajo del límite de detección.

4.3.1. Concentración inicial y final de Pb

En la tabla 15, se evidencia las concentraciones de Pb, mostraron los resultados, según la dosis, tiempo y pH. En los tratamientos 1 y 2, con 1 y 5 g de quitosano, 30 min de contacto y pH 5, las concentraciones finales de Pb fueron mayores que las iniciales (0.0064 mg/L y 0.0094 mg/L frente a 0.0051 mg/L). En los tratamientos 3 a 8, con 1 y 5 g de quitosano y 90 min de contacto a pH 5 y 9, la concentración final de Pb se ha disminuido a 0.0026 mg/L desde 0.0051 mg/L. En los tratamientos 9, 10 y 11, con 3 g de quitosano y 60 min de contacto a pH 7, las concentraciones finales de Pb fueron mayores que la inicial (0.0091 mg/L, 0.0074 mg/L y 0.0081 mg/L frente a 0.0051 mg/L). Finalmente, en los tratamientos 12 y 13, con 3 g de quitosano y 60 min de contacto a pH 7, la concentración final de Pb se disminuyó a 0.0026 mg/L.

La baja disminución de Pb podría ser atribuida a la competencia con otros metales presentes en la muestra. Es probable que, durante el proceso de adsorción, otros metales en la solución compitieron con el plomo por los sitios de adsorción en el quitosano, lo que resultó una eficiencia reducida de plomo. Cabe señalar que en una muestra de agua se encuentran diferentes iones metálicos (Ayub et al., 2020; J. Wang et al., 2014). Por otro lado, la baja disminución podría deberse a que las concentraciones finales están por debajo del límite de detección del método (0.0026 mg/L para Pb), lo que limita la precisión en la medición de plomo y no necesariamente refleja la verdadera eficiencia de adsorción.

El aumento de la concentración de plomo en algunos tratamientos, podría deberse, como menciona Terkula et al. (2022) indicando en su estudio que el quitosano depende de la fuente utilizada. Además, Sarkar et al. (2016) y S. Ahmed et al. (2023) observaron que la concentración de plomo en los caparazones de cangrejos y camarones oscilaron entre 0,08 a 0,093 mg/kg. Asimismo, Yu et al. (2020), señalaron, que los crustáceos pueden contaminarse con metales directamente del agua ingiriendo a través de la cadena alimentaria. En conclusión, es probable que el aumento de la concentración de Pb en el presente estudio, se deba a que los caparazones recolectados de los mercados provenían de aguas contaminadas con Pb.

4.3.2. Concentración inicial y final de Fe

En la tabla 15, se evidencia las concentraciones iniciales de 0.67 mg/L de Fe, mostraron los resultados, según la dosis, tiempo y pH. En general, con dosis de 1, 3 y 5 g de quitosano y tiempo de 30, 60 y 90 min, la concentración de hierro ha disminuido de manera consistente a 0.016 mg/L, independientemente del pH 5, 7 y 9. Sin embargo, el tratamiento con 1 g, 90 min y pH 9 mostró una concentración final de hierro es ligeramente menor con una concentración de 0.035 mg/L de Fe.

En el estudio realizado por Mounes et al. (2021), se afirma que la dosis no tenía un efecto significativo estadísticamente en la adsorción de Fe. Sin embargo, al incrementar gradualmente la dosis, observaron un aumento en la eficiencia de adsorción, alcanzando un 94.07 % a una dosis de 10 g. Esta observación difiere de los resultados obtenidos en el presente estudio, es posible que estas diferencias sean por las concentraciones iniciales. En nuestro caso, se estudió a una concentración inicial de 0.67 mg/L, mientras que Mounes et al. optaron por una concentración inicial de 1 mg/L. En condiciones de baja concentración, es probable que la capacidad de adsorción se haya saturado rápidamente al punto en el que la superficie del adsorbente está completamente ocupada, lo que resulta una alta eficiencia de remoción, así como indican Yan et al. (2018).

4.3.3. Concentración inicial y final de Cd

En la tabla 15, se observa una concentración inicial de 0.00011 mg/L de Cd con dosis de 1, 3 y 5 g, tiempo 30, 60 y 90 min y pH 5, 7 y 9. En los tratamientos 1, 2, 8, 9, 10 y 11 ha incrementado el cadmio. Esto podría ser, como menciona, M. K. Ahmed et al. (2014) y Bogdanović et al. (2014), encontraron un alto contenido de Cd de 1.51 mg/kg en los caparzones de crustáceos. mientras que Baki et al. (2018), indicaron que la principal fuente de contaminación por Cd en los cangrejos y camarones es el uso de fertilizantes y desechos industriales. Estos hallazgos sugieren una posible limitación en la capacidad del quitosano para adsorber eficazmente el Cd, subrayando la importancia de considerar las características de las materias primas, es decir que el aumento se deba a que los caparzones adquiridos estuvieron contaminados por Cd. En cambio, en los tratamientos 3, 4, 5, 6, 7, 12, y 13 las concentraciones finales están por debajo del límite de detección del método, lo que limita la precisión en la medición de cadmio y no necesariamente refleja la verdadera eficiencia de adsorción.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En el proceso de obtención de quitosano a partir de los caparazones de crustáceos mediante el método químico presentó propiedades fisicoquímicas, con un grado de desacetilación (DD) de 81.52 %, al eliminarse una gran cantidad de los grupos acetilo, el quitosano se convierte en un excelente adsorbente para adsorber metales debido a la presencia de grupos amina (-NH₂) e hidroxilo (-OH). El rendimiento de quitosano a partir de 100 g fue un 74.24 % y presenta un color blanco ligeramente amarillo.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la eficiencia de remoción en la capacidad de adsorción a dosis de 1, 3 y 5 g, tiempo 30, 60 y 90 min y variación de pH 5, 7 y 9, para Pb, a una concentración inicial de 0.0051 mg/L se removió un 49.02 % alcanzado a una concentración final de 0.0026 mg/L en los tratamientos T3, T4, T5, T6, T7, T8, T12, T13, por otro lado, para Fe, a una concentración inicial de 0.67 mg/L, se logró remover un 97.61 %, disminuyendo la concentración final a 0.016 mg/L, no obstante, en el tratamiento T7, se alcanzó una remoción de 94.80 % disminuyendo la concentración final a 0.035 mg/L de Fe, sin embargo, para Cd a una concentración inicial de 0.00011 mg/L, no se logró una remoción, demostrando que el quitosano es un adsorbente viable para la remoción de hierro y plomo.

Las concentraciones de Pb, Fe y Cd antes y después del tratamiento con quitosano, para plomo la concentración inicial es de 0.0051 mg/L, en los tratamientos T3, T4, T5, T6, T7, T8, T12, T13 la concentración final ha disminuido a 0.0026 mg/L, el hierro con una concentración inicial de 0.67 mg/L de Fe, ha disminuido de manera significativa a 0.016 mg/L y 0.035 mg/L y finalmente para Cd en los tratamientos T3, T4, T5, T6, T7, T12, y T13 las concentraciones finales están por debajo del límite de detección del método, lo que limita la precisión en la medición de cadmio y no necesariamente refleja la verdadera eficiencia de adsorción.

5.2. Recomendaciones

Se sugiere que en futuras investigaciones que utilicen quitosano se preste especial atención a la procedencia de los caparzones y a su caracterización exhaustiva. Esto garantizará la fiabilidad y consistencia de los resultados obtenidos, evitando posibles interferencias en la adsorción de metales y es fundamental analizar si los caparzones contienen metales o impurezas que puedan afectar la eficiencia del quitosano como adsorbente.

Se recomienda en futuras investigaciones considerar el estudio de metales adicionales como Zn, Cu y Mn, además de Pb, Fe y Cd, aunque esta tesis se ha centrado en Pb, Fe y Cd, el quitosano ha mostrado una buena afinidad por Zn, Cu y Mn, en el estudio, se observó que el pH, la dosis y el tiempo de contacto también influyen en la eficiencia de remoción para estos metales

BIBLIOGRAFÍA

- Abdou, E. S., Nagy, K. S. A., & Elsabee, M. Z. (2008). Extraction and characterization of chitin and chitosan from local sources. *Bioresource Technology*, 99(5), 1359–1367. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.051>
- Abdulwadud, A., & Muhammed, I. (2013). *Extraction and Characterisation of Chitin and Chitosan from*. 3(2), 108–115.
- Abhinaya, M., Parthiban, R., Kumar, P. S., & Vo, D. N. (2021). A review on cleaner strategies for extraction of chitosan and its application in toxic pollutant removal. *Environmental Research*, 196(March), 110996. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110996>
- Afifah, N., Syafiqah, A., Mubin, A., Nur, S., Noor, A., Ahmad, N., Zulkifli, M., Sohrab, M., & Naim, A. (2023). Magnetic chitosan hydrogel beads as adsorbent for copper removal from aqueous solution. *Materials Today: Proceedings*, 74, 499–503. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.12.018>
- Aguirre, N. Y. (2017). Adsorción de metales pesados (Pb y As) con carbón activado a partir de semillas de eucalipto (*eucalyptus globulus*). In *Universidad Nacional del Altiplano Puno*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7397>
- Ahmed, M. K., Parvin, E., Islam, M. M., Akter, M. S., Khan, S., & Al-Mamun, M. H. (2014). Lead- and cadmium-induced histopathological changes in gill, kidney and liver tissue of freshwater climbing perch *Anabas testudineus* (Bloch, 1792). *Chemistry and Ecology*, 30(6), 532–540. <https://doi.org/10.1080/02757540.2014.889123>
- Ahmed, S., Uddin, M. F., Hossain, M. S., Jubair, A., Islam, M. N., & Rahman, M. (2023). Heavy metals contamination in shrimp and crab from southwest regions in Bangladesh: Possible health risk assessment. *Toxicology Reports*, 10, 580–588. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2023.05.001>
- Al-Saydeh, S. A., El-Naas, M. H., & Zaidi, S. J. (2017). Copper removal from industrial wastewater: A comprehensive review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 56, 35–44. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2017.07.026>
- Alaswad, S. O., Lakshmi, K. B., Sudha, P. N., Gomathi, T., & Arunachalam, P. (2020). Toxic heavy metal cadmium removal using chitosan and polypropylene based fiber

- composite. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 1809–1824.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.252>
- Alca, F., & Wid, N. (2016). Extraction and Characterization of Chitosan from Shrimp Shell Waste in Sabah The production of chitosan View project Extraction and Characterization of Chitosan from Shrimp Shell Waste in Sabah. In *Transactions on Science and Technology* (Vol. 3, Issue 2).
<https://www.researchgate.net/publication/312498253>
- Ali, N., Khan, A., Bilal, M., Malik, S., Badshah, S., & Iqbal, H. M. N. (2020). Chitosan-based bio-composite modified with thiocarbamate moiety for decontamination of cations from the aqueous media. *Molecules*, 25(1).
<https://doi.org/10.3390/molecules25010226>
- Aljar, M. A. A., Rashdan, S., Almutawah, A., & El-Fattah, A. A. (2023). Synthesis and Characterization of Biodegradable Poly(vinyl alcohol)-Chitosan/Cellulose Hydrogel Beads for Efficient Removal of Pb(II), Cd(II), Zn(II), and Co(II) from Water. *Gels*, 9(4), 328. <https://doi.org/10.3390/gels9040328>
- ALSamman, M. T., & Sánchez, J. (2021). Recent advances on hydrogels based on chitosan and alginate for the adsorption of dyes and metal ions from water. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(12), 103455. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103455>
- ANA. (2016). Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. In *Autoridad Nacional del Agua* (p. 85).
https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/protocolo_nacional_para_el_monitoreo_de_la_calidad_de_los_recursos_hidricos_superficiales.pdf
- Arbia, W., Arbia, L., Adour, L., & Amrane, A. (2013). Chitin Extraction from Crustacean Shells Using Biological Methods. *Chitin Recovery Using Biological Methods, Food Technol. Biotechnol*, 51(1), 12–25.
- Arteaga, R. (2018). *Evaluación de metales pesados en agua del río Ramis sector Crucero - San Anton y su interpretación en software*.
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8864?show=full>
- Atangana, E., & Oberholster, P. J. (2020). *Modified Biopolymer (Chitin – Chitosan Derivatives) for the Removal of Heavy Metals in Poultry Wastewater*. 388–398.

- Ayub, A., Raza, Z. A., Majeed, M. I., Tariq, M. R., & Irfan, A. (2020). Development of sustainable magnetic chitosan biosorbent beads for kinetic remediation of arsenic contaminated water. *International Journal of Biological Macromolecules*, *163*, 603–617. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.06.287>
- Bak, J., Thomas, P., & Kołodyńska, D. (2022). Chitosan-Modified Biochars to Advance Research on Heavy Metal Ion Removal: Roles, Mechanism and Perspectives. *Materials*, *15*(17), 6108. <https://doi.org/10.3390/ma15176108>
- Bakar, S. A., Mohamed, R. M. S. R., Al-Gheethi, A., Khamidun, M. H., Musa, S., & Soon, C. F. (2023). Kinetics and isotherms of heavy metals removal from laundry greywater by chitosan ceramic beads. *Environmental Advances*, *13*, 100391. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100391>
- Baki, M. A., Hossain, M. M., Akter, J., Quraishi, S. B., Haque Shojib, M. F., Atique Ullah, A. K. M., & Khan, M. F. (2018). Concentration of heavy metals in seafood (fishes, shrimp, lobster and crabs) and human health assessment in Saint Martin Island, Bangladesh. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *159*, 153–163. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.04.035>
- Begum, S., Yuhana, N. Y., Md Saleh, N., Kamarudin, N. H. N., & Sulong, A. B. (2021). Review of chitosan composite as a heavy metal adsorbent: Material preparation and properties. *Carbohydrate Polymers*, *259*(September 2020), 117613. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117613>
- Beil, S., Schamberger, A., Naumann, W., Machill, S., & van Pée, K.-H. (2012). Determination of the degree of N-acetylation (DA) of chitin and chitosan in the presence of water by first derivative ATR FTIR spectroscopy. *Carbohydrate Polymers*, *87*(1), 117–122. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.07.025>
- Belizario, G., Capacoila, J., Huaquisto, E., Cornejo, D. A., & Chui, H. N. (2019). Determinación del contenido de fósforo y arsénico, y de otros metales contaminantes de las aguas superficiales del río Coata, afluente del Lago Titicaca, Perú. *Revista Boliviana de Química*, *36*(5), 223–228. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.36.5.4>
- Benettayeb, A., Seihoub, F. Z., Pal, P., Ghosh, S., Usman, M., Chia, C. H., Usman, M., & Sillanpää, M. (2023). Chitosan Nanoparticles as Potential Nano-Sorbent for Removal of Toxic Environmental Pollutants. *Nanomaterials*, *13*(3), 447.

<https://doi.org/10.3390/nano13030447>

- Benson, N. U., Adedapo, A. E., Fred-Ahmadu, O. H., Williams, A. B., Udosen, E. D., Ayejuyo, O. O., & Olajire, A. A. (2018). New ecological risk indices for evaluating heavy metals contamination in aquatic sediment: A case study of the Gulf of Guinea. *Regional Studies in Marine Science*, *18*, 44–56. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2018.01.004>
- Bertoni, F. A., González, J. C., García, S. I., Sala, L. F., & Bellú, S. E. (2018). Application of chitosan in removal of molybdate ions from contaminated water and groundwater. *Carbohydrate Polymers*, *180*(June 2017), 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.10.027>
- Bhatt, P., Joshi, S., Urper Bayram, G. M., Khati, P., & Simsek, H. (2023). Developments and application of chitosan-based adsorbents for wastewater treatments. *Environmental Research*, *226*(November 2022), 115530. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115530>
- Boultif, W., Dehchar, C., Belhocine, Y., Zouaoui, E., Rahali, S., Zouari, S. E., Sbei, N., & Seydou, M. (2023). Chitosan and Metal Oxide Functionalized Chitosan as Efficient Sensors for Lead (II) Detection in Wastewater. *Separations*, *10*(9), 479. <https://doi.org/10.3390/separations10090479>
- Brandes, R., Brouillette, F., & Chabot, B. (2021). Phosphorylated cellulose/electrospun chitosan nanofibers media for removal of heavy metals from aqueous solutions. *Journal of Applied Polymer Science*, *138*(11), 50021. <https://doi.org/10.1002/app.50021>
- Chai, Y., Zhang, Y., Tan, Y., Li, Z., Wei, H., Sun, C., Jin, H., Mu, Z., & Ma, L. (2023). Life cycle assessment of high concentration organic wastewater treatment by catalytic wet air oxidation. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, *56*, 80–88. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2022.07.030>
- Chattopadhyay, D. P., & Inamdar, M. S. (2010). Aqueous Behaviour of Chitosan. *International Journal of Polymer Science*, *2010*, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2010/939536>
- Chelu, M., Musuc, A. M., Popa, M., & Calderon Moreno, J. M. (2023). Chitosan Hydrogels for Water Purification Applications. *Gels*, *9*(8), 664. <https://doi.org/10.3390/gels9080664>

- Choque, H. E., & Oviedo, J. C. (2020). *Estudio de evaluación de bioadsorbentes (quitina y quitosano) para la remoción de las aguas con contenido de metales pesados*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Cornejo, D., & Pacheco, M. (2009). Contaminación de aguas y sedimentos por As, Pb y Hg de la cuenca del río Ramis, Puno - Perú. *Revista De Investigaciones De La Escuela De Posgrado De La UNA PUNO*, 5(4), 33–46. <http://revistas.unap.edu.pe/epg/index.php/investigaciones/article/view/13/10>
- Cruz, J. C. (2023). *Remoción de metales pesados de aguas residuales aprovechando los desechos de camarón*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Da Silva Alves, D. C., Healy, B., Pinto, L. A. de A., Cadaval, T. R. S., & Breslin, C. B. (2021). Recent Developments in Chitosan-Based Adsorbents for the Removal of Pollutants from Aqueous Environments. *Molecules*, 26(3), 594. <https://doi.org/10.3390/molecules26030594>
- Dávila, F. A., Plasencia, M., Monge, O., Martín, A. R., de la Vega, J., & Almendariz, F. J. (2022). Influence of initial copper concentration, pH, and cross-linked alginate-chitosan and alginate-chitosan-*Aspergillus australensis* composite beads on the adsorption capacity and removal efficiency of copper ions. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 21(3), 1–22. <https://doi.org/10.24275/rmiq/IA2892>
- Doshi, B., Ayati, A., Tanhaei, B., Repo, E., & Sillanpää, M. (2018). Partially carboxymethylated and partially cross-linked surface of chitosan versus the adsorptive removal of dyes and divalent metal ions. *Carbohydrate Polymers*, 197, 586–597. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.06.032>
- El-saied, H. A., & Motawea, E. A.-T. (2020). Optimization and Adsorption Behavior of Nanostructured NiFe₂O₄/Poly AMPS Grafted Biopolymer. *Journal of Polymers and the Environment*, 28(9), 2335–2351. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01774-z>
- El Knidri, H., Belaabed, R., Addaou, A., Laajeb, A., & Lahsini, A. (2018). Extraction, chemical modification and characterization of chitin and chitosan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120, 1181–1189. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.08.139>
- Flores, G. (2018). Evaluación físico - química de metales tóxicos en el río grande, Ananea - Crucero Puno. *Revista de Investigaciones*, 7(2), 548–561.

<https://doi.org/10.26788/riepg.2018.2.79>

Fu, Z., & Xi, S. (2020). The effects of heavy metals on human metabolism. *Toxicology Mechanisms and Methods*, 30(3), 167–176. <https://doi.org/10.1080/15376516.2019.1701594>

Gallardo, D., Bruguera, N., Díaz, J. A., & Cabrera, I. (2015). Impacto provocado por la minería en la zona de Santa Lucía: evaluación físico-química. *Environmental Impacts Assessment from Mining Operations in Santa Lucia: Physic Chemical Evaluation.*, 31(4), 100–120. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=113370359&lang=es&site=ehost-live>

Gamage, A., Jayasinghe, N., Thiviya, P., Wasana, M. L. D., Merah, O., Madhujith, T., & Koduru, J. R. (2023). Recent Application Prospects of Chitosan Based Composites for the Metal Contaminated Wastewater Treatment. *Polymers*, 15(6), 1453. <https://doi.org/10.3390/polym15061453>

Gammons, C. H., Slotton, D. G., Gerbrandt, B., Weight, W., Young, C. A., McNearny, R. L., Cámac, E., Calderón, R., & Tapia, H. (2006). Mercury concentrations of fish, river water, and sediment in the Río Ramis-Lake Titicaca watershed, Peru. *Science of The Total Environment*, 368(2–3), 637–648. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.076>

Ghannam, H. E., Shama, S. A. ., Talab, A. S., El-Sharkawy, A. M., & Abbas, K. O. (2019). Adsorption of heavy metals from polluted water using low cost materials. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 23(4), 275–284. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2019.54225>

Ghorab, M. A. (2018). Environmental Pollution by Heavy Metals in the Aquatic Ecosystems of Egypt. *Open Access Journal of Toxicology*, 3(1). <https://doi.org/10.19080/OAJT.2018.03.555603>

Giri, S. (2021). Water quality prospective in Twenty First Century: Status of water quality in major river basins, contemporary strategies and impediments: A review. *Environmental Pollution*, 271, 116332. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116332>

Gokila, S., Gomathi, T., Sudha, P. N., & Anil, S. (2017). Removal of the heavy metal ion chromium(VI) using Chitosan and Alginate nanocomposites. *International Journal of*

- Gonçalves, J. O., Esquerdo, V. M., Sant'Anna Cadaval, T. R., & de Almeida Pinto, L. A. (2019). Chitosan-Based Hydrogels. In E. Lichtfouse (Ed.), *Sustainable Agriculture Reviews* (Vol. 11, pp. 147–173). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-3-030-16581-9_5
- Gupta, A., Sharma, V., Sharma, K., Kumar, V., Choudhary, S., Mankotia, P., Kumar, B., Mishra, H., Moulick, A., Ekielski, A., & Mishra, P. K. (2021). A Review of Adsorbents for Heavy Metal Decontamination: Growing Approach to Wastewater Treatment. *Materials*, 14(16), 4702. <https://doi.org/10.3390/ma14164702>
- Gutierrez, L. (2022). Removal of heavy metals from the RMoch6 point of the Moche River by means of commercial chitosan biopolymer. *Revista Ciencia y Tecnología*, 18(1), 205–214. <https://doi.org/10.17268/rev.cyt.2022.01.15>
- Gutiérrez, P., & De la Vara, R. (2014). *Análisis y diseño de experimentos*.
- Hafsa, J., Smach, M. A., Charfeddine, B., Limem, K., Majdoub, H., & Rouatbi, S. (2016). Antioxidant and antimicrobial proprieties of chitin and chitosan extracted from *Parapenaeus Longirostris* shrimp shell waste. *Annales Pharmaceutiques Françaises*, 74(1), 27–33. <https://doi.org/10.1016/j.pharma.2015.07.005>
- Hamed, I., Özogul, F., & Regenstien, J. M. (2016). Industrial applications of crustacean by-products (chitin, chitosan, and chitooligosaccharides): A review. *Trends in Food Science & Technology*, 48, 40–50. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.11.007>
- Hamsina, H., Surya, B., Muhammadiyah, M., Anggraini, N., & Indrawati, E. (2021). Chitosan membrane technology as adsorbent media: Management of Tallo River Basin Makassar City, South Sulawesi, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 802(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/802/1/012018>
- Haripriyan, U., Gopinath, K. P., & Arun, J. (2022). Chitosan based nano adsorbents and its types for heavy metal removal: A mini review. *Materials Letters*, 312(January), 131670. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.131670>
- He, Y., Zhang, P., & Wang, L. (2023). Adsorption and Removal of Cr⁶⁺, Cu²⁺, Pb²⁺, and Zn²⁺ from Aqueous Solution by Magnetic Nano-Chitosan. *Molecules*, 28(6), 2607.

<https://doi.org/10.3390/molecules28062607>

- Huang, C., Huang, Y., Xie, T., Yu, W., & Ai, S. (2021). Adsorption Mechanism of Bentonite with Dispersed Chitosan for Cadmium Ions. *Chemical Engineering and Technology*, 44(3), 441–448. <https://doi.org/10.1002/ceat.202000505>
- Humelnicu, D., Dragan, E. S., Ignat, M., & Dinu, M. V. (2020). A Comparative Study on Cu²⁺, Zn²⁺, Ni²⁺, Fe³⁺, and Cr³⁺ Metal Ions Removal from Industrial Wastewaters by Chitosan-Based Composite Cryogels. *Molecules*, 25(11), 2664. <https://doi.org/10.3390/molecules25112664>
- Hussain, A., Maitra, J., & Khan, K. A. (2017). Development of biochar and chitosan blend for heavy metals uptake from synthetic and industrial wastewater. *Applied Water Science*, 7(8), 4525–4537. <https://doi.org/10.1007/s13201-017-0604-7>
- Igberase, E., & Osifo, P. (2015). Equilibrium, kinetic, thermodynamic and desorption studies of cadmium and lead by polyaniline grafted cross-linked chitosan beads from aqueous solution. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 26, 340–347. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2014.12.007>
- Ilyas, H. N., Zia, K. M., Rehman, S., Ilyas, R., & Sultana, S. (2021). Utilization of Shellfish Industrial Waste for Isolation, Purification, and Characterizations of Chitin From Crustacean's Sources in Pakistan. *Journal of Polymers and the Environment*, 29(7), 2337–2348. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-02037-7>
- Kadawathagedara, M., De Lauzon-Guillain, B., & Botton, J. (2018). Environmental contaminants and child's growth. *Journal of Developmental Origins of Health and Disease*, 9(6), 632–641. <https://doi.org/10.1017/S2040174418000995>
- Karimi, F., Ayati, A., Tanhaei, B., Sanati, A. L., Afshar, S., Kardan, A., Dabirifar, Z., & Karaman, C. (2022). Removal of metal ions using a new magnetic chitosan nano-bio-adsorbent; A powerful approach in water treatment. *Environmental Research*, 203(July 2021), 111753. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111753>
- Karnib, M., Kabbani, A., Holail, H., & Olama, Z. (2014). Heavy Metals Removal Using Activated Carbon, Silica and Silica Activated Carbon Composite. *Energy Procedia*, 50, 113–120. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.014>
- Kaur, S., & Dhillon, G. S. (2015). Recent trends in biological extraction of chitin from

- marine shell wastes: a review. *Critical Reviews in Biotechnology*, 35(1), 44–61. <https://doi.org/10.3109/07388551.2013.798256>
- Kaveeshwar, A. R., Sanders, M., Ponnusamy, S. K., Depan, D., & Subramaniam, R. (2018). Chitosan as a biosorbent for adsorption of iron (II) from fracking wastewater. *Polymers for Advanced Technologies*, 29(2), 961–969. <https://doi.org/10.1002/pat.4207>
- Khalid, A. M., Hossain, M. S., Khalil, N. A., Zulkifli, M., Arafath, M. A., Shaharun, M. S., Ayub, R., Ahmad Yahaya, A. N., & Ismail, N. (2023). Adsorptive Elimination of Heavy Metals from Aqueous Solution Using Magnetic Chitosan/Cellulose-Fe(III) Composite as a Bio-Sorbent. *Nanomaterials*, 13(10), 1595. <https://doi.org/10.3390/nano13101595>
- Khanniri, E., Yousefi, M., Mortazavian, A. M., Khorshidian, N., Sohrabvandi, S., Arab, M., & Koushki, M. R. (2021). Effective removal of lead (II) using chitosan and microbial adsorbents: Response surface methodology (RSM). *International Journal of Biological Macromolecules*, 178, 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.02.065>
- Kolya, H., & Kang, C.-W. (2023). Next-Generation Water Treatment: Exploring the Potential of Biopolymer-Based Nanocomposites in Adsorption and Membrane Filtration. *Polymers*, 15(16), 3421. <https://doi.org/10.3390/polym15163421>
- Kou, S. (Gabriel), Peters, L. M., & Mucalo, M. R. (2021). Chitosan: A review of sources and preparation methods. *International Journal of Biological Macromolecules*, 169, 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.005>
- Kumar, V., Parihar, R. D., Sharma, A., Bakshi, P., Singh Sidhu, G. P., Bali, A. S., Karaouzas, I., Bhardwaj, R., Thukral, A. K., Gyasi-Agyei, Y., & Rodrigo-Comino, J. (2019). Global evaluation of heavy metal content in surface water bodies: A meta-analysis using heavy metal pollution indices and multivariate statistical analyses. *Chemosphere*, 236, 124364. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124364>
- Lan, Z., Lin, Y., & Yang, C. (2022). Lanthanum-iron incorporated chitosan beads for adsorption of phosphate and cadmium from aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal*, 448(June), 137519. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.137519>
- Larios, F., González, C., & Morales, Y. (2016). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *ISRN Public Health*, 2, 1–12. <https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/115>

- Matamet, F. R. M., & Bonotto, D. M. (2019). Sedimentation rates at Ramis River, Peruvian Altiplano, South America. *Environmental Earth Sciences*, 78(6), 230. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8233-0>
- MINAM. (2012). *Gestión Ambiental Peruana*. Ministerio de Ambiente.
- MINAM. (2017). Aprueban Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias. *El Peruano*, 6–9. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Miranda, K. C. (2019). Evaluation of Iron Toxicity in the Tropical Fish *Leporinus friderici*. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 18(2). <https://doi.org/10.26717/BJSTR.2019.18.003127>
- Mohanasrinivasan, V., Mishra, M., Paliwal, J. S., Singh, S. K., Selvarajan, E., Suganthi, V., & Subathra Devi, C. (2014). Studies on heavy metal removal efficiency and antibacterial activity of chitosan prepared from shrimp shell waste. *3 Biotech*, 4(2), 167–175. <https://doi.org/10.1007/s13205-013-0140-6>
- Monroy, R. Y. (2019). Remoción Plomo Pb (II) de soluciones acuosas y aguas residuales de mina, por adsorción, floculación- sedimentacion de flujo ascendente BATCH utilizando Chacko (Hidralgirita) y Cal (CaO). In *Tesis* (Issue Ii). <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/11856>
- Morin-Crini, N., Lichtfouse, E., Torri, G., & Crini, G. (2019). Applications of chitosan in food, pharmaceuticals, medicine, cosmetics, agriculture, textiles, pulp and paper, biotechnology, and environmental chemistry. *Environmental Chemistry Letters*, 17(4), 1667–1692. <https://doi.org/10.1007/s10311-019-00904-x>
- Mostafa, B. B., & El-latif, M. B. A. (2020). *Industrial wastewater remediation using Hematite@Chitosan nanocomposite*. 24(1), 13–29. www.ejabf.journals.ekb.eg%0AIndustrial
- Mounes, H. A. ., Ahmed, K. ., & Reham, A. . (2021). Effect of Using Chitosan as Adsorbing Material for Reducing Heavy Metals Content from Synthetic Polluted Water. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, B. Zoology*, 13(1), 31–44. <https://doi.org/10.21608/eajbsz.2021.139403>
- Nerdy, N., Lestari, P., Simorangkir, D., Aulianshah, V., Yusuf, F., & Bakri, T. K. (2022).

- Comparison of chitosan from crab shell waste and shrimp shell waste as natural adsorbent against heavy metals and dyes. *International Journal of Applied Pharmaceutics*, 14(2), 181–185. <https://doi.org/10.22159/ijap.2022v14i2.43560>
- Nguyen, H. T., & Bui, H. M. (2021). Adsorption of nitrate and phosphate in an aqueous solution on composites of PVA and chitosan prepared from a *Somaniathelphusa sinensis* shell. *Water Science and Technology: Water Supply*, 21(2), 765–779. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.362>
- Nishad, P. A., Ajaykumar, A., & Bhaskarapillai, A. (2023). Enhancing the metal ion binding characteristics and reversal of selectivity of crosslinked chitosan sorbents through functionalisation for targeted applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 246(May), 125720. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125720>
- Novikov, V. Y., Rysakova, K. S., Shumskaya, N. V., Mukhortova, A. M., & Kesarev, K. A. (2023). King crab gills as a new source of chitin/chitosan and protein hydrolysates. *International Journal of Biological Macromolecules*, 232(January), 123346. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123346>
- Olayinka, Ibigbami, T. B., & Odeja, O. (2016). Effect of Chitosan Powder Prepared from Snail Shells to Remove Lead (II) Ion and Nickel (II) Ion from Aqueous Solution and Its Adsorption Isotherm Model. *American Journal of Applied Chemistry*, 4(4), 146. <https://doi.org/10.11648/j.ajac.20160404.15>
- Omer, A. M., Dey, R., Eltaweil, A. S., Abd El-Monaem, E. M., & Ziora, Z. M. (2022). Insights into recent advances of chitosan-based adsorbents for sustainable removal of heavy metals and anions. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(2), 103543. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103543>
- ONU. (2023). Water and Sustainable Development From vision to action: Means and tools for Implementation and the role of different actors. *UN-Water Zaragoza Conference*, 1(11), 68. https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/WaterandSD_Vision_to_Action-2.pdf
- Pandey, L. M. (2021). Surface engineering of nano-sorbents for the removal of heavy metals: Interfacial aspects. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), 104586. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104586>
- Paucar, F., & Iturregui, P. (2020). The challenges of wastewater reuse in Peru. *South*

Sustainability, 1, e004. <https://doi.org/10.21142/SS-0101-2020-004>

- Pellis, A., Guebitz, G. M., & Nyanhongo, G. S. (2022). Chitosan: Sources, Processing and Modification Techniques. *Gels*, 8(7), 393. <https://doi.org/10.3390/gels8070393>
- Peralta, M. E., Nisticò, R., Franzoso, F., Magnacca, G., Fernandez, L., Parolo, M. E., León, E. G., & Carlos, L. (2019). Highly efficient removal of heavy metals from waters by magnetic chitosan-based composite. *Adsorption*, 25(7), 1337–1347. <https://doi.org/10.1007/s10450-019-00096-4>
- Popa, A., Visa, A., Maranescu, B., Hulka, I., & Lupa, L. (2021). Chemical modification of chitosan for removal of Pb(II) ions from aqueous solutions. *Materials*, 14(24). <https://doi.org/10.3390/ma14247894>
- Prakash, N., Latha, S., Sudha, P. N., & Renganathan, N. G. (2013). Influence of clay on the adsorption of heavy metals like copper and cadmium on chitosan. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(2), 925–938. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-0935-8>
- Puvvada, Y. S., Vankayalapati, S., & Sukhavasi, S. (2012). Extraction of chitin from chitosan from exoskeleton of shrimp for application in the pharmaceutical industry. *International Current Pharmaceutical Journal*, 1(9), 258–263. <https://doi.org/10.3329/icpj.v1i9.11616>
- Quispe, R. F., Belizario, G., Chui, H. N., Huaquisto, S., Calatayud, A. P., & Yábar, P. S. (2019). Concentración de metales pesados: Cromo, cadmio y plomo en los sedimentos superficiales en el río Coata, Perú. *Revista Boliviana de Química*, 2(36.2), 83–90. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.36.2.3>
- Rahaman, M. H., Islam, M. A., Islam, M. M., Rahman, M. A., & Alam, S. M. N. (2021). Biodegradable composite adsorbent of modified cellulose and chitosan to remove heavy metal ions from aqueous solution. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4, 100119. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100119>
- Rahman, A., Haque, M. A., Ghosh, S., Shinu, P., Attimarad, M., & Kobayashi, G. (2023). Modified Shrimp-Based Chitosan as an Emerging Adsorbent Removing Heavy Metals (Chromium, Nickel, Arsenic, and Cobalt) from Polluted Water. *Sustainability*, 15(3), 2431. <https://doi.org/10.3390/su15032431>

- Rajamani, M., & Rajendrakumar, K. (2019). Chitosan-boehmite desiccant composite as a promising adsorbent towards heavy metal removal. *Journal of Environmental Management*, 244(May), 257–264. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.056>
- Rashid, F. H., Taha, A. ., & Hameed, N. J. (2019). Study of toxic heavy metal removal by different chitosan/hyacinths plant composite. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 50(5), 1416–1424. <https://doi.org/10.36103/ijas.v50i5.809>
- Rasweefali, M. K., Sabu, S., Muhammed Azad, K. S., Raseel Rahman, M. K., Sunooj, K. V., Sasidharan, A., & Anoop, K. K. (2022). Influence of deproteinization and demineralization process sequences on the physicochemical and structural characteristics of chitin isolated from Deep-sea mud shrimp (*Solenocera hextii*). *Advances in Biomarker Sciences and Technology*, 4(March), 12–27. <https://doi.org/10.1016/j.abst.2022.03.001>
- Rathinam, K., Singh, S. P., Arnusch, C. J., & Kasher, R. (2018). An environmentally-friendly chitosan-lysozyme biocomposite for the effective removal of dyes and heavy metals from aqueous solutions. *Carbohydrate Polymers*, 199, 506–515. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.07.055>
- Regmi, R. K., Mishra, B. K., Masago, Y., Luo, P., Toyozumi-Kojima, A., & Jalilov, S. M. (2017). Applying a water quality index model to assess the water quality of the major rivers in the Kathmandu Valley, Nepal. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(8). <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6090-4>
- Rehman, A. U., Nazir, S., Irshad, R., Tahir, K., ur Rehman, K., Islam, R. U., & Wahab, Z. (2020). Toxicity of heavy metals in plants and animals and their uptake by magnetic iron oxide nanoparticles. *Journal of Molecular Liquids*, 114455. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114455>
- Rehman, K., Fatima, F., Waheed, I., & Akash, M. S. H. (2018). Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences. *Journal of Cellular Biochemistry*, 119(1), 157–184. <https://doi.org/10.1002/jcb.26234>
- Ridwanto, Daulay, A. S., & Gurning, K. (2022). Isolation and characterization of chitosan from sea and freshwater waste, north sumatera province, Indonesia. *Rasayan Journal of Chemistry*, 15(02), 780–785. <https://doi.org/10.31788/RJC.2022.1526721>
- Romero, M. L., Sánchez, S. M., & Benavente, M. (2018). Aplicación de quitosano

- modificado en el tratamiento de aguas residuales de tenerías. *Nexo Revista Científica*, 31(2), 104–119. <https://doi.org/10.5377/nexo.v31i2.6834>
- Salas, D., Hermoza, M., & Salas, D. (2020). Distribución de metales pesados y metaloides en aguas superficiales y sedimentos del río Crucero, Perú. *Revista Boliviana de Química*, 37(4), 185–193. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.37.4.1>
- Sarkar, T., Alam, M. M., Parvin, N., Fardous, Z., Chowdhury, A. Z., Hossain, S., Haque, M. E., & Biswas, N. (2016). Assessment of heavy metals contamination and human health risk in shrimp collected from different farms and rivers at Khulna-Satkhira region, Bangladesh. *Toxicology Reports*, 3, 346–350. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2016.03.003>
- Syedmohammadi, J., Motavassel, M., Maddahi, M. H., & Nikmanesh, S. (2016). Application of nanochitosan and chitosan particles for adsorption of Zn(II) ions pollutant from aqueous solution to protect environment. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(3), 165. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0219-2>
- Sikorski, D., Gzyra-Jagiela, K., & Draczyński, Z. (2021). The Kinetics of Chitosan Degradation in Organic Acid Solutions. *Marine Drugs*, 19(5), 236. <https://doi.org/10.3390/md19050236>
- Singh, N. B., Nagpal, G., Agrawal, S., & Rachna. (2018). Water purification by using Adsorbents: A Review. *Environmental Technology & Innovation*, 11, 187–240. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.05.006>
- Sitohy, M., Ewais, A., Abdel Ghany, A. G., & Saber, R. (2022). Fully deacetylated chitosan from shrimp and crab using minimum heat input. *Egyptian Journal of Chemistry*, 66(2), 0–0. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2022.136694.6020>
- Sucapuca, R. K. (2022). *Evaluación de la calidad del agua del río Crucero, aplicando el ICA- PE y CCME-WQI en proximidades de la zona urbana del distrito de Crucero, Carabaya, Puno (Perú)*.
- Sugashini, S., & Gopalakrishnan, S. (2012). Studies on the Performance of Protonated cross linked Chitosan Beads (PCCB) for Chromium Removal. *Research Journal of Chemical Sciences*, 2(6), 55–59. www.isca.in
- Talukdar, M. I., & Hasnine, M. T. (2014). Application of Chitosan-Based Filtration

- Technique for Removal of Heavy Metals from Surface Water. *International Research Journal of Environmental Science*, 3(3), 5–10.
- Tello, E. (2017). Evaluación del quitosano obtenido a partir de escamas de la trucha arco iris (*oncorhynchus mykiss*) por métodos químicos y biológico. In *Journal of Veterinary Research* (Vol. 72, Issue 1). Universidad Nacional de San Agustín.
- Terkula, B., Azman, N., Torsabo, D., & Wese, J. (2022). A Review of Various Sources of Chitin and Chitosan in Nature. *Journal of Renewable Materials*, 10(4), 1097–1123. <https://doi.org/10.32604/jrm.2022.018142>
- Ttito, S. (2008). *Bioadsorción de plomo y cadmio por quitina de la caparazón de moluscos en aguas de actividad minera afluentes al río Ramis de la cuenca del Lago Titicaca* [Universidad Nacional de Puno]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/574>
- Tumi, J., Silva, M., Ticona, C., Sarmiento, Á., & Tumi, N. (2021). *Conocimientos de la población de Puno-Perú sobre saneamiento y factores de contaminación del Lago Titicaca y su impacto en la salud humana y el ambiente*. <https://www.redalyc.org/journal/122/12268654016/html/>
- Usman, U. L., Singh, N. B., Allam, B. K., & Banerjee, S. (2022). Plant extract mediated synthesis of Fe₃O₄-chitosan composite for the removal of lead ions from aqueous solution. *Materials Today: Proceedings*, xxx, 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.311>
- Vakili, M., Deng, S., Cagnetta, G., Wang, W., Meng, P., Liu, D., & Yu, G. (2019). Regeneration of chitosan-based adsorbents used in heavy metal adsorption: A review. *Separation and Purification Technology*, 224(May), 373–387. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.05.040>
- Wahab, F., Iber, B. T., Chik, C. E. N. C. E., Abdullah, S. R. S., Alianto, Aslamyah, S., & Kasan, N. A. (2023). Chitin and chitosan extraction: A comparison of three crab species from fresh, brackish and marine water environments. *Bioresource Technology Reports*, 23(May), 101517. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101517>
- Wang, J., Xu, W., Chen, L., Huang, X., & Liu, J. (2014). Preparation and evaluation of magnetic nanoparticles impregnated chitosan beads for arsenic removal from water. *Chemical Engineering Journal*, 251, 25–34. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.04.061>

- Wang, P., & Lo, I. M. C. (2009). Synthesis of mesoporous magnetic γ -Fe₂O₃ and its application to Cr(VI) removal from contaminated water. *Water Research*, 43(15), 3727–3734. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.05.041>
- Weißpflog, J., Gündel, A., Vehlow, D., Steinbach, C., Müller, M., Boldt, R., Schwarz, S., & Schwarz, D. (2020). Solubility and Selectivity Effects of the Anion on the Adsorption of Different Heavy Metal Ions onto Chitosan. *Molecules*, 25(11), 2482. <https://doi.org/10.3390/molecules25112482>
- Weska, R. F., Moura, J. M., Batista, L. M., Rizzi, J., & Pinto, L. A. A. (2007). Optimization of deacetylation in the production of chitosan from shrimp wastes: Use of response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 80(3), 749–753. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.02.006>
- Worch, E. (2012). Adsorption Technology in Water Treatment. In *Adsorption Technology in Water Treatment*. DE GRUYTER. <https://doi.org/10.1515/9783110240238>
- Yadav, M., Goswami, P., Paritosh, K., Kumar, M., Pareek, N., & Vivekanand, V. (2019). Seafood waste: a source for preparation of commercially employable chitin/chitosan materials. *Bioresources and Bioprocessing*, 6(1), 8. <https://doi.org/10.1186/s40643-019-0243-y>
- Yan, Y., Yuvaraja, G., Liu, C., Kong, L., Guo, K., Reddy, G. M., & Zyryanov, G. V. (2018). Removal of Pb(II) ions from aqueous media using epichlorohydrin crosslinked chitosan Schiff's base@Fe₃O₄ (ECCSB@Fe₃O₄). *International Journal of Biological Macromolecules*, 117, 1305–1313. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.05.204>
- Yang, J., Yu, Z., Yi, P., Frappe, S. K., Gong, M., & Zhang, Y. (2020). Evaluation of surface water and groundwater interactions in the upstream of Kui river and Yunlong lake, Xuzhou, China. *Journal of Hydrology*, 583(1), 124549. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124549>
- Yeh, G., Hoang, H.-G., Lin, C., Bui, X.-T., Tran, H.-T., Shern, C.-C., & Vu, C.-T. (2020). Assessment of heavy metal contamination and adverse biological effects of an industrially affected river. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(28), 34770–34780. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07737-0>
- Yilmaz, A. B., Yanar, A., & Alkan, E. N. (2017). Review of heavy metal accumulation on aquatic environment in Northern East Mediterranean Sea part I: Some essential metals.

Reviews on Environmental Health, 32(1–2), 119–163. <https://doi.org/10.1515/reveh-2016-0065>

Yotova, G., Varbanov, M., Tcherkezova, E., & Tsakovski, S. (2021). Evaluación de la calidad del agua de una cuenca fluvial mediante el índice compuesto de calidad del agua y los mapas autoorganizados. *Ecological Indicators*, 120(July 2020), 106872. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106872>

Younes, I., Hajji, S., Frachet, V., Rinaudo, M., Jellouli, K., & Nasri, M. (2014). Chitin extraction from shrimp shell using enzymatic treatment. Antitumor, antioxidant and antimicrobial activities of chitosan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 69, 489–498. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.06.013>

Younis, A. M., Aly-Eldeen, M. A., & Elkady, E. M. (2019). Effect of different molecular weights of chitosan on the removal efficiencies of heavy metals from contaminated water. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 23(4), 149–158. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2019.52591>

Zhang, Y., Wang, Y., Zhang, Z., Cui, W., Zhang, X., & Wang, S. (2021). Removing copper and cadmium from water and sediment by magnetic microspheres - MnFe₂O₄/chitosan prepared by waste shrimp shells. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), 104647. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104647>

Zia, Z., Hartland, A., & Mucalo, M. R. (2020). Use of low-cost biopolymers and biopolymeric composite systems for heavy metal removal from water. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(10), 4389–4406. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02764-3>

ANEXOS

Anexo 1. Muestreo de agua en el río Crucero



Figura 11. Recojo de muestra de agua en el río Crucero para su respectivo tratamiento

Anexo 2. Obtención del quitosano a partir de los caparazones de crustáceos mediante el método químico y pruebas de adsorción de metales empleando quitosano como adsorbente en agua

2.1. Proceso de acondicionamiento de los caparazones de crustáceos

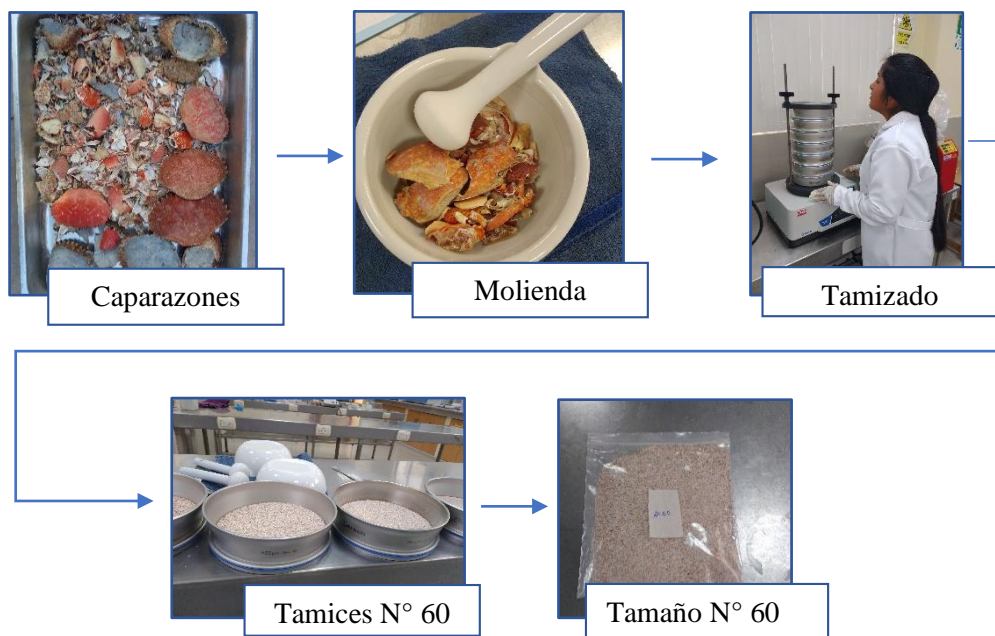


Figura 12. Proceso de acondicionamiento de caparazones de crustáceos

2.2. Procedimiento para la obtención de quitosano

- Desproteinización



Figura 13. Desproteinización química de los caparazones

- **Desmineralización**



Figura 14. Desmineralización química de los caparazones

- **Decoloración**



Figura 15. Decoloración química de los caparazones

- **Desacetilación**



Figura 16. Desacetilación química de la quitina para la obtención de quitosano

- **Obtención de quitosano**



Figura 17. Obtención de quitosano a partir de caparazones

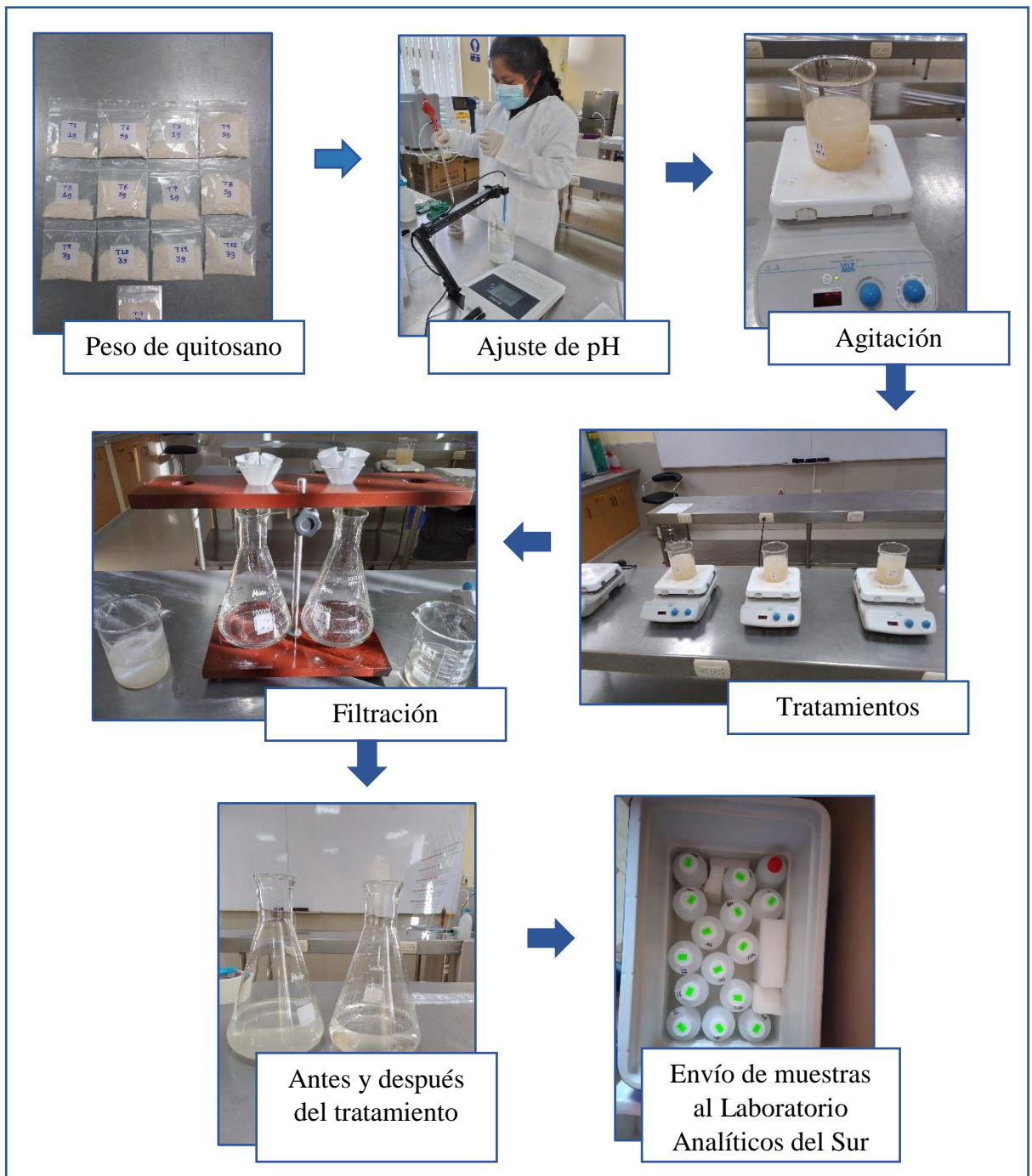


Figura 18. Pruebas de adsorción de metales empleando quitosano como adsorbente en agua

Anexo 3. Análisis de Varianza (ANOVA) de los factores dosis, tiempo y pH en función a la variable respuesta

- Donde se calcula el valor de $p < 0.05$, con un nivel de confianza 95 % con margen de error 5 %.

 - Si $p < 0.05$, los factores tienen un efecto significativo
 - Si $p > 0.05$, los factores no tienen un efecto significativo

3.1. %Pb vs Dosis, tiempo y pH

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	4	16131.2	4032.8	1.48	0.293
Lineal	3	11232.2	3744.1	1.38	0.318
Dosis de quitosano	1	432.5	432.5	0.16	0.700
Tiempo de contacto	1	5399.8	5399.8	1.99	0.196
Variación de pH	1	5399.8	5399.8	1.99	0.196
Curvatura	1	4899	4899	1.8	0.216
Error	8	21727	2715.9		
Falta de ajuste	4	6697.4	1674.4	0.45	0.774
Error puro	4	15029.6	3757.4		
Total	12	37858.2			

3.2 %Fe vs Dosis, tiempo y pH

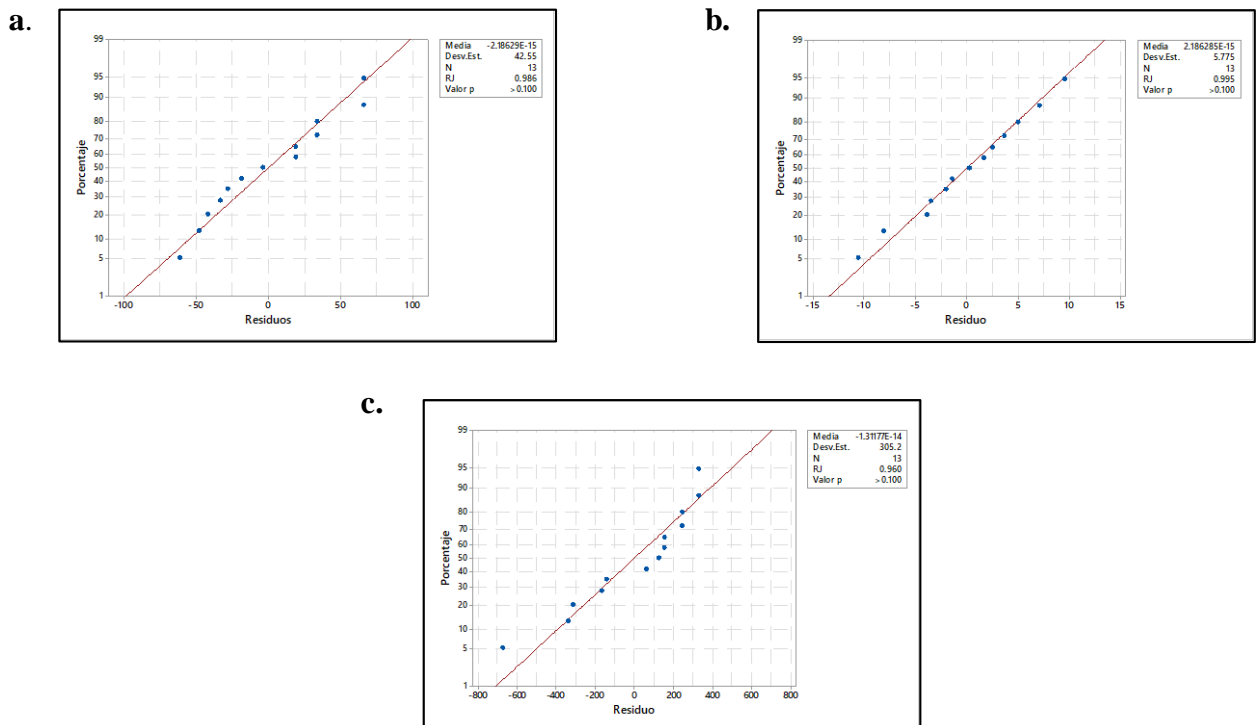
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	3.01571	1.00524	2.05	0.177
Lineal	3	3.01571	1.00524	2.05	0.177
Dosis del quitosano	1	1.00524	1.00524	2.05	0.186
Tiempo de contacto	1	1.00524	1.00524	2.05	0.186
Variación de pH	1	1.00524	1.00524	2.05	0.186
Error	9	4.40757	0.48973		
Curvatura	1	0.38663	0.38663	0.77	0.406
Falta de ajuste	4	4.02094	1.00524	*	*
Error puro	4	0	0		
Total	12	7.42327			

3.3. %Cd vs Dosis, tiempo y pH

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	4	408866	102216	0.73	0.595
Lineal	3	408843	136281	0.98	0.451
Dosis de quitosano	1	59669	59669	0.43	0.532
Tiempo de contacto	1	174587	174587	1.25	0.296
Variación de pH	1	174587	174587	1.25	0.296
Curvatura	1	23	23	0	0.99
Error	8	1118000	139750		
Falta de ajuste	4	524711	131178	0.88	0.546
Error puro	4	593289	148322		
Total	12	1526866			

3.4. Normalidad

- Nivel de significancia: 5 % ($\alpha=0.05$) y prueba estadística: Shapiro – Wilk



a) Gráfica de probabilidad de Pb; b) Gráfica de probabilidad de Fe; c) Gráfica de probabilidad de Cd

Anexo 4. Resultados de la caracterización de quitosano a partir de los caparzones de crustáceos en el equipo FITR-ATR



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS
LABORATORIO LABICER
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



INFORME DE ENSAYO N° 0847 – 23 – LABICER

- 1. DATOS DEL CLIENTE**
 - 1.1. NOMBRE / RAZÓN SOCIAL : ROSCY TAPARA PALOMINO
 - 1.2. D.N.I / R.U.C. : 71616004
 - 1.3. DIRECCIÓN : --
- 2. CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1. FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : 20 / 07 / 2023
 - 2.2. FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO : 25 / 07 / 2023
 - 2.3. FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME : 25 / 07 / 2023
- 3. ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE ESPECTROSCOPÍA INFRARROJA
- 4. DATOS DE LA MUESTRA**
 - 4.1. TIPO DE MUESTRA : POLÍMEROS
 - 4.2. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE QUITOSANO (POLÍMERO) PROCEDENTE DE CANGREJO Y CAMARONES
 - 4.3. OBSERVACIONES (SI APLICA) : MUESTRA EN POLVO
- 5. LUGAR DE RECEPCIÓN Y ANÁLISIS** : LABORATORIO LABICER-UNI
- 6. CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 22.3 °C; Humedad relativa: 61%
- 7. EQUIPO UTILIZADO**

Espectrofotómetro Infrarrojo de Transformadas de Fourier - Reflectancia total atenuada (FTIR-ATR).
PERKIN ELMER, FRONTIER.
- 8. PROCEDIMIENTO**
 - 8.1. TRATAMIENTO DE MUESTRA**

Se recibió 01 muestra de Quitosano procedente de cangrejo y camarones. Se tomó la muestra y se cuarteó fraccionando una pequeña cantidad de muestra y se colocó en la zona de lectura del equipo para proceder con el análisis.
 - 8.2. CONDICIONES ESPECTROFOTOMÉTRICAS**

TABLA N°1. Condiciones de Operación

Equipo	FTIR. PERKIN ELMER, FRONTIER
Cantidad de barridos	3
Resolución	4
Detector	MIR TGS
Fuente	MIR
Divisor de haz	OptKBr
Velocidad de barrido	0.2
Número de onda de IR-Laser	15798.00
Rango de barrido predeterminado (cm ⁻¹)	4000-400
Tipo de accesorio	Universal-ATR
Combinación cristal UATR	Diamante/KRS-5



9. RESULTADOS

9.1. ANÁLISIS DE ESPECTROFOTOMETRÍA INFRARROJA FTIR-ATR

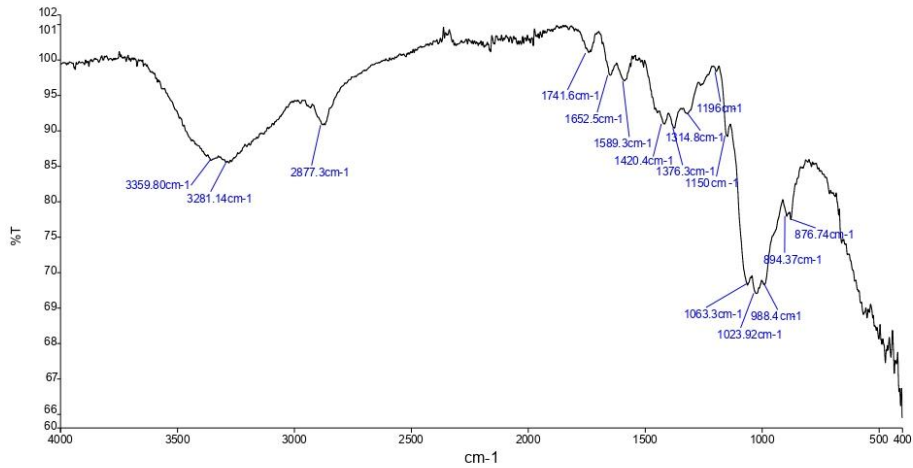


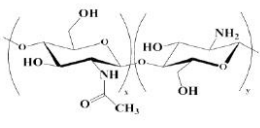
Figura N°1. Espectro infrarrojo de la muestra analizada

Tabla N°1. Tabla de frecuencias de absorción del espectro infrarrojo de la muestra

N°	Frecuencias de absorción del espectro (cm ⁻¹)
1	3359.80
2	3281.14
3	2932.30
4	2877.30
5	1741.60
6	1652.60
7	1589.50
8	1418.80
9	1374.20
10	1318.60
11	1196.50
12	1148.90
13	1062.40
14	1023.92
15	990.82
16	894.23
17	877.18



Tabla N°2. Frecuencias de absorción infrarrojas y tipos de vibración de la muestra

Frecuencia de absorción del espectro (cm ⁻¹)	Grupo funcional	Tipo de vibración	Asignación Las frecuencias de absorción del espectro FTIR de la muestra corresponden a:	
3359.80	-OH	Estiramiento O-H	 <p>Quitosano</p>	
3281.14	N-H	Estiramiento N-H		
2932.30	C-H	Estiramiento simétrico C-H		
2877.30	C-H	Estiramiento asimétrico C-H		
1652.60	Amida I	Estiramiento C=O de la amida I		
1589.50	-NH ₂	Doblaje -NH ₂		
1418.80	CH ₂	Doblaje CH ₂		
1374.20	CH ₃	Deformación simétrica		
1318.60	Amida III	Estiramiento C-N de la amida III		
1148.90	C-O-C	Estiramiento asimétrico del puente C-O-C		
1062.40 y 1023.92	C-O	Estiramiento C-O		
894.23	C-H	Estiramiento C-H de grupos anoméricos		
OBSERVACIÓN	La muestra presenta frecuencias de absorción del espectro infrarrojo que corresponden al compuesto quitosano.			

10. VALIDEZ DEL INFORME DE ENSAYO

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas, descrita(s) en el ítem 4 del presente documento.


Bach. Natalia Quispe G.
Analista
LABICER-UNI




M.Sc. Ily Marilú Maza Mejía
Jefe de Laboratorio
CQP 1149

NOTAS:

- LABICER-UNI no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.
- LABICER-UNI no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, incluidos en los ítems 1 y del 4.1 al 4.2 del presente documento.
- Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Este documento carece de validez sin sello y firmas correspondientes.

ANEXO



FIGURA N°1. Muestra de quitosano (polímero) procedente de cangrejo y camarones.



FIGURA N°2. Espectrofotómetro Infrarrojo de Transformadas de Fourier - Reflectancia total atenuada (FTIR-ATR). PERKIN ELMER, FRONTIER.



Anexo 5. Informe de ensayo de pruebas para la determinación de metales en las aguas del río Crucero



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

Clave generada : A074BBCA

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00131

Fecha de emisión: 14/06/2023

Página 1 de 4

Señores : ROSCY TAPARA PALOMINO
 Dirección : JR. LIFE MZ U - JULIACA- SAN ROMAN - PUNO
 Atención : ROSCY TAPARA PALOMINO
 Proyecto : TESIS

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : ROSCY TAPARA PALOMINO
 Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 098-23
 Plan de muestreo : Muestreado por el cliente
 Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 12/06/2023
 Fecha de ensayo : 12/06/2023

Nro de muestras : 1

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG23000279	RÍO CRUCERO	Agua Natural - Superficial - Agua de Río	CRUCERO / CRUCERO / CARABAYA / PUNO	388910 - 8411341	7/06/2023	5:48
Condiciones de recepción de la muestra						
Contenedor no refrigerado						
Observación						
-						

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, ">Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)



Validar el informe
Vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

Clave generada : A074BBCA

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00131

Fecha de emisión: 14/06/2023


Página 2 de 4

RESULTADOS DE ENSAYO FÍSICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802											
		Ag	Al	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG23000279	RÍO CRUCERO	b<0,0024	0,957	0,1035	0,06676	b<0,000079	56,982	b<0,00011	b<0,000094	0,00057	0,0051	0,670	3,506

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802										
		Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	SiO ₂
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG23000279	RÍO CRUCERO	0,04321	11,3070	0,03287	b<0,00038	11,774	b<0,00051	0,3849	0,0051	b<0,00049	0,0344	12,0049

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802					
		Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG23000279	RÍO CRUCERO	b<0,00085	0,3130	b<0,00068	b<0,0013	0,00418	0,0351


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114476

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA

"<Valor numérico"=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico"=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

Clave generada : A074BBCA

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00131

Fecha de emisión:14/06/2023


Página 3 de 4

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Ag	[> 0.0024 - 2.5] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Al	[> 0.029 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - B	[> 0.0053 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Ba	[> 0.00066 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Be	[> 0.000079 - 2.5] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Ca	[> 0.016 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Cd	[> 0.00011 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Co	[> 0.00009 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Cr	[> 0.00039 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Cu	[> 0.002 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Fe	[> 0.016 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - K	[> 0.036 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Li	[> 0.00021 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Mg	[> 0.0051 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Mn	[> 0.0003 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Mo	[> 0.00038 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Na	[> 0.053 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Ni	[> 0.00051 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - P	[> 0.0054 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Pb	[> 0.005 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Sb	[> 0.00040 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Se	[> 0.002 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - SiO ₂	[> 0.0005 - 2.5] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Sn	[> 0.00065 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Sr	[> 0.0013 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Ti	[> 0.00058 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Tl	[> 0.0013 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - V	[> 0.00014 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4 Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Zn	[> 0.0031 - 10] mg/L

a : Límite detección b : Límite de cuantificación

----- Fin del informe -----


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Camila A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA

"a"<Valor numérico">Límite de detección del método, "b"<Valor Numérico">Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582

Validar el informe
vía web



Anexo 6. Informe de ensayo de resultado de análisis de metales en muestras de agua del río Crucero tratada con quitosano



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

Clave generada : D7738B5C

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00130

Fecha de emisión: 14/06/2023

Página 1 de 17

Señores : ROSCY TAPARA PALOMINO
 Dirección : JR.LIFE MZ U - JULIACA- SAN ROMAN - PUNO
 Atención : ROSCY TAPARA PALOMINO
 Proyecto : TESIS

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : ROSCY TAPARA PALOMINO
 Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 097-23
 Plan de muestreo : Muestreado por el cliente
 Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 12/06/2023
 Fecha de ensayo : 12/06/2023

Nro de muestras : 13

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG23000266	TRATAMIENTO 01	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	MUESTRA TRATADA EN LABORATORIO	8/06/2023	8:40
AG23000267	TRATAMIENTO 02	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	MUESTRA TRATADA EN LABORATORIO	8/06/2023	8:40
AG23000268	TRATAMIENTO 03	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	MUESTRA TRATADA EN LABORATORIO	8/06/2023	9:10
AG23000269	TRATAMIENTO 04	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	MUESTRA TRATADA EN LABORATORIO	8/06/2023	9:10
AG23000270	TRATAMIENTO 05	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	MUESTRA TRATADA EN LABORATORIO	8/06/2023	11:25
AG23000271	TRATAMIENTO 06	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	MUESTRA TRATADA EN LABORATORIO	8/06/2023	12:05
AG23000272	TRATAMIENTO 07	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	MUESTRA TRATADA EN LABORATORIO	9/06/2023	10:02
AG23000273	TRATAMIENTO 08	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	MUESTRA TRATADA EN LABORATORIO	9/06/2023	10:02
AG23000274	TRATAMIENTO 09	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	MUESTRA TRATADA EN LABORATORIO	9/06/2023	11:45
AG23000275	TRATAMIENTO 10	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	MUESTRA TRATADA EN LABORATORIO	9/06/2023	13:35
AG23000276	TRATAMIENTO 11	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	MUESTRA TRATADA EN LABORATORIO	9/06/2023	13:35
AG23000277	TRATAMIENTO 12	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	MUESTRA TRATADA EN LABORATORIO	9/06/2023	13:35
AG23000278	TRATAMIENTO 13	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	MUESTRA TRATADA EN LABORATORIO	9/06/2023	13:35

Condiciones de recepción de la muestra
 Contenedor no refrigerado

Observación

(Firma)
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA

"<Valor numérico"=Limite de detección del método, ">Valor Numérico"=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)





INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00130

Fecha de emisión:14/06/2023

Página 2 de 17

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUÍMICO

Table with 12 columns: Código Interno L.A.S., Nombre de Muestra, and elements Ag, Al, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe. Rows include treatments 01 through 13.

Table with 12 columns: Código Interno L.A.S., Nombre de Muestra, and elements K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se. Rows include treatments 01 through 13.

Table with 7 columns: Código Interno L.A.S., Nombre de Muestra, and elements SiO2, Sn, Sr, Ti, V, Zn. Rows include treatments 01 through 09.

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o de proceso del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula. Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Signature of Omar A. Juárez, Director de Operación, with QR code and contact information for Laboratorio Analítico del Sur E.I.R.L.



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

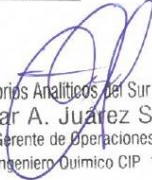
Clave generada : D7738B5C

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00130

Fecha de emisión: 14/06/2023

Página 3 de 17

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802						
		SiO ₂	Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG23000275	TRATAMIENTO 10	9,6115	≤0,00085	0,7367	≤0,00068	≤0,0013	0,01025	0,0040
AG23000276	TRATAMIENTO 11	9,7230	≤0,00085	0,8833	≤0,00068	≤0,0013	0,00933	0,0053
AG23000277	TRATAMIENTO 12	9,6354	≤0,00085	0,6659	≤0,00068	≤0,0013	0,00902	0,0045
AG23000278	TRATAMIENTO 13	9,4170	≤0,00085	0,7022	≤0,00068	≤0,0013	0,00891	0,0033


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA

"≤"Valor numérico="Limite de detección del método, "≤"Valor Numérico="Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444562.



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

Clave generada : D7738B5C

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00130

Fecha de emisión: 14/06/2023

Página 4 de 17

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Ag	[^a 0.0024 - 2.5] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Al	[^a 0.029 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - B	[^a 0.0053 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Ba	[^a 0.00066 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Be	[^a 0.000079 - 2.5] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Ca	[^a 0.016 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Cd	[^a 0.00011 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Co	[^a 0.00009 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Cr	[^a 0.00039 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Cu	[^a 0.002 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Fe	[^a 0.016 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - K	[^a 0.036 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Li	[^a 0.00021 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Mg	[^a 0.0051 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Mn	[^a 0.0003 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Mo	[^a 0.00038 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Na	[^a 0.053 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Ni	[^a 0.00051 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - P	[^a 0.0054 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Pb	[^a 0.005 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Sb	[^a 0.00049 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Se	[^a 0.002 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - SiO ₂	[0.0005 - 2.5] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Sn	[^a 0.00085 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Sr	[^a 0.0013 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Ti	[^a 0.00068 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Tl	[^a 0.0013 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - V	[^a 0.00014 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Zn	[^a 0.0031 - 10] mg/L

^a : Límite de detección ^b : Límite de cuantificación

----- Fin del informe -----

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA

"a<Valor numérico">=Límite de detección del método, "b<Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582.

Validar el informe
vía web



Anexo 7. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃)

Temperatura (°C)	pH							
	6	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
0	231	73,0	23,1	7,32	2,33	0,749	0,250	0,042
5	153	48,3	15,3	4,84	1,54	0,502	0,172	0,034
10	102	32,4	10,3	3,26	1,04	0,343	0,121	0,029
15	69,7	22,0	6,98	2,22	0,715	0,239	0,089	0,026
20	48,0	15,2	4,82	1,54	0,499	0,171	0,067	0,024
25	33,5	10,6	3,37	1,08	0,354	0,125	0,053	0,022
30	23,7	7,50	2,39	0,767	0,256	0,094	0,043	0,021

Nota:

(*)El estándar de calidad de Amoníaco total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N (NH₃-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH₃).

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
ORGÁNICO				
Bifenilos Policlorados				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
PLAGUICIDAS				
Paratión	µg/L	35		35
Organoclorados				
Aldrín	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Diecldrín	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrin	µg/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4
Carbamato				
Aldicarb	µg/L	1		11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helminfos	Huevo/L	1	1	**

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 4:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

UNW

UNW