

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TRUJILLO
“BENEDICTO XVI”
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERIA
AMBIENTAL



BIOADSORCIÓN CON CÁSCARAS DE NARANJA Y REMOCIÓN
DE ZINC EN AGUAS DE LA RELAVERA SANTA CATALINA,
QUIRUVILCA-LA LIBERTAD, 2025

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA AMBIENTAL

AUTOR

Br. Chomba Galindos, Juleysi Medaly

[0009-0005-1912-9597](tel:0009-0005-1912-9597)

ASESOR

Dr. Saldaña Milla, Fernando Arístides

[0000-0002-7274-6974](tel:0000-0002-7274-6974)

LINEA DE INVESTIGACIÓN

Gestión y Tratamiento de Residuos

TRUJILLO - PERÚ

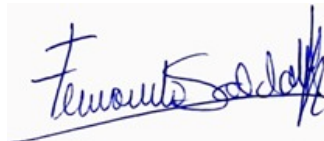
2026

DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura:

Mg. Ing. Henry Alexander Chipana Saldaña

Yo, **Saldaña Milla Fernando Arístides** con DNI N° 18135414, como asesor del trabajo de investigación titulado “**Bioadsorción con cáscaras de naranja y remoción de zinc en aguas de la relavera Santa Catalina, Quiruvilca-La Libertad, 2025**”, desarrollado por el egresado **Chomba Galindos Juleysi Medaly** con DNI N° 72137554 del Programa de estudios de **Ingeniera Ambiental** ; considero que dicho trabajo reúne las condiciones técnicas y científicas, las cuales están alineadas a las normas establecidas en el Reglamento de Estudiantes y de Grados y Títulos de la Universidad Católica de Trujillo “Benedicto XVI” y en la normativa para la presentación de trabajos de titulación de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Por tanto, autorizo la presentación del mismo ante el organismo pertinente para que sea sometido a evaluación por los jurados designados por la mencionada facultad.



Dr. Ing. Saldaña Milla, Fernando Arístides

Asesor

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

EXCMO. MONS. GILBERTO ALFREDO VIZCARRA MORI, S.J.

Arzobispo Metropolitano de Trujillo

Gran Canciller

Universidad Católica de Trujillo “Benedicto XVI”

DR. MARCOANTONIO PACHERRES TORREJÓN

Rector de la Universidad Católica de Trujillo “Benedicto XVI”

DRA. SILVIA ANA VALVERDE ZAVALA

Vicerrectora Académica

DRA. GINA GENARA ZAVALA ESPEJO

Vicerrectora de Investigación

MS. HENRY ALEXANDER CHIPANA SALDAÑA

Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura

DRA. TERESA SOFÍA REATEGUI MARÍN

Secretaria General

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo, en primer lugar, a Dios, por su guía constante, fortaleza y amor incondicional, que me permitieron continuar y culminar este proceso a pesar las dificultades encontradas a la largo de mi formación profesional.

A mis padres, Elías y Enma, por su apoyo permanente, comprensión y sacrificio, así como por los valores y enseñanzas que han sido fundamentales en mi desarrollo personal y académico.

A mis hermanos, Delmis, Keny y Jhasiel por su confianza, animo constante y compañía incondicional durante cada etapa de este camino.

A mi prima Emi, por su cercanía, consejos oportunos y por creer siempre en mí y mis capacidades.

Finalmente, a Fernando Yep Tello, por su apoyo, paciencia y fortaleza compartida en este proceso, y a mi hija Daila Ginebra, quien representa mi mayor motivación para seguir adelante, superarme cada día y alcanzar mis metas.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi profundo agradecimiento a Dios por concederme salud, fortaleza y orientación constante para seguir el camino correcto.

A la ingeniera Carmen Rosa de los Milagros Seminario Arriaga, por su apoyo, confianza y disposición, os cuales fueron determinantes para el desarrollo y ejecución de la presente investigación.

A mi asesor, el ingeniero Fernando Saldaña Milla, por su orientación académica, dedicación y aportes en la etapa final de la investigación, que hicieron posible la culminación satisfactoria del presente trabajo.

Finalmente, un agradecimiento a todas aquellas personas que estuvieron involucradas directa o indirectamente en todo el proceso de este trabajo de investigación, muchas gracias a todos.

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Chomba Galindos Juleysi Medaly, con **DNI N.º72137554**, egresado del **Programa de estudios de Ingeniería Ambiental** de la **Universidad Católica de Trujillo “Benedicto XVI”**, doy fe de que he seguido rigurosamente los procedimientos académicos y administrativos establecidos por la **Facultad de Ingeniería y Arquitectura** para la elaboración y sustentación del informe de tesis titulado: **“Bioadsorción con cascara de naranja y remoción de zinc en aguas de la relavera Santa Catalina, Quiruvilca-La Libertad, 2025”**, el cual consta de un total de **70 páginas**, incluyendo 18 tablas y 15 figuras y **14 páginas de anexos**.

Dejo constancia de la **originalidad y autenticidad** de la mencionada investigación y declaro, bajo juramento y en cumplimiento de los principios éticos, que el contenido del documento es **de mi exclusiva autoría** en cuanto a redacción, organización, metodología y diagramación. Asimismo, garantizo que los fundamentos teóricos están debidamente sustentados en fuentes bibliográficas, asumiendo la responsabilidad de cualquier omisión involuntaria en la citación de autores.

En este sentido, declaro que el uso de herramientas de inteligencia artificial en el presente trabajo se ha limitado exclusivamente a la mejora de la redacción y corrección de errores gramaticales y sintácticos, sin que ello haya influido en la generación del contenido, análisis o interpretación de los resultados de la investigación.

Del mismo modo, reconozco que cualquier vulneración a los derechos de autor derivada del presente trabajo será de mi exclusiva responsabilidad, asumiendo las consecuencias académicas y legales que pudieran derivarse conforme a la normativa vigente.

El autor



Juleysi Medaly Chomba Galindos

DNI 72137554

ÍNDICE

DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD	2
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD.....	6
ÍNDICE.....	7
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
I. INTRODUCCIÓN.....	12
II. METODOLOGÍA.....	27
2.1. Enfoque, tipo	27
2.2. Diseño de investigación.....	27
2.3. Población y muestra	27
2.4. Técnicas e instrumentos de recojo de datos.....	28
2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de la información.....	29
2.6. Aspectos éticos en investigación	33
III. RESULTADOS	35
IV. DISCUSIÓN.....	48
V. CONCLUSIONES.....	51
VI. RECOMENDACIONES	52
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
ANEXOS.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Marco normativo del zinc categoría 3</i>	25
Tabla 2 <i>Técnicas e instrumentos empleados en la investigación</i>	28
Tabla 3 <i>Ubicación de la toma de muestras de aguas de relave minero.</i>	30
Tabla 4 <i>Muestra inicial de la concentración de zinc del relave minero con 3 repeticiones</i>	35
Tabla 5 <i>Efecto de la dosis, tiempo de contacto y tamaño de partícula en la remoción de zinc</i>	36
Tabla 6 <i>Efecto de la dosis, tiempo, tamaño de partícula y velocidad de agitación en la eficiencia de remoción de zinc</i>	38
Tabla 7 <i>Análisis de varianza para un tamaño de partícula de 250 μm</i>	39
Tabla 8 <i>Medias de la dosis del bioadsorbente en un tamaño de partícula de 250 μm</i> ... 40	
Tabla 9 <i>Análisis de varianza para un tamaño de partícula de 150 μm</i>	40
Tabla 10 <i>Medias de la dosis del bioadsorbente en un tamaño de partícula de 150 μm</i> . 41	
Tabla 11 <i>Determinación de la dosis optima de cáscara de naranja en la remoción de zinc</i>	41
Tabla 12 <i>Análisis de varianza del tiempo de contacto en un tamaño de partícula de 250 μm</i>	43
Tabla 13 <i>Medias del tiempo de contacto en un tamaño de partícula de 250 μm</i>	43
Tabla 14 <i>Análisis de varianza del tiempo de contacto en un tamaño de partícula de 150 μm</i>	44
Tabla 15 <i>Medias del tiempo de contacto en un tamaño de partícula de 150 μm</i>	44
Tabla 16 <i>Análisis de varianza del tamaño de partícula en la remoción de zinc</i>	45
Tabla 17 <i>Medias del tamaño de partícula en la remoción de zinc</i>	45
Tabla 18 <i>Análisis de varianza multifactorial</i>	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Diagrama de bloques de la elaboración del material bioadsorbente</i>	32
Figura 2 <i>Diagrama de bloques de los ensayos de la remoción de zinc</i>	33
Figura 3 <i>Relavera Santa Catalina</i>	64
Figura 4 <i>Limpieza y lavado de los bidones para las muestras de aguas de relave</i>	64
Figura 5 <i>Toma de muestras de agua de relave</i>	65
Figura 6 <i>Preservación de las muestras de agua de relave</i>	65
Figura 7 <i>Limpieza y lavado del material bioadsorbente</i>	66
Figura 8 <i>Troceado del material bioadsorbente</i>	66
Figura 9 <i>Secado del material bioadsorbente</i>	67
Figura 10 <i>Material bioadsorbente secado</i>	67
Figura 11 <i>Molienda del material bioadsorbente</i>	68
Figura 12 <i>Tamizado del material bioadsorbente</i>	68
Figura 13 <i>Agitación de las muestras</i>	69
Figura 14 <i>Filtración de las muestras</i>	69
Figura 15 <i>Muestras tratadas</i>	70

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo remover el zinc mediante bioadsorción con cáscaras de naranja en aguas de la relavera Santa Catalina. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo y un diseño experimental. Las muestras de agua recolectadas en la ex relavera presento una concentración inicial de 155,25 mg/L, valor superior al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua.

El tratamiento se realizó variando el tiempo de contacto (60 y 120 minutos), el tamaño de partícula del bioadsorbente (250 y 150 μm), la dosis de cáscara de naranja (5,10,15 y 20 g) y una velocidad constante de 300 rpm. Los resultados evidenciaron que la eficiencia de remoción de zinc aumento con el mayor tiempo de contacto, la disminución del tamaño de partícula y el incremento de la dosis del bioadsorbente, alcanzándose eficiencias de remoción de hasta 92.9% respectivamente y concentraciones finales inferiores a 24 mg/L.

Se concluye que las cáscaras de naranja constituyen un bioadsorbente eficiente para la remoción de zinc en aguas contaminadas, logrando cumplir con el ECA Agua, categoría 3-D2, bajo las condiciones experimentales evaluadas.

Palabras claves: relave, bioadsorción, eficiencia.

ABSTRACT

This research aimed to remove zinc from the Santa Catalina tailing pond water using bioadsorption with Orange peel. The study employed a quantitative approach and an experimental design. Water samples collected from the former tailings pond showed an initial zinc concentration of 155,25 mg/L, exceeding the Environmental Quality Standard (EQS) for water.

The treatment involved varying the contact time (60 and 120 minutes), the bioadsorbent particle size (250 and 150 μm), the Orange peel dosage (5, 10, 15 and 20 g) and constant speed of 300 rpm. The results demonstrated that zinc removal efficiency increased with longer contact time, smaller particle sizes, and higher bioadsorbent dosages, reaching removal efficiencies of up to 92.9 % and final concentrations below 24 mg/L.

It is concluded that Orange peels constitute an efficient bioadsorbent for zinc removal from contaminated water, meeting the ECA agua (Water Quality Standard), category 3-D2, under the evaluated experimental conditions.

Keywords: tailings, bioadsorption, efficiency.

I. INTRODUCCIÓN

“En el mundo como en épocas antiguas se han tenido altas tasas de distintos tipos de enfermedades como la colera, infecciones, problemas digestivos y diarreicos. Estos ocasionados al consumir el agua sin darle ningún tratamiento” (Moreno, 2021).

“La contaminación de las aguas por los relaves mineros ha venido afectando la calidad del agua en el mundo, debido al incremento de la minería tanto formal como informal y a su representación en la economía de un país” (Sánchez, 2021).

Quispe y Salvatierra (2021) mencionan que “la contaminación producida por la emisión de los metales pesados en los residuos líquidos que se descargan en los cuerpos de agua como los relaves mineros es un problema ambiental de preocupación mundial, sobre todo en Perú, donde la minería aporta más del 60% de ingresos por exportaciones”.

De acuerdo al Gobierno Regional La Libertad (2020) en “la región La Libertad tenemos el río Moche que tiene tramos que contiene concentraciones de metales pesados y coliformes termo tolerantes que no cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental para agua, categoría 3, riego de vegetales y bebida de animales. Por causas de esos vertimientos mineros el agua del río moche presenta tonalidades de color desde amarillentas hasta rojizas debido al metal pesado hierro que está presente y en otros tramos del río se registraron pH ácidos de 2.3, sulfatos, cobre, aluminio, plomo, arsénico, cadmio, zinc, manganeso y cobalto lo que evidencian la afectación a la calidad del agua”.

En la cuenca del río Moche, la minera Quiruvilca, fue la principal empresa dedicada a actividades mineras, sin embargo, a finales del año 2017 cerro todas sus operaciones, debido a eso ha habido un aumento de la minería informal; ante estas circunstancias, Shorey atraviesa problemas de contaminación, a causa de la presencia de aguas ácidas y caídas de relaves mineros según “El Diagnóstico hídrico rápido de la cuenca del río Moche como fuente de agua y servicios eco sistemáticos hídricos para la EPS SEDALIB S.A.” (2018, p.58).

Ante ello, el problema de investigación se formula de la siguiente manera: ¿De qué manera la bioadsorción con cáscaras de naranja remueve el zinc en aguas de la relavera Santa Catalina?

A continuación, se presenta la justificación de este estudio, en la cual se explica la importancia y necesidad de desarrollar la investigación. En esta sección se aborda tanto el aporte teórico que ofrece al conocimiento científico existente, como su utilidad práctica para enfrentar una problemática ambiental real y prioritaria.

Justificación teórica

Desde una perspectiva teórica, esta investigación aporta al conocimiento científico relacionado con los procesos de bioadsorción aplicados a la remoción de metales pesados en aguas contaminadas. Si bien existen estudios que reportan resultados favorables utilizando residuos agroindustriales como materiales bioadsorbentes, aún persisten vacíos respecto a la verdadera eficiencia de la cáscara de naranja en condiciones reales y frente a concentraciones elevadas de zinc, como las presentes en pasivos ambientales mineros. Este trabajo permite contrastar y complementar los hallazgos previos, aportando evidencia experimental que contribuye a evaluar los límites de aplicación de esta técnica y a comprender las variables que influyen en su desempeño. De esta manera, la investigación amplía el marco teórico existente al mostrar que la eficiencia del proceso puede variar significativamente dependiendo del tipo de contaminante, la concentración inicial y las condiciones operativas.

Justificación práctica

La investigación busca responder a la necesidad urgente de encontrar alternativas económicas, accesibles y ambientalmente sostenibles para el tratamiento del agua contaminada por actividades mineras, especialmente en escenarios donde no existen sistemas de remediación activa y donde el impacto ambiental afecta directamente a la población y a los ecosistemas locales. El uso de cáscaras de naranja, un residuo orgánico de alta disponibilidad representa una alternativa potencialmente viable y de bajo costo para el tratamiento de metales pesados. Aunque los resultados obtenidos demostraron una eficiencia limitada en la remoción de zinc en las condiciones evaluadas, estos hallazgos son de gran utilidad práctica, ya que permiten evitar la implementación de soluciones poco efectivas y orientan el diseño de futuros estudios y mejoras tecnológicas. Asimismo, los resultados pueden servir de referencia para instituciones ambientales, autoridades locales y comunidades involucradas en la gestión de pasivos ambientales, contribuyendo a la toma de decisiones basadas en evidencia y al desarrollo de estrategias más eficientes de recuperación de aguas contaminadas.

A continuación, se presentan el objetivo general y los objetivos específicos que guiaron el desarrollo de esta investigación. Estos objetivos permiten orientar de manera clara el propósito central del estudio y las metas particulares que hicieron posible evaluar el proceso y obtener resultados concretos.

Objetivo General

- Remover el zinc mediante bioadsorción con cáscaras de naranja en las aguas de la relavera Santa Catalina, Quiruvilca-La Libertad, 2025.

Objetivos Específicos

- Remover el zinc mediante bioadsorción con cáscaras de naranja según la dosis en las aguas de la relavera Santa Catalina, Quiruvilca- La Libertad.
- Remover el zinc mediante bioadsorción con cáscaras de naranja según el tiempo de contacto en las aguas de la relavera Santa Catalina, Quiruvilca-La Libertad.
- Remover el zinc mediante bioadsorción con cáscaras de naranja según el tamaño de partícula en las aguas de la relavera Santa Catalina, Quiruvilca-La Libertad.

En relación con la problemática planteada y el propósito central del estudio, se presenta la hipótesis que orientó la investigación. Esta formulación surge a partir de la revisión teórica y de los enfoques metodológicos considerados, permitiendo anticipar el comportamiento esperado del proceso de bioadsorción. Asimismo, se incorporan las hipótesis específicas, que permiten analizar de manera más precisa el efecto de cada variable experimental sobre la remoción de zinc.

Hipótesis General

La bioadsorción con cáscara de naranja removerá significativamente el zinc en aguas de la relavera Santa Catalina, Quiruvilca-La Libertad, 2025.

Hipótesis Específicas

- La bioadsorción con cáscara de naranja removerá significativamente el zinc según la dosis en las aguas de la relavera Santa Catalina.
- La bioadsorción con cáscaras de naranja removerá significativamente el zinc según el tiempo de contacto en las aguas de la relavera Santa Catalina.

- La bioadsorción con cáscaras de naranja removerá significativamente el zinc según el tamaño de partícula en las aguas de la relavera Santa Catalina.

Para profundizar en la problemática y sustentar la relevancia del estudio, a continuación, se presentan los antecedentes más significativos relacionados con la bioadsorción y el uso de materiales orgánicos para la remoción de metales pesados en aguas contaminadas. Estos estudios previos permiten contextualizar la investigación, identificar los aportes existentes y reconocer las limitaciones que motivaron el desarrollo del presente trabajo.

A Nivel Internacional

Villa (2022) en su estudio “*Evaluación de la capacidad adsorbente de la cáscara de naranja (Citrus sinensis) y coco (Cocos nucifera) para la remoción de metales pesados (Cr, Pb)*”, obtuvo un bioadsorbente utilizando biomasa residual de *Citrus Sinensis* y *Cocos nucíferas* dándoles un valor agregado por medio de la modificación e implementación de tratamientos físico- químicos para mejorar la eficiencia de adsorción de las mismas. Para la obtención del bioadsorbente a partir de cáscara *Citrus sinensis* el tamaño de partícula fue de 0.45, pH 4.5, tiempo de contacto de 120 minutos, la capacidad de intercambio catiónico 9,24 m Eq/g. y *cocos nucíferas* tamaño de partícula 0.45, pH 4.5, tiempo de contacto de 120 minutos, capacidad de intercambio catiónico 8.75 m Eq/g en ambos casos se realizó a temperatura ambiente, todos los tratamientos se trabajó en concentraciones de 25 ppm para Pb y 0.5 ppm para Cr preparadas en el laboratorio, concluyo que los porcentajes de remoción más óptimos alcanzados en los tratamientos fueron una combinación de la concentración de 25 ppm para Pb y 0.5 ppm para Cr preparadas, los porcentajes de remoción más óptimos alcanzados en los tratamientos fueron una combinación de la concentración de bioadsorbente de naranja 50 g y coco 50g con un retención del 87,95% para Pb y 85.91% para Cr.

Lucín y Ramirez (2021) en su tesis “*Evaluación bioadsorbente de cascara de naranja (Citrus sinensis) y mandarina (Citrus reticulada) en aguas estuarinas con presencia de cadmio y plomo*”, evaluaron la capacidad bioadsorbente de las cáscaras de naranja y mandarina en aguas estuarinas con presencia de cadmio y plomo. Utilizaron un diseño factorial completamente al azar con 7 tratamiento y 4 repeticiones con dosis de 4,

8 y 12 g/L. Concluyeron que de las 7 pruebas realizadas la mayor remoción de cadmio fue con 4 gramos de mandarina, removiendo un 90.33%, para la remoción de plomo no se obtuvieron resultados eficaces y esto se debe al pH del agua, por lo cual se debería considerar trabajar en el pH 4-5 pH ácido.

A Nivel Nacional

Abad y Castañeda (2025), en su tesis *“Efecto del uso de la cáscara de naranja para la biosorción del plomo en agua residual del laboratorio químico – metalúrgico - Copper Cave”*, analizaron el efecto del uso de la cáscara de naranja para la biosorción del plomo en agua residual, establecieron un diseño factorial 2x2x4 teniendo 3 repeticiones con variaciones de pH 4 y 6, dosificación de 10, 12 y 20 gramos en tiempos de contacto de 30, 60, 90 y 120 minutos, haciendo un total de 96 pruebas. Obtuvieron como resultado que la mayor eliminación de plomo se alcanzó en 90 minutos, con una dosificación de 20 g y un pH de 6, el porcentaje de remoción fue de 96.45%. concluyeron que la aplicación de cáscaras ha demostrado ser efectiva para reducir los niveles de plomo en aguas residuales generadas por laboratorios químicos, ya que disminuye la concentración del metal.

Marzano y Torres (2024) es su tesis *“Bioadsorción con cáscara de naranja para la remoción de manganeso en soluciones sintéticas a nivel laboratorio, Callao-2024”*, evaluaron el efecto de la bioadsorción con cáscara de naranja en la remoción de manganeso; prepararon soluciones sintéticas con sulfato de manganeso a diferentes concentraciones, las cáscaras de naranja fueron secadas a 60°C por 24 horas, trituradas, modificadas y tamizadas en una malla N.º 20, obteniendo partículas menores de 850 µm. los resultados mostraron que el máximo porcentaje de remoción de manganeso fue de 94.79% a una concentración de 10g, 100 ppm, 8 horas. Finalmente, se concluyeron que la bioadsorción con cáscara de naranja tiene efecto en la remoción de manganeso en soluciones sintéticas a nivel laboratorio.

Pinco y Fontana (2024) en su tesis *“Tiempo de contacto y dosis de cáscara de naranja en bioadsorción de arsénico en aguas del río San Lorenzo, Shorey-2023”*, evaluaron la influencia de la dosis del adsorbente con cáscara de naranja activada y tiempo de contacto en la remoción de arsénico de las aguas del río San Lorenzo. Desarrollaron un diseño factorial 3², las dosis fueron de 5, 15 y 25 g/L, en tiempos de

24,48 y 72 horas. Como resultados obtuvieron que utilizando 25g/L de cáscaras y un tiempo de 72 horas se logra una remoción de 93.20%. concluyeron que las cáscaras de naranja resultan ser un buen adsorbente para la remoción de arsénico mediante proceso de adsorción.

Casas (2023) en su tesis *“Evaluación de la cascara de naranja (Citrus x sinensis) como biosorbente para la remoción de plomo y cadmio en muestras sintéticas a nivel laboratorio, 2020”*, determinó la remoción de plomo y cadmio mediante la capacidad de biosorción de la cáscara de naranja. En su metodología utilizaron la prueba de jarras trabajando en diferentes dosis de biosorbentes y varias concentraciones de plomo y cadmio para encontrar la dosis óptima. Los resultados obtenidos señalan que las dosis óptimas para concentraciones de 0.25, 0.5 y 1.0 mg/L de plomo y cadmio, sus eficiencias varían entre 60.8% y 94%, concluyo que el biosorbente presenta una capacidad elevada en la remoción de los metales en estudio.

Pilligua et al. (2022) en su investigación *“Disminución de cromo y cobre en aguas residuales utilizando cáscaras de naranja y banano (Citrus sinensis y Musa paradisiaca) como bioadsorbente”*, removieron cromo y cobre en aguas residuales mediante el uso de las cáscaras de naranja y banano. Como parte de su metodología, sus indicadores de medición fueron parámetros variables (pH, cantidad de adsorbente, tiempo) y parámetros constantes (velocidad, tamaño y temperatura). En sus resultados, la remoción de Cr usando cáscara de naranja a pH 4, cantidad de adsorbente 3g, tiempo de 2h fue de 91.11% y para la cáscara de banano a pH 3, cantidad 4g, tiempo de 4h fue 92.96%. La remoción de Cu usando cáscara de naranja a pH 5.5, cantidad 5 g, tiempo 30 minutos de 97.10% y para la cáscara de banano a pH 5.8, cantidad de 3g, tiempo de 30 minutos fue de 69.57%. Llegaron a la conclusión que el uso de cáscara de naranja y banano tienen una buena adsorción de cromo y en el caso del cobre se obtuvo una mejor remoción utilizando cáscara de naranja.

Carbajal et. al (2021) en su tesis *“Reducción de la concentración de metales pesados por adsorción mediante cáscara de naranja en efluentes captados por la PTAP Emapa Chancay S.A.”*, estudiaron la viabilidad de la adsorción de metales pesados como el plomo y hierro mediante la cáscara tratada, para ese fin las cáscaras pasaron procesos convencionales de lavado y secado, para posteriormente desmetoxilar con NaOH (2.0 M), aplicaron dosis de 2.5, 5, y 10 gramos de cáscara tratada a las muestras de agua. Realizaron un test de jarras obteniendo una remoción máxima de 70% y 40% de hierro y

plomo respectivamente con las dosis de 10 gramos de cáscara de naranja. Concluyeron que es viable el uso de las cáscaras de naranja como adsorbente de metales pesados tales como el hierro y plomo, debido al bajo costo de la materia prima, bajo impacto ambiental y su alta eficiencia.

Gutierrez & Ibáñez (2020) en su tesis “*Eficiencia de vaina de phaseolus vulgaris y cáscara de citrus sinensis en la biosorción de arsénico del agua del río moche*”, determinaron la eficiencia de la bioadsorción de arsénico utilizando cáscara de *Citrus sinensis* y vaina *phaseolus vulgaris*. Las muestras utilizadas fueron aguas del río moche y utilizaron el método de volumetría, gravimetría y espectrofotometría. El desarrollo del experimento fue mediante la técnica del test de jarras en la utilizaron 400 ml. Sus variables evaluadas dieron las velocidades de agitación (80 y 100 rpm), dosis de bioadsorbentes (5, 7 y 10) y tiempo de contacto (120, 180 min) para cada adsorbente. Los resultados obtenidos fueron que utilizando la vaina *phaseolus vulgaris* se adsorbido el 85% de arsénico, y utilizando *Citrus sinensis* se adsorbe el 88.96% de arsénico, ambas a 120 min, 80 rpm y 5g de bioadsorbente. Concluyeron que la cáscara de *citrus sinensis* resulta ser más efectivo para la bioadsorción de arsénico.

Torres et. al (2020) en su artículo titulado “*Biosorción de Arsénico del agua del río Locumba utilizando cáscara de naranja (Citrus sinensis), Tacna*”, su objetivo fue evaluar la factibilidad del uso de cáscara de naranja como bioadsorbente para la remoción de As, bajo diferentes tiempos de contacto y temperatura. El bioadsorbente se obtuvo luego de un proceso de lavado, secado, molienda y tamizado. Con fines de optimización, se aplicó el diseño Box-Behnken, en el que las variables fijas fueron: dosis de bioadsorbente (A) 1g, 4 g y 7 g, tiempo de contacto (B) 1 día, 4 días y 7 días y temperatura (C) 18°, 24° y 30°C. Concluyeron que la eficiencia de remoción de As del agua del río Locumba con la cáscara de naranja obtuvo una remoción de 98 %, tanto la dosis del adsorbente (4gr) y el tiempo de contacto (4 días) tuvieron un efecto importante en la remoción de As.

Bazán y Copaja (2019) en su tesis “*Eficiencia en la remoción de arsénico y plomo mediante material adsorbente a base de cáscara de naranja y maracuyá en aguas del río Rímac, Corcona 2019*”, como objetivo tuvieron que determinar la eficiencia del material adsorbente a base de cáscara de naranja y maracuyá para la remoción de arsénico y plomo en diferentes dosis en aguas del río Rímac. El método a utilizar fue deshidratar las cáscaras con un horno de casa a 50°C, aproximadamente durante 4hrs y 5hrs. Cada

tratamiento tuvo dosis de: 5, 10, 15, 20, 25, 30 y 35g de cáscaras, también se le selecciono por tamaño de partícula $< 850 \mu\text{m}$ y $> 850 \mu\text{m}$ de ambas cáscaras. Finalmente se determinó que el porcentaje de remoción del plomo y arsénico fue para la cáscara de naranja de partícula $< 850 \mu\text{m}$: 97.73% Pb y 98.54% As, para el tamaño de partícula $> 850 \mu\text{m}$: 97.86% y 98.69% as. En el caso de la cáscara de maracuyá fue para el tamaño de partícula $< 850 \mu\text{m}$: 96.05% Pb y 96.06% As y para el tamaño de partícula $> 850 \mu\text{m}$: 96.35% Pb y 96.21% As.

A continuación, se presentan las bases teóricas que respaldan esta investigación y permiten construir un marco conceptual claro, comprensible y bien fundamentado. Estas referencias sirven como punto de partida para comprender los conceptos y enfoques que orientan el desarrollo del estudio.

Cáscara de Naranja

La cáscara de naranja tiene en su estructura molecular la celulosa, la pectina y otros compuestos de bajo peso molecular como el limoneno que contienen grupos funcionales como los hidroxilos y carboxilos que son susceptibles de atraer a iones metálicos en solución (Feng y Guo, 2012).

Soria (2019) afirma que “la cáscara de naranja contiene altos niveles de pectina que es un polisacárido conformado por cadenas de ácido D-galacturónico, correspondiente al 45% y 60% del peso de la fruta. Estas cáscaras se utilizan para una variedad de propósitos industriales con fines experimentales”. La cantidad de pectina en las cáscaras de los cítricos varían según la estación y la variedad (Ocas, 2020).

Pectina

Son grupos de compuestos complejos con un alto peso molecular que a menudo se consideran polisacáridos o derivados de ellos. En los vegetales, especialmente en los tejidos de reserva, se pueden encontrar con frecuencia y se distinguen por su estructura fundamental basada en los ácidos poli galacturónicos (Chagñay, 2018).

Munhoz et al. (2017) nos dice que “la pectina es parte de la estructura de las frutas y se encuentra en la pared celular de cualquier vegetal”. La pectina se haya generalmente en las cascaras de frutas como la piña y cítricos, conforman el 40% de su pared celular de

las células vegetales; la pectina define la porosidad de la superficie de adsorción y por consecuencia la presencia de las bases de las enzimas comprometidas en los cambios de esta, así como también regulan el pH y la estabilidad iónica (Ordoñez, 2015).

Fuentes de extracción de la pectina

“Las pectinas están presentes en diferentes alimentos de contenido vegetal como pulpas de frutas y verduras o de subproductos de la industria alimentaria; su obtención se da principalmente de materias primas como cáscaras o cortezas de cítricos como limón, naranja, toronja, lima y de la pomaza y/o residuos de manzanas, donde estos contienen cantidades elevadas de pectinas; su extracción comercial se da principalmente de cáscaras de cítricos en un 85%, el orujo de manzana en un 14% y en una menor proporción de la pulpa de remolacha azucarera” (Ramos et al., 2016; Chetouani et al., 2017).

A) Estructura de la Pectina

La pectina en su estructura molecular está conformada mayormente por ácidos galacturónicos juntos con enlaces con cadenas a los lados de D-galactosa y L-arabinosa los cuales sus grupos carboxílicos pueden estar ciertas partes metoxilados o también en su tonalidad por bases como el hidróxido de sodio el cual ha sido usado en varios estudios (Ordoñez, 2015).

Las pectinas se dividen en las de alto metoxilo con alrededor del 50% de grupos carboxilo esterificados junto con un radical metol y los de bajo metoxilo menor al 50% de grupos esterificados (Ordoñez, 2015).

B) Fuentes de pectina convencionales y no convencionales

“Los residuos de manzanas y las cortezas de cítricos son las materias primas tradicionalmente usadas para la extracción industrial de pectinas. Ambos materiales contienen altas cantidades de sustancias pépticas y están disponibles en abundancia como residuos de la producción de jugo. Sin embargo, estos frutos producen pectinas ligeramente diferentes, lo cual hace que la una o la otra sea más adecuada para aplicaciones específicas, aunque ambas tienen buen reconocimiento de deseabilidad y propiedades comercialmente atractivas” (Morley, 2015).

Laura (2018) nos indica que “Los orujos de manzana secos generalmente contienen entre un 15% a 20% de pectina, mientras que la corteza de cítricos secos rinde de un 30% a 35% de pectina. Existe un interés general en el uso de desperdicios de productos obtenidos de bioindustrias, para minimizar los problemas ambientales y aprovechar las grandes cantidades de biomasa para elaborar productos con valor agregado”. Por tanto, la búsqueda de otras fuentes de pectina, ha atraído el interés en los últimos años, aunque con resultados que aún no proveen ningún uso comercial significativo (Laura, 2018).

La Bioadsorción

La bioadsorción es un proceso fisicoquímico no convencional de bajo costo, que utiliza una amplia variedad de materiales sorbente de origen biológico (vivo o muerto), con el principal objeto de eliminar metales pesados en medios acuosos (Tejada et al., 2015).

Perez y Huaman (2023) nos dicen que “El proceso de bioadsorción involucra dos fases, una fase solida denominada bioadsorbente y una fase liquida, generalmente agua, que contiene adsorbatos que desean retener. La afinidad entre el bioadsorbente y el adsorbato determinara el poder de atracción mediante diversos mecanismos, hasta alcanzar el equilibrio; el uso del método de bioadsorción es muy ventajoso teniendo en cuenta que es fácil adquirirlo y es de muy bajo costo en comparación con otros métodos y técnicas además de obtener altas eficiencias para adsorber metales pesados”.

Factores que afectan el proceso de Bioadsorción

Factores como las características de la biomasa, parámetros fisicoquímicos, condiciones del medio, características del contaminante, entre otros, que pueden facilitar o dificultar el proceso de bioadsorción (Perez y Huaman, 2023).

a. Influencia del tipo de material bioadsorbente

Perez y Huaman (2023) nos dicen que “el mecanismo de retención y la capacidad de remoción del adsorbato están influenciados por la composición y la reactividad química de la superficie del material bioadsorbente”. La presencia de grupos funcionales en el bioadsorbente es clave para la optimización de las condiciones de operación y rendimiento del bioadsorbente, teniendo en cuenta la cantidad de centros activos, el estado químico y su afinidad con el adsorbato (Salas y Sarcco, 2017).

b. Influencia del tamaño de partícula

La capacidad de adsorción y la velocidad de reacción depende de la granulometría del bioadsorbente. El tamaño de la partícula es inversamente proporcional al área superficial de la partícula y al número de sitios activos disponibles para captar adsorbatos (Hernández y Triviño, 2016).

c. Influencia del Tiempo de contacto

El tiempo de contacto entre el adsorbato y bioadsorbente, favorece el estudio de la cinética para conocer el tiempo de equilibrio del proceso de eliminación. Algunos factores, como la concentración del contaminante y la cantidad de adsorbente, determinan este tiempo. Por lo general, la adsorción es muy rápido y se equilibra en horas o incluso minutos (Verdugo, 2017).

d. Influencia del pH

El pH de la solución influye en la carga de los adsorbentes y en la ionización de los contaminantes. Ajustar el pH es esencial para mejorar la eficiencia del proceso de adsorción, ya que un pH adecuado maximiza la interacción entre contaminantes y sitios activos del adsorbente. Esto es especialmente crucial para la eliminación de metales pesados y compuestos orgánicos, cuya reactividad y solubilidad dependen del pH; los valores de pH bajos inhiben la aproximación de cationes metálicos o contaminantes debido a su carga positiva y en caso de valores altos de pH se incita a la precipitación de metales (Verdugo, 2017).

e. Influencia de Temperatura

La temperatura no impacta determinadamente en el proceso de bioadsorción dentro de un rango determinado. Sin embargo, las variaciones extremas de temperatura alteran la interacción entre el soluto y el adsorbente, reduciendo la capacidad de bioadsorción (Verdugo, 2017).

Metal Zinc

“El zinc es un oligoelemento esencial de gran importancia nutricional en el cuerpo humano, ya que desempeña funciones estructurales, catalíticas y reguladoras en las células. Este ion tiene un papel destacado en la regulación del crecimiento y la diferenciación celular, actuando como cofactor de muchas metaloenzimas y factores de transcripción. Además, facilita la síntesis de ADN y ARN, interviniendo en el metabolismo de las proteínas. Este micronutriente es crítico para el sistema inmune y el funcionamiento de sistemas hormonales, destacándose su acción en el metabolismo de hormonas sexuales y de insulina. También participa en la función neurocognitiva y en la modulación de los sentidos del gusto, olfato y visión” (Biasi et al., 2020).

Consecuencias de las altas concentraciones de zinc

Las altas concentraciones de zinc no son bien absorbidas por el tracto digestivo, por lo que las cantidades de zinc superiores a las normales no se almacenan en el organismo. En su lugar, se excretan por la orina o heces. Altas concentraciones de zinc en el agua potable pueden causar gastroenteritis debido a su baja solubilidad, lo que hace que no sea absorbido por el tracto gastrointestinal, sino que permanezca en el intestino, causando irritación que puede derivar en diarrea. Asimismo, Gonzales Reimers et al. (2017) indica que “la intoxicación por zinc puede ocurrir por diversas vías: inhalación, consumo de bebidas o por ingesta. La ingesta crónica de 50-60 mg de zinc por día puede ocasionar dolor abdominal, náuseas, vómitos y, ocasionalmente, pancreatitis si se acompaña de cobre”.

Consecuencias de las altas concentraciones de Zinc en la Salud Humana

“Las altas concentraciones de zinc no son bien absorbidas por el tracto digestivo, por lo que las cantidades de zinc superiores a las normales no se almacenan en el organismo. En su lugar, se excretan por la orina o heces. Altas concentraciones de zinc en el agua potable pueden causar gastroenteritis debido a su baja solubilidad, lo que hace que no sea absorbido por el tracto gastrointestinal, sino que permanezca en el intestino, causando irritación que puede derivar en diarrea”. Asimismo, Gonzales Reimers et al. (2017) indica que “la intoxicación por zinc puede ocurrir por diversas vías: inhalación, consumo de bebidas o por ingesta. La ingesta crónica de 50-60 mg de zinc por día puede ocasionar dolor abdominal, náuseas, vómitos y, ocasionalmente, pancreatitis si se acompaña de cobre”.

Eficiencia de remoción

“La eficiencia de un tratamiento de aguas residuales está relacionada con la masa o concentración removida y la masa o concentración del efluente para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico. Normalmente, esta eficiencia es expresada en porcentaje. La determinación de esta es la base esencial para corroborar el correcto funcionamiento de un sistema de depuración de aguas residuales y se determina mediante la siguiente fórmula” (Humanante et al., 2022):

$$E(\%) = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

Donde:

E (%): eficiencia de remoción

Cf: concentración final

Ci: concentración inicial

Definición de Términos básicos

Absorción: Proceso por el cual una sustancia tóxica atraviesa las membranas de las células de un organismo a través de la piel, pulmones, tracto digestivo o branquias y luego es transportado hacia otros órganos (MINAM, 2010).

Bioadsorción: Proceso de adsorción que tiene como objetivo eliminar o recuperar sustancias orgánicas e inorgánicas en soluciones acuosas utilizando un material biológico que puede incluir microorganismos vivos o muertos y sus componentes, algas marinas, vegetales, desechos agrícolas y desechos naturales.

Biosorción: Tiene la finalidad de retener o acumular en medios acuosos las especies químicas empleando métodos fisicoquímicos, en donde se manifiestan de dos maneras: adhiriéndose en la pared celular o aglomerándose dentro la célula (Plaza, 2012).

Biomasa: Es todo material vegetal utilizado directamente como combustible o transformado en otras formas, antes de quemarse se denomina biomasa, algunos ejemplos son los desechos vegetales, desechos de animales, entre otros (OECD, 2020).

Cáscara de naranja: Residuos orgánicos provenientes de la naranja, los cuales son catalogados desechos sin ningún valor posterior.

Contaminación: Distribución de una sustancia química o una mezcla de sustancias en un lugar no deseable (aire, agua, suelo), donde puede ocasionar efectos adversos al ambiente o sobre la salud (MINAM, 2010).

Tratamiento: Métodos, técnica o procesos diseñados para la remoción de sólidos o contaminantes de efluentes o emisiones (MINAM, 2010).

Normatividad y Marco Legal

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua - Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

“Esta norma tiene como objetivo poder compilar las disposiciones aprobadas, estos a través de Decretos Supremos, los cuales aprueban los Estándares de Calidad Ambiental para agua o también denominados ECA”.

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Tabla 1

Marco normativo del zinc categoría 3

Parámetros	Unidad de medida	D1: riego de vegetales		D2: bebida de animales	
		Agua para riego restringido	Agua para no riego restringido	Bebida de animales	de animales
Inorgánico					
Zinc	mg/L		2		24

Nota. Los datos establecidos fueron tomados del DS-004-2017-MINAM.

Ley General del Ambiente

“Establece los principios básicos para asegurar y mantener un ambiente equilibrado que permita el desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a la protección de este, con la finalidad de lograr un desarrollo sostenible en la población. Asimismo, señala que el estado es el encargado de controlar y promover el aprovechamiento

sostenible de las aguas continentales, considerando sus condiciones, entorno, calidad y asignación conforme a los objetivos sociales, mediante la gestión integrada del recurso hídrico”.

Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos

“El reglamento tiene como objetivo regular el uso y gestión de los recursos hídricos, que comprenden el agua continental (superficial y subterránea) y los bienes asociados a esta. De igual manera, regula la actuación del Estado y los particulares en la gestión de los recursos hídricos, todo ello conforme a las disposiciones contenidas en la Ley de Recursos Hídricos, Ley N.º 29338”.

Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos

“Es un instrumento normativo que establece los criterios y procedimientos para realizar el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos, tanto en cuerpos de agua continentales como marino-costeros, en cumplimiento con la Ley de recursos Hídricos (Ley N° 29338), su reglamento y demás normas de calidad del agua.”

Resolución Jefatural N° 196-2018-ANA: Declaran el estado de Emergencia de recursos Hídricos por inminente riesgo de afectación de la calidad del Rio Moche

“Se emite la declaratoria de emergencia de recursos hídricos en el río Moche. La administración local de agua Moche-Viru-Chao realizo previamente supervisiones al vertimiento de aguas residuales industriales tratadas de la Compañía Minera Quiruvilca, así como siete monitoreos de la calidad del agua del rio Moche. Los resultados de estos análisis señalaron concentraciones de aluminio, arsénico, cadmio, cobre, hierro, manganeso, plomo, zinc y sulfatos que sobrepasaron los valores establecidos en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. Este hecho fue ocasionado por el rebose del agua del subdrenaje de la relavera Santa Catalina, que llegó al rio Moche. Además, el abandono de dicha unidad de producción genero un impacto ambiental negativo sobre las aguas, dejando sin tratamiento las aguas acidas provenientes de la relavera”.

II. METODOLOGÍA

2.1. Enfoque, tipo

La presente investigación tuvo un enfoque cuantitativo, debido a que se basó en la medición numérica de la concentración de zinc antes y después del tratamiento mediante bioadsorción, así como en el análisis estadístico de los datos obtenidos.

Según su finalidad, la investigación fue aplicada, ya que buscó ofrecer una alternativa de tratamiento para aguas contaminadas con zinc provenientes de relaves mineros, mediante el uso de un bioadsorbente natural.

De acuerdo con el nivel de profundidad, el estudio fue de nivel experimental – explicativo, puesto que se manipuló deliberadamente la variable independiente para analizar su efecto sobre la variable dependiente y establecer relaciones de causa–efecto.

2.2. Diseño de investigación

El diseño de la investigación fue experimental, específicamente un diseño experimental completamente al azar, ya que se evaluó el efecto de diferentes condiciones experimentales sobre la remoción de zinc sin establecer grupos de control externos.

La variable independiente fue la bioadsorción con cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*), evaluada a través de los factores: dosis del bioadsorbente, tiempo de contacto y tamaño de partícula.

La variable dependiente fue la remoción final de zinc (mg/L) en el agua tratada.

2.3. Población y muestra

Población

La población estuvo conformada por las aguas contaminadas provenientes de la relavera Santa Catalina, ubicada en Quiruvilca, región La Libertad, caracterizadas por presentar concentraciones elevadas de zinc.

Muestra

La muestra estuvo constituida por 10 litros de agua de relave minero, recolectados en puntos representativos de la relavera Santa Catalina.

A partir de esta muestra se realizaron ensayos experimentales bajo diferentes combinaciones de dosis del bioadsorbente, tiempo de contacto y tamaño de partícula, considerando repeticiones para asegurar la confiabilidad de los resultados.

2.4. Técnicas e instrumentos de recojo de datos

Para la recolección de datos se empleó la técnica de observación directa, mediante la cual se registraron los cambios en la concentración de zinc antes y después de aplicar el proceso de bioadsorción con cáscaras de naranja. Como instrumentos de medición se utilizaron un espectrofotómetro de absorción atómica, que permitió cuantificar los niveles de zinc presentes en las muestras de agua, y una hoja de registro diseñada para sistematizar los datos obtenidos durante cada ensayo experimental. Asimismo, se utilizaron materiales de laboratorio, como balanza analítica, agitador y tamices granulométricos para controlar las condiciones experimentales establecidas.

Tabla 2

Técnicas e instrumentos empleados en la investigación

Técnicas	Instrumentos	Finalidad
Observación directa	Hoja de registro de datos	Registrar los valores obtenidos antes y después del tratamiento y sistematizar resultados experimentales.
Medición instrumental	Espectrofotómetro de absorción atómica	Cuantificar la concentración de zinc presente en las muestras de agua durante los ensayos.
Procedimiento experimental en laboratorio	Balanza analítica	Determinar la masa exacta del bioadsorbente (cáscara de naranja) utilizado en cada ensayo.
	Agitador mecánico	Mantener la mezcla homogénea y controlar la velocidad de agitación durante el proceso de bioadsorción.
Preparación y control de variables experimentales	Tamices granulométricos (250 μm y 150 μm)	Homogeneizar el tamaño de partícula de la cáscara de naranja para garantizar condiciones constantes.
Ensayo de tratamiento fisicoquímico	Material de vidrio (matraces, vasos de precipitados, probetas)	Preparación de soluciones, manipulación de muestras y desarrollo del proceso experimental.

Nota. La información corresponde a las técnicas metodológicas empleadas en el proceso de investigación y los instrumentos utilizados para la recolección de los datos experimentales.

Elaboración propia.

2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de la información

Los datos obtenidos fueron procesados mediante estadística descriptiva, utilizando medidas como media y desviación estándar con la finalidad de determinar la influencia de los factores experimentales en la remoción de zinc.

El procesamiento de los datos se realizó utilizando el software estadístico SPSS, estableciendo un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

2.5.1. Procedimiento Experimental

El procedimiento experimental desarrollado para esta investigación se estructuró en las siguientes fases principales, que se detallan a continuación:

- Recolección del agua de relave minero en la relavera Santa Catalina.
- Preparación del bioadsorbente (cáscara de naranja), incluyendo lavado, secado, trituración y tamizado según el tamaño de partícula establecido.
- Preparación de las soluciones experimentales con diferentes dosis del bioadsorbente.
- Aplicación del proceso de bioadsorción bajo condiciones controladas de tiempo de contacto y tamaño de partícula.
- Medición de la concentración inicial y final de zinc mediante espectrofotometría de absorción atómica.
- Registro y organización de los datos obtenidos para su posterior análisis estadístico.

2.5.2. Toma de muestras

Para la toma de muestras de aguas de relave minero se realizó un muestreo en la ciudad de Shorey, donde se encuentra la relavera Santa Catalina, perteneciente a la unidad minera Quiruvilca, la cual cesó sus operaciones en el año 2012. El muestreo se llevó a cabo siguiendo el protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales.

De acuerdo con dicho protocolo, se emplearon recipientes de plásticos de polipropileno, los cuales fueron previamente lavados con agua potable y posteriormente con agua destilada, a fin de evitar cualquier tipo de contaminación. El volumen total recolectado fue de 10 litros de agua de relave minero, cantidad suficiente para la realización de los diferentes tratamientos experimentales.

Las muestras fueron almacenadas en envases herméticos y estériles, debidamente rotulados con la información correspondiente, incluyendo fecha de muestreo, lugar de procedencia, parámetros a evaluar, métodos de preservación y demás datos relevantes. Finalmente, los envases fueron colocados en un cooler para su adecuada conservación y posterior traslado al laboratorio para sus análisis.

Las muestras fueron tomadas de las siguientes coordenadas:

Tabla 3

Ubicación de la toma de muestras de aguas de relave minero.

Zonas	Georreferencia	MSNM
Zona A	Lat. -8.028254° Long. -78. 309039°	3935.3
Zona B	Lat. -8.0028303° Long. -78. 309082°	3931.5

Nota. Los datos fueron obtenidos mediante GPS.

2.5.3. Elaboración de material bioadsorbente

Recolección

Las cáscaras de naranja fueron recolectadas de mercados y juguerías, obteniéndose un total aproximados de 5 kg de material orgánico.

Limpieza

Posteriormente, las cáscaras fueron lavadas con agua destilada con el fin de eliminar residuos adheridos e impurezas superficiales que pudieran interferir en el proceso experimental.

Troceado

Una vez limpias, las cáscaras fueron cortadas manualmente en fragmentos de aproximadamente 1 a 2 cm, facilitando así el proceso posterior de secado.

Secado

Los fragmentos se colocaron en una estufa de aire forzado a una temperatura constante de 60 °C durante 24 horas, hasta lograr una humedad mínima y garantizar una adecuada deshidratación del material.

Molienda

Después del secado, el material fue triturado mediante un molino manual, con el propósito de reducir su tamaño de partícula y obtener un polvo homogéneo apto para su uso como bioadsorbente.

Tamizado

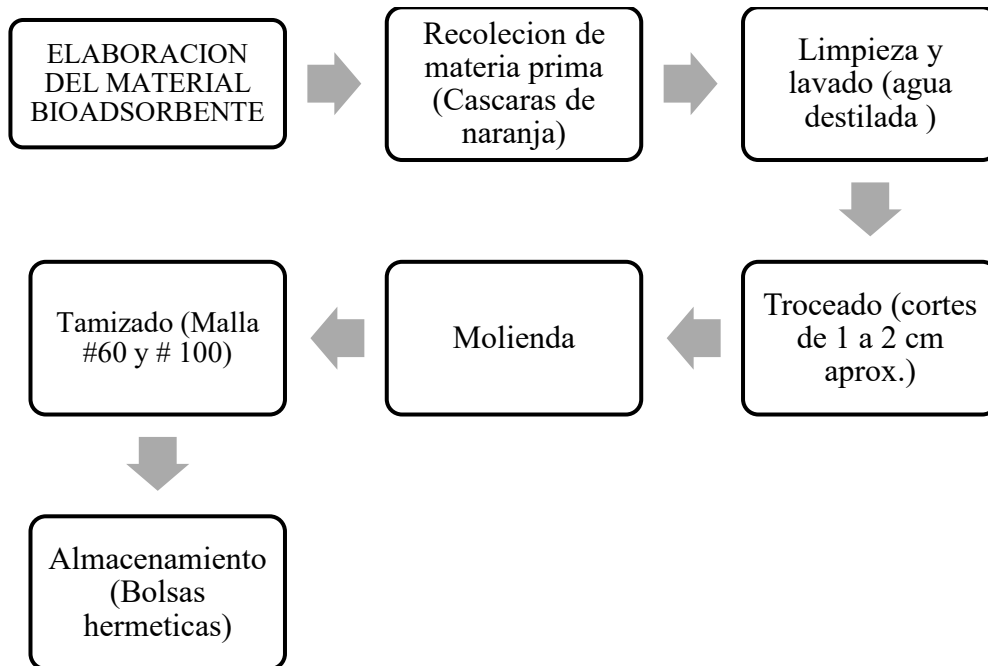
El material molido fue sometido a tamizado empleando tamices N.º 60 y N.º 100, con el fin de separar y estandarizar dos rangos granulométricos de 250 µm y 150 µm, respectivamente.

Almacenamiento

Finalmente, el bioadsorbente obtenido fue almacenado en bolsas herméticas con cierre seguro para evitar el ingreso de humedad y preservar sus propiedades hasta el momento de su utilización en los ensayos experimentales.

Figura 1

Diagrama de bloques de la elaboración del material bioadsorbente



Nota. Elaboración Propia.

2.5.4. Ensayos de bioadsorción de Zinc

Dosis del bioadsorbente

El material bioadsorbente fue dividido en 5, 10, 15 y 20 gramos para sus respectivos tratamientos.

Agitación

En un vaso de precipitación se agregó la dosis del bioadsorbente y se aplicaron 400 ml de muestras de relave, en un agitador magnético con una velocidad constante de 300 rpm, con tiempos de 60 y 120 minutos, al finalizar el proceso de agitación las muestras estuvieron en reposo por 30 minutos para generar la sedimentación de la fase sólida.

Filtración

Cada una de las muestras paso por un proceso de filtrado para su respectivo análisis.

Sedimentación

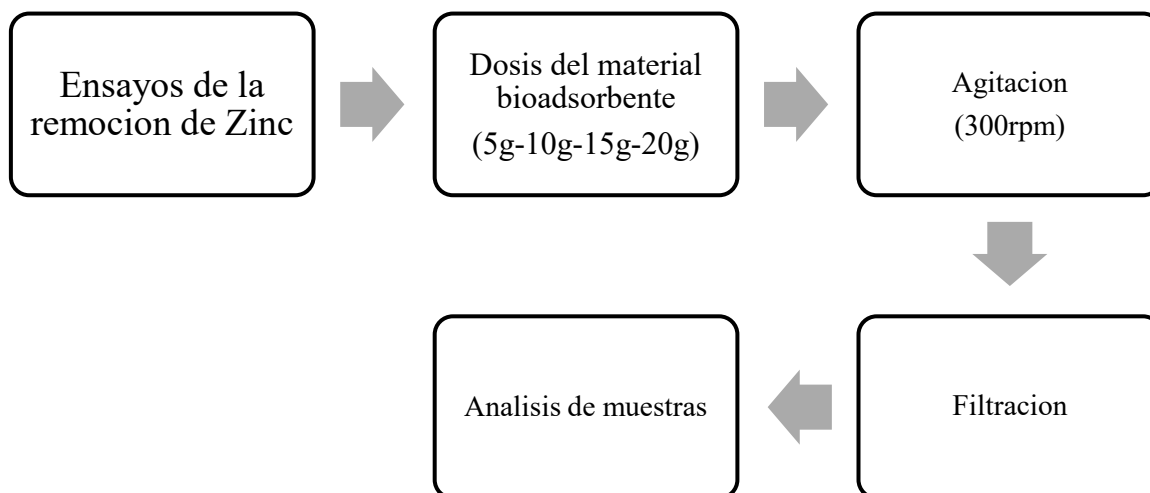
Las muestras se dejaron en reposo por aproximadamente 10 minutos.

Análisis de las muestras

Para el análisis se utilizaron 100 ml de muestra para su respectiva lectura en un equipo de Espectroscopia de absorción atómica.

Figura 2

Diagrama de bloques de los ensayos de la remoción de zinc



Nota. Elaboración propia.

2.5.5. Determinación de eficiencia

Esta etapa consistió en determinar la eficiencia del proceso de bioadsorción mediante la comparación de la concentración inicial y final de zinc presente en las muestras tratadas, evaluando los resultados obtenidos bajo diferentes condiciones experimentales. Para ello se analizaron las variaciones del metal en función de la dosis del bioadsorbente, tamaño de partícula y tiempo de contacto, contrastando los valores obtenidos con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, categoría 3. De esta manera, fue posible cuantificar el porcentaje de remoción alcanzado y valorar el rendimiento del tratamiento aplicado.

2.6. Aspectos éticos en investigación

Para el desarrollo de la presente investigación se cumplió estrictamente con los principios éticos y las disposiciones establecidas en la Guía para la Elaboración de Trabajos de Investigación de la Universidad Católica de Trujillo. Asimismo, se

realizó la recopilación, análisis y presentación de información teórica relevante a nivel nacional e internacional, garantizando el adecuado reconocimiento de los autores mediante el uso correcto de citas y referencias conforme a las normas APA, séptima edición.

La investigación respetó los principios éticos fundamentales de la investigación científica, tales como la honestidad, la transparencia y la responsabilidad académica, asegurando la veracidad y confiabilidad de los datos obtenidos, así como la correcta manipulación de las muestras durante el desarrollo de los ensayos experimentales.

Del mismo modo, el procedimiento experimental fue ejecutado de manera responsable, evitando la generación de impactos ambientales adicionales y garantizando que los residuos generados fueran manejados de acuerdo con las normas de seguridad y buenas prácticas de laboratorio, contribuyendo así al desarrollo de una investigación ambientalmente responsable.

III. RESULTADOS

El presente capítulo expone los resultados obtenidos a partir del desarrollo experimental del proceso de bioadsorción utilizando cáscaras de naranja para la remoción de zinc presente en las aguas de la relavera Santa Catalina, ubicada en Quiruvilca, región La Libertad.

Los resultados se presentan de manera descriptiva y estadística, en concordancia con el objetivo general y los objetivos específicos planteados en la investigación. Asimismo, se incluyen análisis inferenciales mediante el uso del software estadístico SPSS, con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

3.1. Remoción de zinc mediante bioadsorción con cascara de naranja

En relación con el objetivo general se determinó inicialmente la concentración base del metal en las muestras de agua recolectadas.

La Tabla 4 muestra las concentraciones iniciales de zinc obtenidas a partir de tres repeticiones experimentales. El valor promedio registrado fue de **155,25 mg/L**, lo cual evidencia una concentración elevada del metal y superior a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 3, tanto para riego de vegetales como para bebida de animales.

Tabla 4

Muestra inicial de la concentración de zinc del relave minero con 3 repeticiones

Muestra de agua de la relavera minera	Determinación del metal Zinc (mg/L)
M _A	155,52
	156,05
	154,18

Nota. La tabla muestra las concentraciones iniciales de zinc obtenidas en la muestra de agua de relave minero a partir de tres repeticiones experimentales, cuyo valor promedio fue de **155,25 mg/L**, utilizado como línea base para la evaluación del proceso de bioadsorción.

La concentración inicial promedio de zinc (155,25 mg/L) evidencia un nivel severo de contaminación del agua de relave, superando ampliamente los Estándares de Calidad Ambiental para agua categoría 3. Este valor confirma la necesidad de aplicar un tratamiento eficiente, ya que concentraciones de esta magnitud representan un riesgo potencial para ecosistemas acuáticos, suelos agrícolas y animales de consumo.

Tabla 5

Efecto de la dosis, tiempo de contacto y tamaño de partícula en la remoción de zinc

ID	Dosis (g)	Tiempo (min)	Tamaño Partícula (μm)	Agitación (rpm)	R1 (mg/L)	R2 (mg/L)	R3 (mg/L)	C.Final (mg/L)
1	5	60	250	300	88.6	86.9	87.8	87.77
2	10	60	250	300	63.5	61.9	62.8	62.73
3	15	60	250	300	41.8	40.6	41.2	41.20
4	20	60	250	300	27.4	26.1	26.8	26.77
5	5	120	250	300	75.6	74.1	74.9	74.87
6	10	120	250	300	49.2	48.0	48.6	48.60
7	15	120	250	300	28.5	27.6	28.1	28.07
8	20	120	250	300	15.9	15.2	15.6	15.57
9	5	60	150	300	78.9	77.4	78.1	78.13
10	10	60	150	300	54.2	52.8	53.5	53.50
11	15	60	150	300	33.6	32.4	33.0	33.00
12	20	60	150	300	20.9	19.8	20.4	20.37
13	5	120	150	300	66.8	65.2	66.1	66.03

14	10	120	150	300	40.9	39.6	40.2	40.23
15	15	120	150	300	22.1	21.3	21.7	21.70
16	20	120	150	300	11.4	10.8	11.1	11.10

Nota. La tabla muestra los valores de la concentración de zinc (mg/L) obtenidos tras el tratamiento con cáscaras de naranja.

Los resultados de las concentraciones finales de zinc obtenidas después del tratamiento se presentan en la Tabla 5. De manera general, se observa una disminución progresiva de la concentración final de zinc conforme se incrementa la dosis del bioadsorbente, tanto para el tamaño de partícula de 250 μm como para 150 μm .

Asimismo, los valores más bajos de concentración final de zinc se obtuvieron al emplear el menor tamaño de partícula (150 μm) y el mayor tiempo de contacto (120 minutos), lo que evidencia una mayor efectividad del proceso bajo estas condiciones experimentales.

La Tabla 6 presenta la eficiencia de remoción de zinc expresada en porcentaje. Los resultados muestran que la eficiencia del proceso aumenta conforme se incrementa la dosis del bioadsorbente, se reduce el tamaño de partícula y se prolonga el tiempo de contacto. La mayor eficiencia de remoción registrada fue de 92,9%, correspondiente al tratamiento con 20 g de cáscara de naranja, 120 minutos de contacto y un tamaño de partícula de 150 μm , alcanzando una concentración final de zinc de 11,10 mg/L, valor que cumple con el Estándar de Calidad Ambiental para agua, categoría 3 – bebida de animales.

Tabla 6

Efecto de la dosis, tiempo, tamaño de partícula y velocidad de agitación en la eficiencia de remoción de zinc

ID	Dosis (g)	Tiempo (minutos)	Tamaño partícula (µm)	Agitación (rpm)	Concentración final (mg/L)	Eficiencia de remoción (%)
1	5	60	250	300	87.77	43.5
2	10	60	250	300	62.73	59.6
3	15	60	250	300	41.20	73.5
4	20	60	250	300	26.77	82.8
5	5	120	250	300	74.87	51.8
6	10	120	250	300	48.60	68.7
7	15	120	250	300	28.07	81.9
8	20	120	250	300	15.57	90.0
9	5	60	150	300	78.13	49.7
10	10	60	150	300	53.50	65.5
11	15	60	150	300	33.00	78.7
12	20	60	150	300	20.37	86.9
13	5	120	150	300	66.03	57.5
14	10	120	150	300	40.23	74.1
15	15	120	150	300	21.70	86.0
16	20	120	150	300	11.10	92.9

Nota. Los datos presentados corresponden a la eficiencia de remoción de zinc (%) obtenida luego del tratamiento de bioadsorción con cáscaras de naranja bajo las distintas condiciones experimentales evaluadas.

Los resultados demuestran una relación directa entre la dosis del bioadsorbente y la reducción de la concentración de zinc. A mayor cantidad de cáscara de naranja, mayor es la disponibilidad de sitios activos de adsorción, lo que incrementa la retención del metal en la superficie del material. Este comportamiento confirma que el proceso de bioadsorción está controlado principalmente por la cantidad de material adsorbente disponible en el sistema.

Asimismo, la reducción del tamaño de partícula favoreció la eficiencia del proceso, debido al incremento del área superficial específica, lo que mejora el contacto entre el zinc disuelto y los grupos funcionales presentes en la cáscara de naranja. Esto explica por qué los mejores resultados se obtuvieron con 150 μm .

3.2. Análisis estadístico de remoción de zinc según la dosis del bioadsorbente

Con la finalidad de determinar la dosis óptima de cáscara de naranja necesaria para maximizar la remoción de zinc, se evaluó el efecto de diferentes dosis del bioadsorbente considerando tamaños de partícula de 250 μm y 150 μm .

Para el tamaño de partícula de 250 μm , el análisis de varianza (ANOVA), presentado en la tabla 7, evidenció la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las dosis evaluadas ($p < 0,05$).

Tabla 7

Análisis de varianza para un tamaño de partícula de 250 μm

Fuente	GL	SC Ajust.	Mc Ajust.	Valor F	Valor p
Dosis	3	4134,6	1378,19	16,61	0,010
Error	4	332,0	82,99		
Total	7	4466,5			

Nota. El análisis de varianza (ANOVA) muestra la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las dosis del bioadsorbente evaluadas ($p < 0.05$).

La tabla 8, muestra la media de la dosis del bioadsorbente, donde se observa una reducción en la concentración final de zinc a medida que se incrementa la dosis del bioadsorbente.

Tabla 8

Medias de la dosis del bioadsorbente en un tamaño de partícula de 250 μm

Dosis	N	Media	Desv. Est.	IC de 95%
5	2	81,32	9,12	(63,44; 99,20)
10	2	55,66	9,99	(37,78; 73,55)
15	2	34,64	9,28	(16,75; 52,52)
20	2	21,17	7,92	(3,29; 39,05)

Nota. La gráfica de medias muestra una disminución de la concentración final de zinc conforme se incrementa la dosis del bioadsorbente.

Para el tamaño de partícula de 150 μm , el análisis de varianza (ANOVA), presentado en la tabla 9, evidenció la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las dosis del bioadsorbente ($p < 0,05$).

Tabla 9

Análisis de varianza para un tamaño de partícula de 150 μm

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Dosis	3	3648,1	1216,02	18,15	0,009
Error	4	268,1	67,02		
Total	7	3916,1			

Nota. El resultado del análisis de varianza (ANOVA) indica que si existe diferencias significativas entre las dosis del bioadsorbente.

La tabla 10 muestra que las menores concentraciones finales de zinc se obtuvieron con las dosis más altas evaluadas.

Tabla 10

Medias de la dosis del bioadsorbente en un tamaño de partícula de 150 µm.

Dosis	N	Media	Desv. Est.	IC de 95%
5	2	72,08	8,56	(56,01; 88,15)
10	2	46,86	9,38	(30,79; 62,94)
15	2	27,35	7,99	(11,28; 43,42)
20	2	15,73	6,55	(-0,34; 31,81)

Nota. Los datos obtenidos indican una disminución en la concentración final de zinc conforme se incrementó la dosis del bioadsorbente.

La Tabla 11 presenta la determinación de la dosis óptima de cáscara de naranja, identificándose que la dosis de 20 g permitió alcanzar las mayores eficiencias de remoción de zinc, especialmente cuando se empleó el menor tamaño de partícula y el mayor tiempo de contacto.

Tabla 11

Determinación de la dosis optima de cáscara de naranja en la remoción de zinc

ID	Dosis (g)	Concentración final (mg/L)	Eficiencia de remoción (%)
1	5	87.77	43.5
2	10	62.73	59.6
3	15	41.20	73.5
4	20	26.77	82.8
5	5	74.87	51.8
6	10	48.60	68.7

7	15	28.07	81.9
8	20	15.57	90.0
9	5	78.13	49.7
10	10	53.50	65.5
11	15	33.00	78.7
12	20	20.37	86.9
13	5	66.03	57.5
14	10	40.23	74.1
15	15	21.70	86.0
16	20	11.10	92.9

Nota. La tabla presenta los valores de concentración final de zinc y la eficiencia de remoción obtenidos para las distintas dosis del bioadsorbente evaluadas.

En función de los resultados obtenidos, se establece que la dosis óptima de cáscara de naranja para la remoción de zinc en las condiciones experimentales evaluadas fue de 20 g.

3.3. Influencia del tiempo de contacto y del tamaño de partícula en la remoción de zinc

Con el propósito de analizar la influencia del tiempo de contacto en la eficiencia de remoción de zinc, se compararon los resultados obtenidos a 60 y 120 minutos de contacto entre el bioadsorbente y el agua de relave minero.

Las tablas 12, 13, 14 y 15 presentan la información del factor tiempo de contacto teniendo en cuenta los tamaños de partícula de 250 μm y 150 μm , respectivamente.

Tabla 12*Análisis de varianza del tiempo de contacto en un tamaño de partícula de 250 µm*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo	1	329,7	329,7	0,48	0,515
Error	6	4136,8	689,5		
Total	7	4466,5			

Nota. Los datos del análisis de varianza para el factor tiempo en un tamaño de partícula de 250 µm indica que no existe un efecto significativo en la concentración final de zinc.

Los resultados indican que el tiempo de contacto no tiene un efecto significativo sobre la concentración final de zinc en el agua tratada. Según el análisis de varianza (ANOVA), se obtuvo un valor de $p = 0,515$, lo cual indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las dosis evaluadas ($p > 0,05$).

Tabla 13*Medias del tiempo de contacto en un tamaño de partícula de 250 µm*

Tiempo	N	Media	Desv. Est.	IC de 95%
60	4	54,6	26,6	(22,5; 86,7)
120	4	41,8	25,9	(9,7; 73,9)

Nota. El resultado de las medias del tiempo de contacto demostró una reducción de la concentración final de zinc en un tiempo de 120 minutos.

Se observa una tendencia decreciente en la concentración final de zinc conforme aumenta el tiempo de contacto. El tiempo de 60 minutos presentó una mayor concentración final promedio (54,6 mg/L), mientras que el tiempo de 120 minutos alcanzó el menor valor promedio (41,8 mg/L), evidenciando una mayor eficiencia de remoción a mayor tiempo de contacto.

Tabla 14*Análisis de varianza del tiempo de contacto en un tamaño de partícula de 150 µm*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo	1	263,8	263,8	0,43	0,535
Error	6	3652,3	608,7		
Total	7	3916,1			

Nota. El resultado del análisis de varianza del factor tiempo indica que no hay efecto significativo en la concentración final de zinc.

Los resultados muestran que el tiempo de contacto no tiene un efecto significativo sobre la concentración final de zinc en el agua tratada. Según el análisis de varianza (ANOVA), se obtuvo un valor de $p = 0,535$, lo cual indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las dosis evaluadas ($p > 0,05$).

Tabla 15*Medias del tiempo de contacto en un tamaño de partícula de 150 µm*

Tiempo	N	Media	Desv. Est.	IC de 95%
60	4	46,3	25,3	(16,1; 76,4)
120	4	34,8	24,1	(4,6; 65,0)

Nota. El resultado de las medias del factor tiempo indica una disminución de la concentración de zinc en un tiempo de 120 minutos.

Asimismo, se observa una tendencia decreciente en la concentración final de zinc conforme aumenta el tiempo de contacto. El tiempo de 60 minutos presentó una mayor concentración final promedio (46,3 mg/L), mientras que el tiempo de 120 minutos alcanzó el menor valor promedio (34,8 mg/L), evidenciando una mayor eficiencia de remoción a mayor tiempo de contacto.

Aunque visualmente se observa un incremento de la eficiencia al pasar de 60 a 120 minutos, el análisis estadístico nos indica que el tiempo de contacto no ejerce una influencia significativa en la concentración final de zinc ($p < 0,05$). Esto indica que el proceso de bioadsorción continúa desarrollándose con el tiempo, permitiendo una mayor fijación del metal en los sitios activos del bioadsorbente hasta acercarse al equilibrio del sistema.

El efecto del tamaño de partícula del bioadsorbente en la remoción de zinc se evaluó comparando los resultados obtenidos con tamaños de 250 µm y 150 µm.

Tabla 16*Análisis de varianza del tamaño de partícula en la remoción de zinc*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tamaño de partícula	1	236,5	236,5	0,40	0,540
Error	14	8382,7	598,8		
Total	15	8619,2			

Nota. Los resultados del análisis de varianza indican que el tamaño de partícula no tiene un efecto significativo en la concentración final de zinc.

Los resultados muestran que el tamaño de partícula no tiene un efecto significativo sobre la concentración final de zinc en el agua tratada. Según el análisis de varianza (ANOVA), se obtuvo un valor de $p = 0,540$, lo cual indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las dosis evaluadas ($p > 0,05$).

Tabla 17*Medias del tamaño de partícula en la remoción de zinc*

Tamaño de partícula	de N	Media	Desv. Est.	IC de 95%
150	8	40,51	23,65	(21,95; 59,06)
250	8	48,20	25,26	(29,64; 66,75)

Nota. Los resultados de las medias indican que, a menor tamaño de partícula, aumenta la remoción de zinc.

Estos resultados confirman que la reducción del tamaño de partícula del bioadsorbente incrementa el área superficial disponible, favoreciendo la interacción entre el zinc disuelto y los sitios activos del material. Desde el punto de vista del proceso de bioadsorción, esto permite una mayor retención del metal sobre la superficie del adsorbente, lo que se traduce en menores concentraciones finales de zinc en el agua tratada.

Asimismo, se observa una tendencia creciente en la concentración final de zinc conforme aumenta el tamaño de partícula. El tamaño de partícula de 150 presentó una menor concentración final promedio (40,51 mg/L), mientras que el tamaño de partícula

de 250 alcanzó un mayor valor promedio (48,20 mg/L), evidenciando una mayor eficiencia de remoción a menor tamaño de partícula.

3.4. Análisis de varianza multifactorial del proceso de bioadsorción

Con la finalidad de evaluar de manera conjunta la influencia de los factores experimentales (dosis del bioadsorbente, tiempo de contacto y tamaño de partícula) sobre la eficiencia de remoción de zinc, se realizó un análisis de varianza multifactorial, cuyos resultados se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18

Análisis de varianza multifactorial

Pruebas de efectos Inter sujetos					
Variable dependiente: Remocion de Zinc					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	25859,293 ^a	15	1723,953	4287,551	<,001
Intersección	94421,150	1	94421,150	234829,804	<,001
Dosis	23323,414	3	7774,471	19335,473	<,001
Tiempo	1775,117	1	1775,117	4414,798	<,001
Tamaño	709,172	1	709,172	1763,744	<,001
dosis * tiempo	18,607	3	6,202	15,426	<,001
dosis * tamaño	26,616	3	8,872	22,065	<,001
tiempo * tamaño	5,535	1	5,535	13,766	<,001
dosis * tiempo * tamaño	,832	3	,277	,690	,565
Error	12,867	32	,402		
Total	120293,310	48			
Total corregido	25872,160	47			

a. R al cuadrado = 1,000 (R al cuadrado ajustada = ,999)

Nota. los resultados muestran la influencia de la dosis, tiempo y tamaño de partícula en la remoción de zinc.

El análisis de varianza multifactorial demostró que la dosis del bioadsorbente, el tiempo de contacto y el tamaño de partícula influyen significativamente en la concentración final de zinc ($p < 0,05$). Esto indica que la eficiencia del proceso de bioadsorción no depende de un solo factor, sino de la combinación de condiciones operativas.

Las interacciones dobles entre los factores también resultaron significativas, lo que evidencia que el efecto de una variable puede potenciarse o disminuir según el nivel de las otras. Sin embargo, la interacción triple no fue significativa ($p > 0,05$), lo que sugiere que el comportamiento conjunto de los tres factores no genera un efecto adicional distinto al producido por sus combinaciones de dos factores.

El modelo estadístico presentó un alto coeficiente de determinación ($R^2 = 1,000$), lo que indica un elevado poder explicativo de las variables evaluadas sobre la remoción de zinc; no obstante, este resultado debe interpretarse con cautela debido al número limitado de condiciones experimentales analizadas.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación demuestran que la bioadsorción con cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*) es un método eficiente para la remoción de zinc en aguas de relave minero, logrando reducciones significativas de la concentración inicial del metal. Este comportamiento confirma que los residuos orgánicos pueden actuar como bioadsorbentes efectivos gracias a la presencia de grupos funcionales como carboxilos e hidroxilos, responsables de la fijación de metales pesados.

En relación con la dosis del bioadsorbente, se observó que el incremento de la cantidad de cáscara de naranja produjo mayores eficiencias de remoción de zinc. Este resultado coincide con lo reportado por Carbajal et al. (2021), quienes señalaron que el aumento de la masa del adsorbente incrementa la disponibilidad de sitios activos, mejorando la remoción de metales pesados en efluentes acuosos. De manera similar, Gutiérrez e Ibáñez (2020) encontraron que mayores dosis de biomasa favorecen la biosorción debido a la mayor superficie de contacto entre el adsorbente y el contaminante.

Respecto al tiempo de contacto, aunque las diferencias visuales entre 60 y 120 minutos no fueron muy marcadas en algunos ensayos, el análisis estadístico multifactorial demostró que el tiempo sí influye significativamente en la concentración final de zinc ($p < 0,05$). Este comportamiento concuerda con lo descrito por Villa (2022), quien reportó que tiempos de contacto mayores permiten que el proceso de adsorción alcance un equilibrio progresivo, favoreciendo la difusión de los iones metálicos hacia los sitios activos del bioadsorbente.

En cuanto al tamaño de partícula, los resultados mostraron que las partículas de 150 μm alcanzaron menores concentraciones finales de zinc y mayores eficiencias de remoción que las de 250 μm . Este resultado es consistente con la teoría de la adsorción, donde la reducción del tamaño de partícula incrementa el área superficial específica. Hallazgos similares fueron reportados por Villa (2022), quien evidenció que tamaños de

partícula más pequeños mejoran la capacidad adsorbente de biomateriales debido a la mayor exposición de grupos funcionales.

El análisis de varianza multifactorial confirmó que la dosis, el tiempo de contacto y el tamaño de partícula influyen significativamente en la remoción de zinc, además de presentarse interacciones entre algunos de estos factores. Esto indica que la eficiencia del proceso no depende de un solo parámetro aislado, sino de la combinación adecuada de condiciones operativas, lo cual coincide con lo señalado en investigaciones sobre bioadsorción de metales pesados en sistemas acuosos.

Finalmente, las concentraciones finales de zinc obtenidas bajo las condiciones óptimas permitieron cumplir con los Estándares de Calidad Ambiental para agua categoría 3. Este resultado refuerza lo señalado por Carbajal et al. (2021) y Gutiérrez e Ibáñez (2020), quienes destacan que los bioadsorbentes de origen vegetal representan alternativas de bajo costo, ambientalmente sostenibles y técnicamente viables para el tratamiento de aguas contaminadas por metales pesados.

Limitaciones de la investigación

En primer lugar, el estudio se desarrolló bajo condiciones experimentales de laboratorio, los cuales pueden llegar a diferir de las condiciones reales de operación, factores como: variabilidad del caudal, la composición química del agua y las condiciones ambientales podrían influir en la eficiencia de bioadsorción.

Asimismo, la investigación se centró únicamente en la remoción de zinc, sin evaluar la presencia de otros metales que comúnmente coexisten en aguas provenientes de los relaves mineros, los cuales podrían generar competencias por los sitios activos del bioadsorbente.

Además, el tiempo de contacto y las variables operativas fueron limitadas a un rango en específico, por lo que no se exploraron escenarios que podrían afectar el desempeño del material bioadsorbente.

Finalmente, el tamaño de partícula y el número de repeticiones, son suficientes para un análisis preliminar, pero podrían ampliarse para mejorar la estadística de los resultados obtenidos.

Fortalezas de la investigación

La principal fortaleza de esta investigación es el uso de un bioadsorbente natural, el cual es abundante y bajo en costo, lo que contribuye al aprovechamiento de residuos orgánicos y promueve prácticas de economía circular y sostenibilidad ambiental.

Asimismo, el estudio aborda una problemática ambiental real asociada a la contaminación por metales pesados en aguas de relave minero, originando una alternativa de tratamiento eficiente y ambientalmente amigable, frente a métodos de alto costo y demasiada complejidad técnica.

Finalmente, los resultados obtenidos aportan evidencia científica que respalda el potencial de la bioadsorción como una tecnología viable para el tratamiento de aguas contaminadas, particularmente en lugares donde el acceso a tecnologías avanzadas es limitado.

Líneas futuras de investigación

Evaluación del proceso a escala piloto, para analizar el comportamiento del bioadsorbente en condiciones reales.

Estudio de la remoción simultánea de múltiples metales, con el fin de evaluar efectos de competencia y selectividad del bioadsorbente.

Modificación química del bioadsorbente, con el objetivo de mejorar su capacidad de adsorción y comparar su desempeño con la cáscara sin tratar.

Estudios cinéticos e isotérmicos, aplicando métodos como Langmuir, Freundlich y pseudo-segundo orden, que permitan comprender mejor los mecanismos de bioadsorción.

Evaluación del impacto ambiental y análisis económico, para poder determinar la viabilidad técnica, ambiental y económica a gran escala.

V. CONCLUSIONES

Se concluye que la bioadsorción utilizando cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*) es un método eficiente para la remoción de zinc en aguas de la relavera Santa Catalina, logrando reducir significativamente la concentración inicial del metal hasta valores que cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental para agua categoría 3.

La dosis del bioadsorbente influye significativamente en la eficiencia del proceso, observándose que el incremento de la cantidad de cáscara de naranja mejora la remoción de zinc debido a la mayor disponibilidad de sitios activos para la adsorción.

El tiempo de contacto tiene un efecto significativo en la remoción de zinc, ya que periodos de contacto más prolongados favorecen la interacción entre el metal y la superficie del bioadsorbente, permitiendo alcanzar menores concentraciones finales.

El tamaño de partícula influye de manera significativa en la remoción de zinc, obteniéndose mejores resultados con el tamaño de 150 μm , debido al aumento del área superficial y a una mayor accesibilidad a los sitios activos del material.

El análisis de varianza multifactorial evidenció que la dosis, el tiempo de contacto y el tamaño de partícula influyen significativamente de manera individual en la concentración final de zinc, además de presentarse interacciones significativas entre algunos de estos factores, lo que demuestra que el proceso de bioadsorción depende de la combinación de condiciones operativas.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda considerar el uso de cáscaras de naranja como una alternativa viable para el tratamiento de aguas contaminadas con zinc provenientes de actividades mineras, debido a su eficiencia demostrada en el proceso de bioadsorción y a su bajo costo, lo que contribuiría a la mitigación del alto impacto ambiental que se generan por estos efluentes.

Se recomienda evaluar el proceso de bioadsorción a escala piloto, con volúmenes mayores de agua de relave, a fin de verificar la eficiencia del tratamiento en condiciones más cercanas a la aplicación real.

Investigar la influencia de otros parámetros operativos como el pH, la temperatura y la presencia de otros metales pesados, debido a que estos factores pueden afectar la eficiencia de adsorción en condiciones reales de relaves mineros.

Comparar la eficiencia de la cáscara de naranja con otros bioadsorbentes de bajo costo disponibles en la región, a fin de identificar alternativas complementarias o más eficientes para la remoción de metales pesados.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos* (010).
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/656307/60190132695140460020200426-24009-15lpuxo.pdf?v=1587960369>
- Autoridad nacional del Agua. (2018). *Declaran estado de emergencia de recursos hídricos por inminente riesgo de afectación de la calidad del agua del Rio Moche* (196).
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/654916/86840791849262282320200426-24009-y3stm8.pdf?v=1633047637>
- Biasi, A., Messina, G. y Gomez, N. (2021). Determinación de Zinc en muestras de agua del ríos y red de la provincia de San Luis y aguas envasadas. *DIATEA*, 39(173), 38-48. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-73372020000400038#aff1
- Córdova-Suarez, M., Gavilanes, J., Ruiz, O. y Vega, J. (2018). Desarrollo del proceso de ozonización en la planta de tratamiento de agua envasada de la Empresa Publica Empresa Municipal de agua potable y alcantarillado de Ambo (EP-EMAPA-A). *Ciencia Digital*, 2(3), 1-9. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v2i3.167>
- Ferreiro, C., Villota, N., De Luis, A., Lombraña, J., Etxebarria, N. y Loma, J. (2021). Water Reuse Study from Urban WWTPs via c-Ultrafiltration and Ozonation Technologies: Basis for Resilient Cities and Agriculture. *Agronomy*, 11 (2), 322. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020322>
- España-Chamorro, J. (2022). *Remoción de metales en efluentes de relaveras para alcanzar agua de categoría 3 en la provincia de Caraveli 2020* [Tesis de Pregrado, Universidad Continental]. Archivo digital. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12493/2/IV_FIN_107_TE_Espana_Chamorro_2022.pdf
- Gonzalez-Reimers, E., Martin, L., Espelosin, E., Martinez, D., Galindo, L., Romero, L. y Martin, C. (2017). A possible case of chronic zinc intoxication: increased zinc concentration in gastric mucosa. *Majorensis*, 13(1), 21-23.

https://www.researchgate.net/publication/318562818_A_possible_case_of_chronic_zinc_intoxication_increased_zinc_concentration_in_gastric_mucosa

- Hernández-Medina, N., Bejarano, S., Mena, N. y Machuca, F. (2019). Tratamiento de aguas residuales provenientes de estaciones de gasolina mediante ozonización catalítica. *Ingeniería y Competitividad*, 21(1), 23-34. <https://dx.doi.org/10.25100/iyc.v20i1.7652>
- Humanante-Cabrera, J., Moreno, L., Grijalva, A., Saldoya, R. y Suarez, J. (2022). Eficiencia de remoción e impacto del sistema de tratamiento de aguas residuales del sector urbano y rural de la Provincia de Santa Elena. *Manglar*, 19(2), 177-184. <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2022.022>
- Leonel, L. y Tonetti, A. (2021). Wastewater reuse for crop irrigation: Crop yield, soil and human health implications based on giardiasis epidemiology. *Science of The Total Environment*, 775. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145833>
- Martins-Mendoca, M., Salla, M., Aguiar, C., De Moura, A. y Bolaños M. (2021). Influencia de los catalizadores en la Ozonización de agua residual sintética. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 37, 201-209. <https://doi.org/10.20937/RICA.53786>
- Ministerio de Agricultura. (2010). *Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos* (29338). <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/3351.pdf>
- Ministerio de Salud. (2010). *Reglamento de la calidad de agua para consumo humano* (031). <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/273650/reglamento-de-la-calidad-del-agua-para-consumo-humano.pdf?v=1561937448>
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias* (004). <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Ley General del Ambiente* (28611). https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/12772/Ley-N_-28611.pdf?v=1578521542

- Moreno-Quispe, L. (2021). *Sistema de saneamiento básico del centro poblado Eslabon, Distrito de Independencia, Provincia de Huaraz*. [Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI]. Archivo digital. <https://repositorio.uct.edu.pe/server/api/core/bitstreams/8f27608b-eb1e-4b0f-a70a-a18da3297f92/content>
- Morillo-Esparza, J., Cevallos, N., Sandoval, C., Vargas, P. y Muñoz, F. (2019). Combined treatment using ozone for cyanide removal from wastewater: a comparison. *Revista Internacional de contaminación ambiental*, 35(2). <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.02.16>
- Rekhate, C. y Srivastava, J. (2021). *Effectiveness of O₃/Fe²⁺/H₂O₂ process for detoxification of heavy metals in municipal wastewater by using RSM*. *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification*, 1,10. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2021.108442>
- Rodriguez-Agudelo, K., Agudelo, R. y Caicedo, M. (2021). Tratamiento de aguas residuales producidas en el proceso de remojo en curtiembres empleando ozono y hierro como catalizador. *Revista ION*, 34(2). [//doi.org/10.18273/revion.v34n2-2021010](https://doi.org/10.18273/revion.v34n2-2021010)
- Rosal, R. (2019). Ozonización. *Ecuaciones y Cálculos para el tratamiento de aguas* (453-460). Paraninfo. https://www.researchgate.net/publication/330144584_Ozonizacion
- Sanchez-Ascencio, J. (2022). *IMPACTO DE LOS RELAVES MINEROS DE LA UNIDAD MINERA ESTRELLA EN EL RIO UCHURAGRA, HUAYLILLAS, 2021*. [Tesis Pregrado, Universidad Privada del Norte]. Archivo digital. <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/34096/Sanchez%20Ascencio%2c%20Jamin%20Denis.pdf?sequence=1>
- Umbarila-Ortega, M., Prado, J. y Agudelo, R. (2019). Remoción de sulfuro empleando ozono como agente oxidante en aguas residuales de curtiembre. *Revista Facultad de Ingeniería*, 28(51). <https://doi.org/10.19053/01211129.v28.n51.2019.9081>
- Urbano-Paccho, G. (2023). Remoción de Manganeseo por procesos de Ozonización en drenajes ácidos de mina de la relavera Quiulachoca, Cerro de Pasco, 2022. [Tesis Pregrado, Universidad Nacional Federico Villareal]. Archivo digital.

https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/8394/UNFV_FIG_AE_Urbano_Paccho_Gabriel_Galindo_Titulo_profesional_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Veliz, E., Bataller, M., Ortega, N. y Gil, D. (2022). Tratamiento primario y ozonización de aguas residuales modelo de la producción de capsulas blandas. *Tecnología y ciencias del agua*, 13(6), 98-165. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-13-06-03>

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Título: BIOADSORCION CON CASCARAS DE NARANJA Y REMOCION DE ZINC EN AGUAS DE LA RELAVERA SANTA CATALINA, QUIRUVILCA-LA LIBERTAD, 2025.			
<p>1 Problema General</p> <p>¿De qué manera la bioadsorción con cáscara de naranja remueve el zinc en aguas de la relavera Santa Catalina, Quiruvilca-la libertad, 2025?</p> <p>Problemas Específicos</p> <p>1.1¿De qué manera la bioadsorción con cáscara de naranja remueve el zinc según la dosis en aguas de la relavera Santa Catalina, Quiruvilca, La Libertad, 2025?</p> <p>1.2¿De qué manera la bioadsorción con cascaras de naranja remueve el zinc según el</p>	<p>2 Hipótesis General</p> <p>La bioadsorción con cáscara de naranja removerá significativamente el zinc de las aguas de la relavera Santa Catalina en Quiruvilca, La Libertad, 2025</p> <p>Hipótesis Específicas</p> <p>2.1 La bioadsorción con cáscara de naranja removerá significativamente el zinc según la dosis de las aguas de la relavera Santa Catalina en Quiruvilca, La Libertad, 2025.</p> <p>2.2 La bioadsorción con cascará de naranja removerá significativamente el zinc según</p>	<p>3 Objetivo General</p> <p>Remover el zinc mediante bioadsorción con cáscara de naranja en las aguas de la relavera Santa Catalina en Quiruvilca, La Libertad, 2025</p> <p>Objetivos Específicos</p> <p>3.1 Remover el zinc mediante bioadsorción con cáscara de naranja según la dosis en las aguas de la relavera Santa Catalina en Quiruvilca, La Libertad, 2025.</p> <p>3.2 Remover el zinc mediante bioadsorción con cáscaras de naranja según el tiempo de</p>	<p>Metodología</p> <ul style="list-style-type: none"> - Enfoque: Cuantitativo - Tipo . Según su fin: Aplicada . Según su profundidad: Experimental-explicativo - Diseño: Experimental - Técnica: Observación directa - Instrumento: Espectrofotómetro de absorción atómica

<p>tiempo de contacto en aguas de la relavera Santa Catalina, Quiruvilca – La Libertad, 2025?</p> <p>1.3¿De qué manera la bioadsorción con cáscaras de naranja remueve el zinc según el tamaño de partícula en aguas de la relavera Santa Catalina, Quiruvilca-La Libertad, 2025?</p>	<p>el tiempo de contacto en aguas de la relavera Santa Catalina, Quiruvilca-La Libertad.</p> <p>2.3 La bioadsorción con cascará de naranja removerá significativamente el zinc según el tamaño de partícula en aguas de la relavera Santa Catalina, Quiruvilca-La Libertad.</p>	<p>contacto en las aguas de la relavera Santa Catalina, Quiruvilca-La Libertad, 2025.</p> <p>3.3 Remover el zinc mediante bioadsorción con cascaras de naranja según el tamaño de partícula en las aguas de la relavera Santa Catalina, Quiruvilca-La Libertad, 2025.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Población: Aguas de relave. - Muestra: 10 lt de aguas de relave.
--	--	--	---

Anexo 2: Cuadro de operacionalización/categorización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems
Independiente Bioadsorción con cáscaras de naranja	Según Fernandez et al. (2020) “La bioadsorción es un proceso fisicoquímico que usa biomasas permitiendo remover metales pesados mediante la concentración de contaminantes en la superficie del bioadsorbente”.	El material bioadsorbente se obtuvo de juguerías, posteriormente fueron trasladados al laboratorio donde pasaron los procesos determinados e implemento a las nuestra de relave.	Factores del proceso de bioadsorción	Dosis del bioadsorbente Tiempo de contacto Tamaño de partícula	5,10,15 y 20 gramos 60 y 120 minutos 250 y 150 μm

<p>Dependiente</p> <p>Remoción de zinc</p>	<p>Cruz et al. (2017) considera a la remoción como: “el uso de procedimientos fisicoquímicos destinados a eliminar el metal contaminante presente en el agua, el intercambio iónico, la precipitación, la osmosis y la bioadsorción son algunos de estos procesos”.</p>	<p>La remoción de zinc se midió a través del porcentaje de remoción, para ello se consideró la concentración inicial y final de zinc.</p>	<p>Factores de remoción de zinc</p>	<p>Conc. Inicial Conc. Final</p> <p>%remoción</p>	$\%R = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$
--	---	---	-------------------------------------	---	--

Anexo 3: Ficha técnica



CONSTANCIA

La bachiller de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Católica de Trujillo, **Chomba Galindos, Juleysi Medaly**, realizó los análisis de su proyecto de tesis en el Laboratorio de Análisis Instrumental de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Privada del Norte.

Los ensayos para la determinación de zinc (Zn) se llevaron a cabo mediante la técnica de **Espectrofotometría de Absorción Atómica**, siguiendo la metodología establecida en su protocolo de investigación y bajo la supervisión del responsable del laboratorio.

Con el fin de garantizar la confiabilidad y trazabilidad de los resultados obtenidos, se adjunta los datos del equipo utilizado, el cual cuenta con calibración vigente, indicando su respectiva fecha y código de calibración.

NOMBRE DEL EQUIPO	MARCA	FECHA DE CALIBRACIÓN	CODIGO DE CALIBRACIÓN
ESPECTROFOTOMETRO DE ABSORCION ATÓMICA TIPO LLAMA	AGILENT TECHNOLOGIES	11/03/2025	INT-0125-2025

Se expide la presente constancia simple a solicitud de la interesada para fines que estime conveniente.

Trujillo, Viernes 21 de Julio del 2025.


Milton N. Paredes Avalos
Responsable de los Laboratorios
Ingeniería Ambiental

Anexo 4: Reporte de Turnitin

Anexo 5: Reporte de escritura de inteligencia artificial

Anexo 6: Panel fotográfico

Figura 3

Relavera Santa Catalina



Nota. Fotografía de la relavera Santa Catalina – Quiruvilca

Figura 4

Limpieza y lavado de los bidones para las muestras de aguas de relave



Nota. Los bidones de 5L fueron lavados con agua destilada.

Figura 5

Toma de muestras de agua de relave



Nota. Recojo de las aguas de relave minero.

Figura 6

Preservación de las muestras de agua de relave



Nota. Las muestras fueron preservadas con ácido nítrico.

Figura 7

Limpieza y lavado del material bioadsorbente.



Nota. Las cascaras de naranja fueron lavadas con abundante agua destilada para eliminar cual impureza que se encuentre en su superficie.

Figura 8

Troceado del material bioadsorbente.



Nota. Las cascaras de naranjas fueron troceados de 1 a 2 cm aprox.

Figura 9

Secado del material bioadsorbente.



Nota. El material bioadsorbente se secó en una estufa a 60°C por 24h

Figura 10

Material bioadsorbente secado.



Nota. Material bioadsorbente seco después de 24 horas.

Figura 11

Molienda del material bioadsorbente.



Nota. Las cáscaras de naranja fueron molidas por un molino de mano.

Figura 12

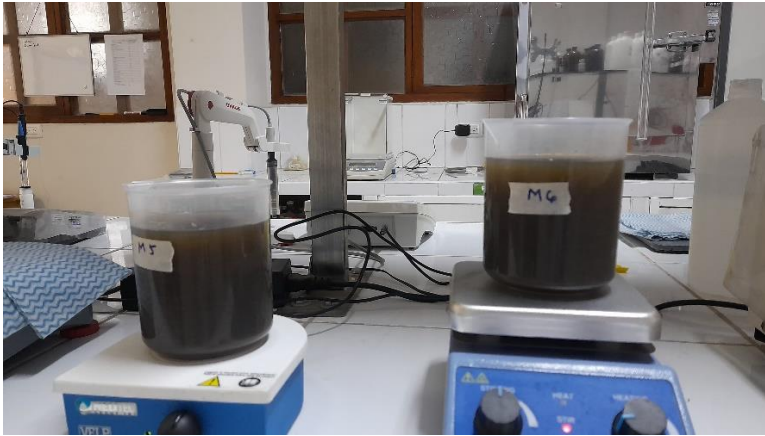
Tamizado del material bioadsorbente.



Nota. El material bioadsorbente fue tamizado con el tamaño de partícula establecido.

Figura 13

Agitación de las muestras.



Nota. las muestras fueron llevadas a una velocidad de agitación de 300 rpm.

Figura 14

Filtración de las muestras.



Nota. Las muestras fueron filtradas y llevadas a analizar.

Figura 15

Muestras tratadas.



Nota. Resultados de algunas muestras tratadas

User User

INFORME DE TESIS - CHOMBA GALINDOS (3)

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:556704734

Fecha de entrega

13 feb 2026, 20:23 GMT

Fecha de descarga

14 feb 2026, 13:21 GMT

Nombre del archivo

INFORME DE TESIS - CHOMBA GALINDOS (3).docx

Tamaño del archivo

2.4 MB

70 páginas

13.874 palabras

76.925 caracteres




20% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 17%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 15%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 17% Fuentes de Internet
- 3% Publicaciones
- 15% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	
hdl.handle.net		2%
2	Trabajos del estudiante	
Universidad Cesar Vallejo on 2024-08-18		1%
3	Trabajos del estudiante	
PREGRADO on 2025-11-29		1%
4	Internet	
dspace.unitru.edu.pe		1%
5	Internet	
repositorio.uct.edu.pe		1%
6	Internet	
repositorio.ucv.edu.pe		<1%
7	Internet	
repositorio.unemi.edu.ec		<1%
8	Trabajos del estudiante	
PREGRADO on 2025-09-30		<1%
9	Trabajos del estudiante	
PREGRADO on 2026-01-16		<1%
10	Internet	
alicia.concytec.gob.pe		<1%
11	Trabajos del estudiante	
Universidad Catolica de Trujillo on 2023-04-18		<1%

12	Internet	www.revistas.unjbg.edu.pe	<1%
13	Trabajos del estudiante	POSGRADO on 2026-01-21	<1%
14	Internet	repositorio.unfv.edu.pe	<1%
15	Internet	repositorio.upsc.edu.pe	<1%
16	Publicación	"Proceedings of the 4th Biotechnology World Symposium", Mexican Journal of Bi...	<1%
17	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de San Martín on 2026-01-27	<1%
18	Trabajos del estudiante	Universidad Privada del Norte on 2025-05-30	<1%
19	Internet	repositorio.unc.edu.pe	<1%
20	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Trujillo on 2026-01-27	<1%
21	Internet	www.coursehero.com	<1%
22	Trabajos del estudiante	POSGRADO on 2026-01-10	<1%
23	Publicación	Quille Calizaya, German. "Obtención de carbonato de litio mediante proceso de li...	<1%
24	Internet	www.revistaalfa.org	<1%
25	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Cajamarca on 2026-01-29	<1%

26	Internet	repositorio.unac.edu.pe	<1%
27	Internet	www.grafiati.com	<1%
28	Internet	repositorio.unh.edu.pe	<1%
29	Internet	www.researchgate.net	<1%
30	Trabajos del estudiante	PREGRADO on 2025-09-30	<1%
31	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo on 2016-06-10	<1%
32	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Autonoma Altoandina de Tarma on 2025-12-21	<1%
33	Internet	congresorebiza.mx	<1%
34	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo on 2026-01-08	<1%
35	Trabajos del estudiante	Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE on 2023-05-23	<1%
36	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional del Centro del Peru on 2025-11-18	<1%
37	Trabajos del estudiante	Universidad de Costa Rica on 2025-07-04	<1%
38	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo on 2025-12-06	<1%
39	Trabajos del estudiante	antonionarino on 2024-12-06	<1%

40	Trabajos del estudiante	Universidad Estatal Amazonica- on 2025-08-15	<1%
41	Trabajos del estudiante	PREGRADO on 2025-10-09	<1%
42	Internet	apirepositorio.unh.edu.pe	<1%
43	Internet	repositorio.espam.edu.ec	<1%
44	Internet	repositorio.ucss.edu.pe	<1%
45	Trabajos del estudiante	unsaac on 2021-11-11	<1%
46	Internet	www.revistacomunicar.com	<1%
47	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo on 2025-07-15	<1%
48	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo on 2025-12-24	<1%
49	Trabajos del estudiante	Universidad Continental on 2025-10-02	<1%
50	Trabajos del estudiante	Universidad Privada del Norte on 2024-12-24	<1%
51	Internet	www.ana.gob.pe	<1%
52	Internet	www.redib.org	<1%
53	Trabajos del estudiante	PREGRADO on 2025-11-14	<1%

54	Trabajos del estudiante	Universidad Católica de Santa María on 2023-12-04	<1%
55	Trabajos del estudiante	Universidad Continental on 2024-03-21	<1%
56	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Moquegua on 2024-11-29	<1%
57	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga on 2022-09-27	<1%
58	Trabajos del estudiante	Universidad Privada del Norte on 2025-09-06	<1%
59	Trabajos del estudiante	Universidad Privada del Norte on 2025-10-07	<1%
60	Internet	futur.upc.edu	<1%
61	Internet	repositorio.uea.edu.ec	<1%
62	Internet	repositorio.upn.edu.pe	<1%
63	Trabajos del estudiante	Escuela Politecnica Nacional on 2019-10-23	<1%
64	Trabajos del estudiante	Escuela Politecnica Nacional on 2023-08-23	<1%
65	Trabajos del estudiante	POSGRADO on 2025-11-24	<1%
66	Trabajos del estudiante	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2021-08-15	<1%
67	Trabajos del estudiante	Universidad Católica de Santa María on 2024-12-03	<1%

68	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo on 2017-11-09	<1%
69	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Trujillo on 2025-03-25	<1%
70	Internet	catalogo.pedagogica.edu.co	<1%
71	Internet	repositorio.unap.edu.pe	<1%
72	Internet	repositorio.unjbg.edu.pe	<1%
73	Trabajos del estudiante	uncedu on 2024-09-09	<1%
74	Internet	www.minem.gob.pe	<1%
75	Internet	www.slideshare.net	<1%

User User

INFORME DE TESIS - CHOMBA GALINDOS (3)

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:556704734

Fecha de entrega

13 feb 2026, 20:23 GMT

Fecha de descarga

14 feb 2026, 13:20 GMT

Nombre del archivo

INFORME DE TESIS - CHOMBA GALINDOS (3).docx

Tamaño del archivo

2.4 MB

70 páginas

13.874 palabras

76.925 caracteres

*% detectado como IA

La detección de IA incluye la posibilidad de que haya falsos positivos. Aunque cierto texto en esta entrega se generó probablemente con IA, los puntajes inferiores al umbral del 20 % no aparecen porque tienen una mayor probabilidad de falsos positivos.

Precaución: Se necesita revisión.

Es esencial comprender los límites de la detección de IA antes de tomar decisiones acerca del trabajo del estudiante. Te alentamos a obtener más información acerca de las funciones de detección de IA de Turnitin antes de usar la herramienta.

Aviso legal

Nuestra evaluación de escritura con IA está diseñada para ayudar a los académicos a identificar texto que podrían haberse preparado mediante una herramienta de IA generativa. Es posible que nuestra evaluación de escritura con IA no siempre sea precisa (existe la posibilidad de que identifique erróneamente redacciones probablemente generadas por humanos como generadas por IA, y redacciones probablemente generadas por IA como generadas por humanos), por lo que no debe usarse como único fundamento para aplicar sanciones a un estudiante. Para determinar si es un caso de deshonestidad académica, se necesita de un escrutinio mayor y el juicio humano, junto con la aplicación de las políticas académicas específicas de la organización.

Preguntas frecuentes

¿Cómo debería interpretar los falsos positivos y el porcentaje de escritura con IA de Turnitin?

El porcentaje que se muestra en el reporte de escritura con IA es la cantidad del texto calificado en la entrega que el modelo de detección de escritura con IA de Turnitin determina se generó probablemente con IA desde un modelo de lenguaje de gran tamaño.

Los falsos positivos (que marcan incorrectamente alertas de texto escrito por humanos como generado con IA) son una posibilidad en los modelos de IA.

Los puntajes de detección de IA inferiores al 20 %, que no aparecen en reportes nuevos, tienen una mayor probabilidad de ser falsos positivos. Para reducir la probabilidad de malinterpretación, no se atribuye ningún puntaje o resaltado y se indican con un asterisco en el reporte (*%).

El porcentaje de escritura con IA no debe ser el único fundamento para determinar si ha ocurrido una mala conducta. El revisor/instructor debería usar el porcentaje como un medio para iniciar una conversación formativa con sus estudiantes o usarlo para examinar el ejercicio entregado según las políticas de la escuela.

¿Qué significa 'texto calificado'?

Nuestro modelo sólo procesa texto calificado en la forma de escritura de formato largo. La escritura de formato largo se refiere a los enunciados individuales en párrafos que constituyen una parte más grande del trabajo escrito, como un ensayo, una disertación, un artículo, etc. El texto calificado que se ha determinado que se generó probablemente con IA se resaltarán en color cian en la entrega.

El texto no calificado, como viñetas, bibliografías comentadas, etc., no se procesará y puede crear disparidad entre los puntos destacados de la entrega y el porcentaje mostrado.

