

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**“Efectividad del biofiltro de la cáscara de *Citrus sinensis* sobre la
calidad de agua contaminada por plomo en la localidad de
Huancamina - 2024”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA
AMBIENTAL**

AUTORA: León Cori, Inés Margoth

ASESOR: Cámara Llanos, Frank Erick

HUÁNUCO – PERÚ

2025

U

D

H



UDH
UNIVERSIDAD DE HUANCAYO
<http://www.udh.edu.pe>

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Contaminación Ambiental
AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería Ambiental

Disciplina: Ingeniería Ambiental y Geológica

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniera ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 74418225

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 44287920

Grado/Título: Maestro en ciencias de la salud con
mención en: salud pública y docencia universitaria

Código ORCID: 0000-0001-9180-7405

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Morales Aquino, Milton Edwin	Maestro en ingeniería, con mención en: gestión ambiental y desarrollo sostenible	44342697	0000-0002 2250-3288
2	Bonifacio Munguía, Jonathan Oscar	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	46378040	0000-0002- 3013-8532
3	Romero Estacio, Jorge Antonio	Maestro en gestión pública para el desarrollo social	22520481	0009-0000- 2063-4076



UNIVERSIDAD DE HUANUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 15:30 horas del día 20 del mes de mayo del año 2025, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

- Mg. Milton Edwin Morales Aquino (Presidente)
- Mg. Jonathan Oscar Bonifacio Munguia (Secretario)
- Mg. Jorge Antonio Romero Estacio (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N° 0924-2025-D-FI-UDH**, para evaluar la Tesis intitulada: **"EFECTIVIDAD DEL BIOFILTRO DE LA CÁSCARA DE *Citrus sinensis* SOBRE LA CALIDAD DE AGUA CONTAMINADA POR PLOMO EN LA LOCALIDAD DE HUANCAMINA - 2024"**, presentado por el (la) Bach. **LEON CORI, INES MARGOTH**; para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

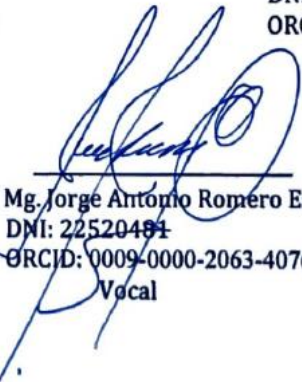
Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) aprobada Por unanimidad con el calificativo cuantitativo de 12 y cualitativo de suficiente (Art. 47)

Siendo las 16:45 horas del día 20 del mes de mayo del año 2025, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


Mg. Milton Edwin Morales Aquino
DNI: 44342697
ORCID: 0000-0002-2250-3288
Presidente


Mg. Jonathan Oscar Bonifacio Munguia
DNI: 46378040
ORCID: 0000-0002-3013-8532
Secretario


Mg. Jorge Antonio Romero Estacio
DNI: 22520484
ORCID: 0009-0000-2063-4076
Vocal

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: INÉS MARGOTH LEÓN CORI, de la investigación titulada "Efectividad del biofiltro de la cáscara de Citrus sinensis sobre la calidad de agua contaminada por plomo en la localidad de Huancamina - 2024", con asesor(a) FRANK ERICK CAMARA LLANOS, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 1334-2024-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 19 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 22 de abril de 2025



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

125. León Cori, Inés Margoth.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

4%

2

repositorio.usanpedro.edu.pe

Fuente de Internet

2%

3

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

revista.sciencevolution.com

Fuente de Internet

1%

5

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

1%



RICHARD J. SOLIS TOLEDO

D.N.I.: 47074047

cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA

D.N.I.: 71345687

cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

A mis padres Anatolio y Doila, cuya sabiduría, sacrificio y amor incondicional han sido la base de mis logros. Gracias por creer en mí y enseñarme a perseguir mis sueños con perseverancia.

A mi hermano Klinthon, por estar siempre a mi lado y recordarme la importancia de la familia, por ser una fuente de motivación para superar cada obstáculo con humildad y valentía.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios, cuya guía y fortaleza han sido fundamentales para alcanzar esta meta.

A mi familia, especialmente a mis padres, por su amor, apoyo incondicional, ejemplo de esfuerzo y dedicación, por recordarme de que los sueños se alcanzan con esfuerzo, perseverancia y confianza en uno mismo.

Agradezco profundamente a Elizabeth y Patrick por su invaluable ayuda, por confiar en mí durante todo el proceso de esta tesis. Su apoyo fue fundamental para lograrlo.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN	XI
CAPÍTULO I	13
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	13
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	15
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	15
1.3. OBJETIVOS	15
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	15
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	17
CAPÍTULO II	19
MARCO TEÓRICO	19
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	19
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	19
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	22
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	25

2.2. BASES TEÓRICAS	26
2.2.1. BIOFILTROS	26
2.2.2. CÁSCARA DE NARANJA	28
2.2.3. CALIDAD DE AGUA	32
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES	41
2.4. HIPÓTESIS	43
2.5. VARIABLES	43
2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE	43
2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE	43
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	44
CAPITULO III	45
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	45
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	45
3.1.1. ENFOQUE	45
3.1.2. ALCANCE O NIVEL	45
3.1.3. DISEÑO	45
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	46
3.2.1. POBLACIÓN	46
3.2.2. MUESTRA	46
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	46
3.3.1. PROTOCOLO DE TRABAJO	47
3.1. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	52
CAPITULO IV	53
RESULTADOS	53
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS	53
4.2. CONTRASTACIÓN Y PRUEBA DE HIPÓTESIS	57

CAPITULO V	59
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	59
5.1. DISCUSIÓN DEL OBJETIVO GENERAL	59
5.2. DISCUSIÓN DE LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS	60
CONCLUSIONES	62
RECOMENDACIONES.....	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA	64
ANEXOS	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estándar de Calidad Ambiental del agua	40
Tabla 2 Operacionalización de variables	44
Tabla 3 Técnicas e instrumento de recolección de datos.....	46
Tabla 4 Descripción del porcentaje de plomo en el agua antes y después de la biofiltración con la cáscara de <i>Citrus sinensis</i>	53
Tabla 5 Descripción de las características físicas del agua contaminada por plomo antes y después de la biofiltración con la cáscara de <i>Citrus sinensis</i>	54
Tabla 6 Descripción de las características químicas del agua contaminada por plomo antes y después de la biofiltración con la cáscara de <i>Citrus sinensis</i>	55
Tabla 7 Prueba de normalidad de los datos con Kolmogorov-Smirnov	57
Tabla 8 ANOVA con un factor intrasujetos (Prueba multivariante)	58
Tabla 9 Comparaciones por pareja.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Partes de la naranja.....	30
Figura 2 Funcionamiento del prototipo.....	50
Figura 3 Estructura general del prototipo	51
Figura 4 Descripción del porcentaje de plomo en el agua antes y después de la biofiltración con la cáscara de <i>Citrus sinensis</i>	53
Figura 5 Descripción de las características físicas del agua contaminada por plomo antes y después de la biofiltración con la cáscara de <i>Citrus sinensis</i>	54
Figura 6 Descripción de las características químicas del agua contaminada por plomo antes y después de la biofiltración con la cáscara de <i>Citrus sinensis</i>	55

RESUMEN

El presente estudio titulado “Efectividad del biofiltro de la cáscara de *Citrus sinensis* sobre la calidad de agua contaminada por plomo en la localidad de Huancamina - 2024” tuvo como objetivo determinar la capacidad de la cáscara de naranja como material bioadsorbente para la remoción de plomo en aguas contaminadas. La metodología de estudio fue experimental, con enfoque cuantitativo y de nivel explicativo. La fase experimental contó en la construcción de un prototipo de filtro utilizando vidrio y diferentes capas de material filtrante, incluyendo harina de cáscara de naranja, arena y piedras, además de la recolección y preparación del material orgánico. Se realizaron pruebas experimentales con muestras de agua contaminada y se analizaron los cambios en los parámetros fisicoquímicos antes y después de la filtración. Los resultados mostraron una reducción de la concentración de plomo de 30.21 mg/L a 18.64 mg/L, una disminución de la conductividad eléctrica de 680.56 $\mu\text{S/cm}$ a 450.76 $\mu\text{S/cm}$ y un aumento en el pH del agua de 5.13 a 6.32. lo que indica una mejora en la calidad del agua tratada. Asimismo, se evidencia una reducción en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de 6.46 a 4.34 mg/L y demanda química de oxígeno (DQO) redujo de 26.32 a 17.84 mg/L, reflejando una menor carga de materia orgánica y contaminantes químicos. El análisis estadístico mediante pruebas ANOVA confirmó la existencia de diferencias significativas en la calidad del agua antes y después del tratamiento en los distintos grupos con un $p < 0.05$, mostrando la efectividad del biofiltro de *Citrus sinensis* en la reducción de plomo y mejora de la calidad del agua. Se concluyó que el biofiltro de cáscara de naranja es una alternativa efectiva, económica y ecológica para la remoción de plomo del agua contaminada, con potencial de implementación en comunidades afectadas por la contaminación hídrica.

Palabras claves: biofiltro, cáscara de *Citrus sinensis*, remoción de plomo, calidad del agua, parámetros físico-químicos.

ABSTRACT

The present study, titled "Effectiveness of the *Citrus sinensis* Peel Biofilter on the Quality of Lead-Contaminated Water in the Locality of Huancamina - 2024," aimed to determine the capacity of orange peel as a bioadsorbent material for lead removal in contaminated water. The study followed an experimental methodology with a quantitative approach and an explanatory level of research. The experimental phase involved the construction of a filter prototype using glass and different layers of filtering materials, including orange peel flour, sand, and stones, as well as the collection and preparation of the organic material. Experimental tests were conducted using contaminated water samples, and the physicochemical parameters were analyzed before and after filtration. The results showed a reduction in lead concentration from 30.21 mg/L to 18.64 mg/L, a decrease in electrical conductivity from 680.56 $\mu\text{S}/\text{cm}$ to 450.76 $\mu\text{S}/\text{cm}$, and an increase in water pH from 5.13 to 6.32, indicating an improvement in treated water quality. Additionally, there was a reduction in biochemical oxygen demand (BOD) from 6.46 to 4.34 mg/L and chemical oxygen demand (COD) from 26.32 to 17.84 mg/L, reflecting a lower organic matter load and fewer chemical contaminants. Statistical analysis using ANOVA tests confirmed significant differences in water quality before and after treatment across different groups with a $p < 0.05$, supporting the effectiveness of the *Citrus sinensis* biofilter in lead reduction and water quality improvement. It was concluded that the orange peel biofilter is an effective, economical, and eco-friendly alternative for removing lead from contaminated water, with potential for implementation in communities affected by water pollution.

Keywords: Biofilter, *Citrus sinensis* peel, lead removal, water quality, physicochemical parameters.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua por metales pesados representa una problemática ambiental y de salud pública de gran relevancia en diversos lugares. El plomo, en particular, es un metal altamente tóxico que puede generar efectos adversos en los ecosistemas acuáticos y en la salud humana, incluyendo trastornos neurológicos y enfermedades renales. En la localidad de Huancamina, el agua se encuentra expuesta a contaminación por plomo debido a actividades mineras, lo que pone en riesgo a la población y al medio ambiente.

El uso de materiales naturales como biofiltros ha emergido como una alternativa viable y ecológica para la remoción de metales pesados en cuerpos de agua contaminados. Diversos estudios han demostrado la efectividad de residuos agroindustriales, como cáscaras de frutas, en la adsorción de contaminantes metálicos. Por tal motivo el objetivo fue determinar la efectividad del biofiltro de la cáscara de *Citrus sinensis* sobre la calidad de agua contaminada por plomo de la localidad de Huancamina. En este contexto se llevó a cabo un estudio experimental en el que se midió la eficiencia del biofiltro en la remoción del plomo en el agua, para ello se realizaron pruebas para evaluar el impacto del biofiltro en las características físico-químicas del agua y determinar la efectividad del biofiltro elaborado a partir de la cáscara de *Citrus sinensis* en la reducción de la concentración de plomo en agua contaminada en la localidad de Huancamina.

En este sentido, la presente investigación contribuye al desarrollo de estrategias sostenibles para la descontaminación de cuerpos de agua, ofreciendo una solución económica y ecológica que aprovecha residuos agroindustriales. La implementación de biofiltros basados en cáscaras de frutas podría representar una alternativa viable para comunidades afectadas por la contaminación de metales pesados, reduciendo los riesgos ambientales y sanitarios asociados a la exposición a estas sustancias tóxicas. Además, al tratarse de un material de bajo costo y fácil obtención, su uso de métodos destinados al tratamiento de agua puede ser una opción asequible para comunidades con recursos limitados. Esto contribuye a mejorar la calidad de

vida de manera positiva de las poblaciones expuestas a agua contaminada, promoviendo el aprovechamiento de desechos orgánicos en procesos de purificación de agua y mitigando los impactos negativos de la contaminación hídrica.

Asimismo, los resultados logrados en este estudio demostraron de manera clara y contundente que la biofiltración con cáscara de *Citrus sinensis* es un recurso sumamente eficaz para optimizar la calidad del agua contaminada con plomo. Durante el proceso de tratamiento, se evidenció una reducción progresiva y significativa en la concentración de plomo. La aplicación de este biofiltro no solo contribuye a la remoción de metales pesados, también fomenta una economía circular al revalorizar subproductos agrícolas que de otro modo serían desperdiciados. Este enfoque sostenible impulsa la investigación en tecnologías de bajo impacto ambiental y favorece la participación de diferentes sectores en la gestión responsable del agua.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La contaminación del agua por plomo es un problema crítico en varias regiones mineras del mundo. La extracción de minerales, específicamente en países en vías de desarrollo, suele llevarse a cabo con poca regulación ambiental, lo que resulta en la liberación significativa de metales pesados, como el plomo, en las fuentes de agua locales. Esta situación se agrava debido a la gestión inadecuada de los residuos mineros y el uso de técnicas de extracción que no consideran las consecuencias ambientales a largo plazo.

Las operaciones mineras, especialmente en países con regulaciones ambientales laxas, liberan grandes cantidades de plomo y otros metales pesados en cuerpos de agua cercanos. La liberación de plomo en los cuerpos de agua se debe a menudo a la falta de regulación estricta y a prácticas mineras deficientes, la situación es especialmente preocupante en América Latina, donde la minería es una industria clave, pero con una regulación ambiental a menudo insuficiente (Ortíz et al., 2014).

La minería ocasiona cambios trascendentes en los afluentes de todo el mundo, alterando significativamente la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos. Las actividades mineras liberan contaminantes, como metales pesados y productos químicos tóxicos, que se infiltran en los ríos y arroyos cercanos. Esta contaminación puede llevar a una disminución de la biodiversidad acuática, alterar los usos agrícolas y recreativos del agua (Paz, 2023).

Una gran parte de la contaminación del agua es causada por las actividades metalúrgicas y mineras, que frecuentemente han sido los principales responsables de dañar y degradar los recursos hídricos en el país. Esto ocurre porque las empresas mineras utilizan el agua de manera intensiva durante su proceso productivo, mezclándola con reactivos químicos como cianuro, arsénico, espumantes y depresores para separar el metal de la roca

y obtener el mineral con valor comercial. Este proceso genera desechos compuestos por roca triturada, agua y residuos de reactivos químicos, conocidos como "relaves mineros". Debido a un tratamiento inadecuado, estos desechos alcanzan los ríos, lagos y lagunas cercanas a las operaciones mineras, provocando la contaminación ambiental de los recursos hídricos (Herrera & Millones, 2011).

La minería tiene un impacto directo dentro de la economía peruana, ya que contribuye al desarrollo de la población y su crecimiento. El desarrollo del sector minero fue incrementando la contaminación de los cuerpos de aguas por diversos metales, tomando en cuenta de forma específica al plomo, ya que viene a ser un metal bioacumulable y un contaminante altamente tóxico (IPE, 2018).

Entre los temas locales, se evaluó que la contaminación del agua por plomo estaría vinculada a las empresas mineras polimetálicas encargadas de la explotación y extracción de diferentes metales. Estos incluyen drenaje minero, relaves, lixiviación de desmonte y escorrentía de sedimentos, los cuales contribuyen a la contaminación significativa de las aguas y suelos. Los niveles de plomo en fuentes de agua superan los límites seguros establecidos por la Organización Mundial de la Salud, poniendo en riesgo la salud de las comunidades locales (Banco Mundial, 2021).

Por ende, se toma en cuenta esta investigación dentro de la mina Huancamina debido que esta mina se dedicaba a la extracción de plata, plomo y zinc, se encuentra ubicada en el distrito de Jacas Chico, provincia de Yarowilca, departamento de Huánuco. La mina Huancamina dejó abandonada su relavera sin brindar ningún tratamiento, esta relavera se encuentra cerca al Río Huancamina, llegando a contaminar con plomo esta fuente de agua superficial modificando las propiedades, por ello se presenta la elaboración de un biofiltro orgánico a base de cáscara de *Citrus sinensis* como una alternativa amigable para mejorar la calidad de las aguas que se encuentran contaminadas por plomo. La implementación de biofiltros orgánicos para la remoción de plomo en aguas de ríos es una solución viable y sostenible para abordar la contaminación por metales pesados. Este enfoque no solo mejora

la calidad del agua, sino que también promueve prácticas ecológicas y el uso de recursos naturales de manera eficiente. A medida que continuamos enfrentando desafíos ambientales, tecnologías como los biofiltros orgánicos se convierten en herramientas cruciales para la protección y restauración de nuestros ecosistemas acuáticos.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la efectividad del biofiltro de la cáscara de *Citrus sinensis* sobre la calidad de agua contaminada por plomo en la localidad de Huancamina?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cuál es el porcentaje de plomo en el agua antes y después de la biofiltración con la cáscara de *Citrus sinensis*?

¿Cuáles son las características físicas del agua contaminada por plomo antes y después de la biofiltración con la cáscara de *Citrus sinensis*?

¿Cuáles son las características químicas del agua contaminada por plomo antes y después de la biofiltración con la cáscara de *Citrus sinensis*?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la efectividad del biofiltro de la cáscara de *Citrus sinensis* sobre la calidad de agua contaminada por plomo en la localidad de Huancamina.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Describir el porcentaje de plomo en el agua antes y después de la biofiltración con la cáscara de *Citrus sinensis*.

Describir las características físicas del agua contaminada por plomo antes y después de la biofiltración con la cáscara de *Citrus sinensis*.

Describir las características químicas del agua contaminada por plomo antes y después de la biofiltración con la cáscara de *Citrus sinensis*.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Ambiental

El estudio sobre el impacto de los biofiltros a base de cáscara de *Citrus sinensis* tuvo como objetivo optimizar el tratamiento de aguas contaminadas con plomo, mediante la implementación de este sistema que facilitará su eliminación y mejorará su calidad. La contaminación hídrica por plomo y otros metales pesados está estrechamente vinculada con las actividades humanas, representando un problema ambiental de gran relevancia. Por esta razón, es fundamental proporcionar una alternativa de tratamiento innovadora, considerando un mecanismo capaz de reducir la presencia de estos elementos en suspensión en los ríos. Su aplicación contribuye al cumplimiento de normativas ambientales y establece la viabilidad de un nuevo sistema para el tratamiento del agua.

Social

La contaminación por metales pesados ha alcanzado una escala significativa en la actualidad, impactando de manera adversa los recursos naturales, incluidos el suelo y el agua, lo que la convierte en un problema ambiental. En muchos casos, no se logra una solución definitiva, ya que los distintos métodos y técnicas de descontaminación no siempre abarcan todas las zonas afectadas. Además, en ciertos escenarios, no se implementan tratamientos adecuados, y en otros, la intervención no se realiza a tiempo.

Teórico

En la presente investigación se han obtenido resultados relevantes, los cuales serán de gran utilidad para futuras investigaciones, considerando la problemática del vertimiento y la acumulación de plomo y otros metales pesados en el agua, que deterioran sus propiedades físicas y químicas. Si no se trata de manera adecuada, esta contaminación continuará representando un riesgo para su uso. Por esta razón, se ha implementado la incorporación

de biofiltros o filtros ecológicos, diseñados para remover los metales pesados suspendidos en el agua. La fabricación del filtro, a partir de materiales orgánicos, ha demostrado ser de fácil aplicación, sencilla operación y con una inversión económica moderada.

Práctico

Es fundamental que la biotecnología utilizada para la eliminación del plomo en el agua sea altamente eficiente. Por ello, la aplicación de biofiltros debe garantizar la reducción de los problemas medioambientales, con el propósito de obtener un resultado sostenible tanto en el ámbito económico como en el social.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

- La ejecución presentó una limitación al momento de armar el módulo experimental, ya que se requirió un ajuste minucioso en la disposición de los materiales filtrantes para garantizar su estabilidad.
- Otra limitante identificada fue el tiempo requerido para el proceso de filtrado del agua, el cual se vio afectado por el peso adicional en cada módulo experimental. A medida que se incrementaba un kilogramo de material filtrado en cada pecera, el tiempo de filtrado se alargaba considerablemente, lo que dificultó la obtención de resultados en un periodo más corto.
- Otra limitante encontrada durante la ejecución del estudio fue el proceso de molienda de la cáscara de naranja, el cual demandó un tiempo considerable para obtener la harina con la granulometría adecuada. Este factor prolongó el tiempo de preparación del biofiltro y representó un desafío adicional en la optimización del proceso.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

- La viabilidad técnica radica en la disponibilidad y accesibilidad de la cáscara de naranja como materia prima, un residuo agroindustrial abundante y de bajo costo. Además, la implementación del biofiltro no requiere tecnología compleja, lo que facilita su desarrollo.

- El desarrollo del biofiltro no requiere inversiones significativas en infraestructura, lo que lo convierte en una alternativa accesible. Sin embargo, es importante considerar los costos asociados a los análisis de calidad del agua, ya que es necesario contratar servicios de laboratorio externos para verificar la eficacia del biofiltro.
- Promueve el aprovechamiento de residuos orgánicos, reduciendo los desechos agroindustriales y proporcionando una opción sostenible para tratar aguas contaminadas. A diferencia de otros métodos, el biofiltro de cáscara de naranja es biodegradable y tiene un bajo impacto ambiental. Sin embargo, es importante manejar adecuadamente los residuos generados, ya que la cáscara saturada con plomo debe ser eliminada de forma segura para evitar impactos negativos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Wattanakornsiri et al., (2022) “Biosorbentes locales de cáscara de fruta para la eliminación de iones de plomo (II) y cadmio (II) de soluciones acuosas residuales”, su objetivo se centra en la eliminación de iones Pb (II) y Cd (II) de soluciones acuosas residuales mediante un proceso de adsorción utilizando biosorbentes naturales modificados químicamente a partir de tres cáscaras de frutas locales: cáscara de pitahaya, cáscara de rambután y cáscara de maracuyá, en su metodología se lavaron las cáscaras con agua del grifo tres veces para eliminar las impurezas, se trituraron finamente con una licuadora. Posteriormente se dejaron al sol durante una semana y se secaron en estufa a 60°C durante 24 horas. A continuación, se pulverizaron y se lavaron por separado con agua destilada tres veces para eliminar color y turbidez. Luego, se tamizaron para seleccionar partículas con tamaños de malla de 10 a 20 para usarlas como adsorbentes, teniendo en cuenta el uso de un desecador para mantenerlos secos. Los resultados muestran las capacidades de adsorción de plomo (II) y cadmio (II) de tres tipos diferentes de biosorbentes en grupos no tratados y tratados químicamente. Se agregaron 0,25 g de biosorbente a 100 ml de agua residual sintética con una concentración de iones metálicos de 100 mg/l. La solución se ajustó al valor de pH de 4 y luego se agitó a temperatura ambiente durante 30 min. Ambos grupos de adsorbentes se comportaron de manera similar en términos de adsorción. Además, los grupos tratados químicamente pudieron absorber mayores cantidades de Pb (II) y Cd (II) que los grupos no tratados. Los grupos tratados químicamente mostraron los mayores porcentajes de eliminación de Pb (II) y Cd (II) con 97,867% y 97,100% para RP, respectivamente. Además, los valores óptimos más altos de capacidad de adsorción de Pb (II) y Cd (II) para cáscara de rambután y cáscara de pitahaya fueron 39,16 mg/g y 38,04 mg/g, respectivamente. Esto probablemente se debió al aumento de las superficies adsorbentes

causadas por el tratamiento con ácido sulfúrico. Se concluye que las características fisicoquímicas de tres tipos diferentes de cáscaras de frutas locales, la cáscara de pitahaya, la cáscara de rambután y la cáscara de maracuyá, confirmaron que son materiales muy interesantes y prometedores que contienen abundantes grupos funcionales en sus estructuras. capaz de adsorber iones metálicos cargados positivamente.

Wang et al., (2022) “Eliminación eficiente de Pb (II) y Cd (II) de soluciones acuosas mediante biosorbente de semillas de mango”, tiene por objetivo eliminación de metales pesados de soluciones acuosas utilizando la semilla de mango (*Mangifera indica*), su metodología se lavó las semillas con agua del grifo para eliminar los residuos de pulpa, se cortó en trozos pequeños (1 cm × 1 cm), se volvió a lavar con agua destilada desionizada 3 veces y luego se secó en una estufa de laboratorio a 60 °C hasta peso constante. La semilla seca se molió usando una licuadora electrónica y se tamizó en partículas <180 µm, 180–500 µm y 500–1000 µm. Los resultados muestran su capacidad de adsorción de Pb (II) fue 2,6 y 9,1 veces mayor que la del MS a 180–500 µm y 500–1000 µm, respectivamente, mientras que la capacidad de adsorción de Cd (II) fue 3,6 y 6,4 veces mayor. Esto probablemente se debió a que las partículas más pequeñas tenían una superficie específica mayor y, por lo tanto, había más sitios de unión disponibles para el proceso de adsorción. Además, esta diferencia también podría deberse a las diferentes propiedades fisicoquímicas y/o de composición de MS con diferentes tamaños de partículas, los equilibrios de los procesos de adsorción de Pb (II) y Cd (II) se lograron rápidamente en 180 minutos, con el 93% de la adsorción de Pb (II) y el 78% de Cd (II) finalizada en los primeros 10 minutos. Se concluye El biosorbente MS, un producto de residuo a recurso, exhibió una adsorción eficiente de Pb (II) y Cd (II) en soluciones acuosas. El Pb (II) y el Cd (II) adsorbidos se eluyeron eficazmente utilizando ácido mineral diluido HNO₃ con eficiencias de recuperación del 99% y 88%, respectivamente. La semilla de mango regenerado mantuvo un rendimiento de adsorción superior, es decir, entre el 96% y el 97% de las capacidades de adsorción originales.

(Lakshmana Naik et al., 2023) En su artículo científico titulado “Eliminación de metales pesados (Cu y Ni) de aguas residuales utilizando cáscara de arroz y cáscara de naranja como adsorbentes” tiene como objetivo evaluar la capacidad de adsorción de la cáscara de arroz y la cáscara de naranja como materiales adsorbentes para la eliminación de iones de metales pesados, específicamente cobre (Cu) y níquel (Ni) presentes en aguas residuales, su metodología consistió en preparar, caracterizar y evaluar las cáscaras de arroz y naranja como adsorbentes. En primer lugar, se recolectaron las cáscaras, que fueron sometidas a un proceso de lavado con agua destilada para eliminar impurezas, seguidas de un secado a temperatura controlada y posterior trituración. Una vez procesadas, se tamizaron para obtener partículas de tamaños uniformes y se almacenaron para su uso experimental. Para simular aguas residuales contaminadas, se prepararán soluciones de sulfato de cobre y nitrato de níquel con concentraciones específicas. Estas soluciones se sometieron a pruebas de adsorción por lotes, donde se controlaron y evaluaron diversas variables experimentales, Dosis de adsorbente. Se utilizaron diferentes cantidades de cáscaras para determinar la influencia de la cantidad sobre la capacidad de adsorción, tiempo de contacto, se midieron las tasas de adsorción en intervalos de tiempo establecidos, desde 0 hasta 120 minutos, velocidad de agitación: Se probaron diferentes niveles de revoluciones por minuto (RPM) para evaluar su efecto en la distribución de los iones metálicos sobre la superficie del adsorbente. pH: Se ajustaron los niveles de acidez y alcalinidad (entre 2 y 10) para identificar el rango más eficiente para la adsorción. Al final de cada prueba, se filtraron las soluciones para eliminar los adsorbentes y se analizó la concentración residual de iones metálicos utilizando espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados demostraron que tanto la cáscara de arroz como la cáscara de naranja son eficaces para adsorber iones de metales pesados. Sin embargo, el uso combinado de ambos materiales mostró una mayor eficiencia que su uso por separado. En condiciones óptimas, se alcanzarán tasas de remoción del 99.1% para el cobre y del 99.36% para el níquel. Esto confirma que ambos materiales presentan una alta afinidad por los metales pesados en las

condiciones evaluadas. Este estudio concluye que las cáscaras de arroz y naranja, cuando se utilizan de manera combinada, representan una alternativa eficiente, económica y sostenible para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con metales pesados como cobre y níquel. Su capacidad de remoción superior al 99% bajo condiciones óptimas demuestra que estos residuos agrícolas pueden competir con métodos convencionales de tratamiento, además de beneficios ambientales al reutilizar materiales de desecho.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Abad et al., (2020)“Bioadsorción de arsénico del agua del río Locumba utilizando cáscara de naranja (*Citrus sinensis*), Tacna”, tiene por objetivo evaluar la capacidad de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) como un bioadsorbente para la remoción de arsénico presente en el agua del río Locumba, ubicado en Tacna, Perú. Su metodología consistió en preparar el bioadsorbente a partir de cáscaras de naranja, las cuales fueron sometidas a un proceso de secado, molienda y tamizado para obtener un material homogéneo. Posteriormente, se diseñó un experimento basado en el modelo Box-Behnken, el cual permitió evaluar el efecto de tres variables clave: la dosis del bioadsorbente, el tiempo de contacto y la temperatura. Los resultados obtenidos en este estudio revelaron que la cáscara de naranja es un bioadsorbente eficiente para la eliminación de arsénico en el agua del río Locumba. Las variables que influyeron significativamente en el proceso fueron la dosis del bioadsorbente y el tiempo de contacto, mientras que la temperatura tuvo un efecto menos relevante. En las condiciones óptimas establecidas por el diseño experimental, se logró una eficiencia de remoción del arsénico de hasta el 98%. Esto indica que, con ajustes adecuados en las variables controladas, el método puede ser altamente efectivo. Además, la cáscara de naranja, al ser un residuo agroindustrial disponible y de bajo costo, representa una alternativa económica para abordar la problemática de la contaminación por metales pesados. El estudio concluye que la cáscara de naranja es una solución factible y prometedora para la remoción de arsénico del agua, especialmente en zonas afectadas por esta

contaminación. La investigación demuestra que este agroindustrial puede ser utilizado de manera eficiente como un bioadsorbente, proporcionando una alternativa sostenible y de bajo costo residual en comparación con tecnologías más complejas y costosas. Asimismo, se destaca la importancia de optimizar las condiciones de adsorción para obtener resultados satisfactorios en aplicaciones prácticas.

Salazar, (2024) "Biosorción de la cáscara de coco (*Cocos nucifera*) para la remoción de plomo, cadmio y zinc en efluentes mineros de la relavera Quiulacocha - cerro de pasco, 2022", su objetivo fue determinar la capacidad de la cáscara de coco (*Cocos nucifera*) como biosorbente para eliminar las concentraciones de metales pesados, específicamente plomo, cadmio y zinc, presentes en los efluentes mineros del depósito de relaves Quiulacocha, ubicado en Cerro de Pasco, Perú. La investigación planteó aprovechar el método de biosorción como una técnica eficiente y de bajo costo que emplea materiales residuales de origen orgánico, su metodología se clasificó como de tipo aplicado, con un enfoque cuantitativo y un diseño experimental-transversal. Se realizaron pruebas en laboratorio mediante el método de biosorción utilizando la cáscara de coco como material biosorbente. Se tomaron muestras de agua contaminada de los efluentes mineros de la relavera Quiulacocha, trabajando con un volumen total de 30 litros. El procedimiento incluyó la preparación y caracterización fisicoquímica de las muestras, la obtención y dosificación del biosorbente, y la evaluación de las concentraciones óptimas de 5000 ppm, 10,000 ppm y 20,000 ppm para la remoción de plomo, cadmio y zinc. Finalmente, se analizaron los resultados fisicoquímicos después del tratamiento para determinar la eficacia de la técnica. Los resultados de la investigación demostraron la eficacia del uso de la cáscara de coco como biosorbente para la remoción de metales pesados presentes en los efluentes mineros. Se evaluaron tres concentraciones de tratamiento (5000 ppm, 10,000 ppm y 20,000 ppm), y se observará que la mayor eficiencia se alcanzó con una concentración de 20,000 ppm y una dosificación de 100 ml del biosorbente. La concentración inicial de plomo en el agua era superior a los límites

permisibles. Con la aplicación del biosorbente, se logró reducir la concentración a 0.179 mg/l, alcanzando una eficiencia de remoción del 69.62%. Esto implica que el proceso redujo significativamente el contenido de plomo en el agua, cumpliendo con los estándares establecidos, Para el cadmio la concentración final se redujo a 0,043 mg/l, lo que corresponde a una eficiencia de remoción del 90,88%. Este valor resalta la capacidad de la cáscara de coco para actuar de manera eficiente sobre este metal, que es altamente tóxico incluso en bajas concentraciones, En el caso del zinc, la concentración final en el agua fue de 0,897 mg/l, con una eficiencia de remoción del 95,94%. Esto indica que el biosorbente fue particularmente efectivo para la eliminación de este metal, logrando reducirlo a niveles que cumplen con los Límites Máximos Permisibles. El estudio concluyó que la técnica de biosorción utilizando cáscara de coco es una alternativa viable, eficiente y económica para la remoción de metales pesados en efluentes mineros. Además de su alta eficacia en la eliminación de plomo, cadmio y zinc, esta técnica representa una opción sostenible al emplear un material de desecho como biosorbente, contribuyendo a la mitigación de la contaminación ambiental y promoviendo el aprovechamiento de residuos orgánicos.

Romero et al., (2024) En su artículo "Evaluación de cáscaras de maracuyá y semillas de guayaba como bioadsorbentes para la remoción de Arsénico (III) en aguas superficiales" presenta como objetivo, determinar la capacidad de las cáscaras de maracuyá y las semillas de guayaba para adsorber y eliminar el Arsénico (III) presente en aguas superficiales. Su metodología se basó en la recolección y preparación de los materiales naturales cáscaras de maracuyá y semillas de guayaba, los cuales fueron secados, pasaron por el proceso de molienda y armado de prototipo para la evaluación, para ello se utilizó tres tratamientos: 3kg, 7kg y 10 kg, mientras que para la Maracuyá fueron 2kg, 4kg y 6kg, se realizan experimentos de adsorción en condiciones controladas para evaluar su eficacia en la remoción de contaminantes como el Arsénico (III). Los resultados para la Guayaba muestran que la eliminación de la cantidad de As (III) demuestra que el tratamiento T1 es el más efectivo, ya que logró

una disminución de 0.024 mg/L en comparación con T0, reduciendo la concentración de 1304.33 mg/L a 708.33 mg/L. No obstante, se observa que a mayor concentración de bioadsorbente, la eficiencia de adsorción disminuye. Para la Maracuyá muestras que los niveles de arsénico en mg/L tras aplicar distintos tratamientos con cáscara de maracuyá mostraron que el tratamiento T0 (control) registró un valor de 0.0125 mg/L. Por su parte, T1 y T2 lograron una leve reducción a 0.0121 mg/L. El tratamiento T3 destacó como el más eficiente, alcanzando un valor de 0.0112 mg/L, lo que evidencia la mayor reducción de arsénico. Estos hallazgos sugieren que la cáscara de maracuyá tiene potencial para disminuir los niveles de arsénico. Se concluye que, a pesar de las mejoras detectadas, ninguno de los tratamientos con las semillas de guayaba consiguió disminuir las concentraciones de arsénico por debajo del umbral de seguridad fijado por el Ministerio del Ambiente. No obstante, el tratamiento con cáscaras de maracuyá en diferentes proporciones, como T1 de 2kg, T3 de 4kg y T4 de 6kg, en relación con las características fisicoquímicas del agua, mostró que el T4 de 6kg con 500 ml de la muestra fue el más efectivo. Este tratamiento redujo las concentraciones de arsénico de 0.0125 mg/L a 0.0112 mg/L, lo que indica que optimiza los parámetros deseados y mejora significativamente la calidad del agua.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Lazaro, (2023) “Eficiencia de filtros orgánicos para el tratamiento de las aguas residuales provenientes del Hospital Regional Hermilio Valdizan Medrano de Huánuco – Perú 2023”, tiene por objetivo evaluar la eficiencia de los filtros orgánicos para tratar aguas residuales de los hospitales. Su metodología es experimental con enfoque cuantitativo y diseño explicativo, Se utilizaron tubos de PVC de 80 cm de largo y 10 cm de diámetro. En su parte inferior, tenían perforaciones centrales de 10 mm de diámetro para permitir la salida del agua filtrada a través de una manguera plástica del mismo diámetro. Se recolectaron bagazo de caña y cáscaras de coco de los sitios de venta y explotación. Los desechos orgánicos fueron triturados en un molino de martillo, utilizando tamices de 1 y 2 mm para obtener partículas que luego se pasaron por un tamiz de

0.5 mm de diámetro. Estas partículas fueron colocadas en los tubos de PVC, designándose la unidad experimental como filtro. El llenado se realizó de manera empírica, presionando con la yema de los dedos, hasta alcanzar una altura de aproximadamente 60 cm del biofiltro, dejando un espacio de 20 cm para el volumen del agua residual; la presión aplicada sobre los desechos orgánicos fue adecuada para compactarlos. Los resultados, Los filtros orgánicos con bagazo de caña (BC) presentan una eficiencia de remoción del 42.63%, mientras que la cáscara de coco (CC) tiene una eficiencia del 66.10% y el aserrín de madera del 9.20% para el parámetro (SST). Además, el filtro con bagazo de caña (BC) muestra eficiencias de remoción para el (Cd), (Pb), (DQO) y (DBO) con valores de 16.66%, 8.05%, 60.23% y 53.75%, respectivamente. Se concluye que el filtro con cáscara de coco presenta mayor eficiencia con la remoción de parámetros que se encuentran en las aguas hospitalarias, remoción de 58.33% (Cd); 11.60% de (Pb), 38.0% de (Fe), 60.53% de (DQO) y 56.62% de (DBO).

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. BIOFILTROS

Los biofiltros es una opción ecológica para el tratamiento del agua. Este sistema emplea capas de filtración compuestas por materiales orgánicos e inorgánicos, aplicando un proceso biológico de eliminación. En este proceso se eliminan sólidos suspendidos, coliformes fecales, sólidos acumulables, sólidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, grasa y turbidez. Los biofiltros consisten en un filtro y una base compuesta por varias capas de diferentes materiales. El material orgánico se utiliza como medio filtrante, mientras que la base incluye capas de materiales variados que facilitan la manipulación, proporcionan soporte al sistema y aseguran la permeabilidad mediante capas ventiladas. Esta tecnología es una opción económica y altamente efectiva para el tratamiento de aguas superficiales, superando en eficiencia a otras alternativas técnicas (Duany et al., 2022)

Los biofiltros son descritos como sistemas que emplean microorganismos para el tratamiento biológico de aguas residuales,

facilitando la remoción de materia orgánica y otros. En este proceso, los microorganismos forman una capa biológica en un soporte sólido, donde descomponen y neutralizan las sustancias contaminantes presentes. Este método es eficaz para tratar diversas formas de contaminación, incluyendo gases, compuestos orgánicos volátiles y aguas residuales, mediante la acción biológica de estos microorganismos (Cabrera et al., 2011).

Los biofiltros son descritos como sistemas ecológicos que utilizan biofilms microbianos sobre un medio poroso para la remoción de materia orgánica y nutrientes, promoviendo un tratamiento de aguas residuales eficiente y sostenible. La biofiltración se ha convertido en un componente clave en el control de las emisiones olorosas de las instalaciones de compostaje, plantas de tratamiento de aguas residuales, instalaciones para animales confinados, la industria alimentaria y otras fuentes de compuestos orgánicos volátiles (COV) y olores (Sarina & Cárdenas, 2004).

Según OPS, (2005) los filtros se clasifican en tres tipos diferentes:

a. Filtración Dinámica

El sistema consiste en hacer pasar el agua a través de piedras de diferentes tamaños, las cuales se encargan de remover las partículas gruesas presentes en el agua. Estos filtros dinámicos contienen una capa superior de grava fina (6 a 13 mm) sobre una capa inferior de grava más gruesa (13 a 25 mm) y un sistema de drenaje en el fondo. Este mecanismo se utiliza para controlar los picos de turbidez y proteger el área de tratamiento de sólidos con altas cargas transportadas durante períodos cortos.

b. Filtración Lenta

El agua se introduce en un cajón que contiene arena fina, atravesando una capa de piedra fina donde unos tubos recogen el líquido. El tratamiento del agua se realiza mediante un filtro lento de arena, que combina procesos físicos y biológicos complejos para mejorar la calidad microbiológica del agua. Este sistema consiste en una cama de arena fina

dentro de un pozo, que se encuentra sobre una capa de grava que soporta la arena. Debajo de la grava, hay un sistema de tuberías perforadas que recoge el agua filtrada. La salida del agua se controla para asegurar una permeabilidad adecuada y un acceso eficiente al pozo.

c. Filtración gruesa

La desinfección del agua mediante filtración gruesa implica hacer pasar el agua a través de piedras de diferentes tamaños, que retienen aún más partículas. Los filtros de grava pueden operar con flujo horizontal o vertical, consisten en un compartimiento especial con un lecho de grava. El tamaño de las piedras disminuye en la dirección del flujo. A medida que el filtro funciona, los espacios vacíos se llenan con las partículas retenidas del agua, por lo que es necesario realizar una limpieza semanal controlada mediante las válvulas de salida de la unidad.

2.2.2. CÁSCARA DE NARANJA

La naranja *Citrus sinensis* es una fruta cítrica de origen subtropical, conocida por su sabor dulce y su alto contenido en vitamina C. Tiene una forma globosa y ligeramente achatada, con un diámetro que varía entre 6,5 y 9,5 cm. La cáscara externa es de color naranja cuando está madura, mientras que la parte interna es blanca y esponjosa. Además de su consumo fresco, las naranjas son utilizadas en la producción de jugos, aceites esenciales y aromas para diversas industrias (Andrade et al., 2023).

a) Partes de la Naranja

Según (Citrus & Life, 2021) la naranja es un fruto cítrico que está compuesto por varias partes distintas, cada una con funciones específicas:

- **Cáscara o exocarpio**

El exocarpo de la naranja, también conocido como la cáscara o corteza, es la capa externa del fruto que protege las partes internas. Esta parte de la fruta es gruesa, de color naranja brillante, y contiene aceites esenciales y compuestos que le dan su característico aroma cítrico. El

exocarpo está compuesto por una piel externa llamada flavedo y una capa interna más esponjosa llamada albedo.

- **Mesocarpo**

El mesocarpo de la naranja, conocido comúnmente como albedo, es la parte blanca y esponjosa que se encuentra justo debajo de la piel. Esta capa es menos densa que el exocarpo y está formada principalmente por células esponjosas que contienen una gran cantidad de agua y fibras. El mesocarpo es rico en fibras dietéticas, especialmente pectina, celulosa y hemicelulosa. La función principal del mesocarpo es brindar soporte estructural al fruto y servir como una barrera adicional que protege la pulpa jugosa y nutritiva. Además, el mesocarpo ayuda a conservar la humedad del fruto y contribuye a la resistencia física de la naranja.

- **Endocarpio**

Es la capa más interna del pericarpio de un fruto, que rodea las semillas. En el caso de la naranja, el endocarpio sería la membrana blanca que está justo debajo de la cáscara exterior y que rodea cada gajo individual de la fruta. Esta parte es fibrosa y más dura que la pulpa.

- **Pulpa**

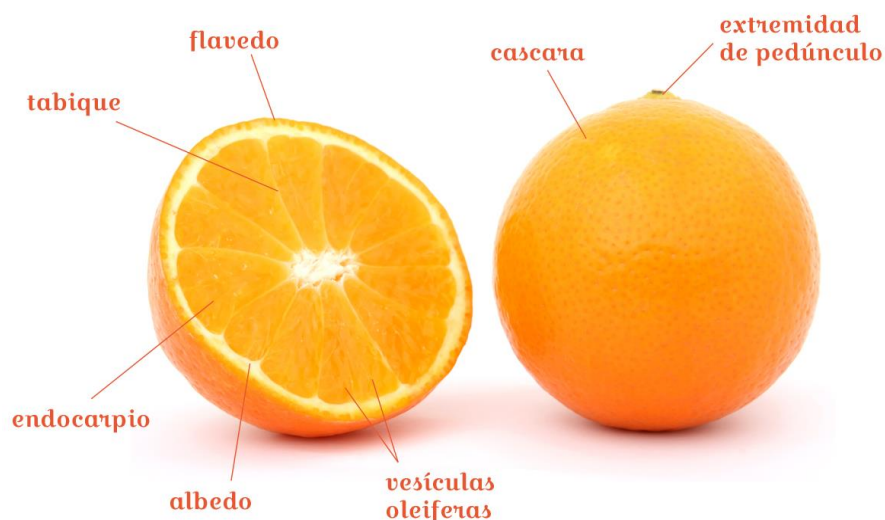
Es la parte comestible y jugosa de la fruta, que está ubicada justo debajo del endocarpio. En una naranja, la pulpa es de color naranja y está compuesta por segmentos llenos de jugo y fibra, que es lo que generalmente se consume. Además de su agradable sabor, la pulpa es una fuente importante de vitaminas, especialmente vitamina C, y antioxidantes. Su consumo contribuye a la hidratación del organismo y aporta beneficios para la salud digestiva gracias a su contenido de fibra.

- **Semillas**

Las semillas que se encuentran dentro de las estructuras internas de la cáscara de la naranja, conocidas como vesículas o alveolos. Estas semillas están contenidas dentro de pequeñas bolsas de jugo que están rodeadas por una membrana blanca y fibrosa, que es parte del endocarpio de la naranja.

Figura 1

Partes de la naranja



Nota. La figura muestra las partes principales de la naranja.

b) Propiedades de la Naranja

Las cáscaras de naranja se procesaban tradicionalmente para extraer las fracciones volátiles y no volátiles de los aceites esenciales, utilizados en bebidas gaseosas, helados, pasteles, ambientadores, perfumes y productos cosméticos. En la actualidad, se han descubierto varias aplicaciones farmacéuticas gracias a sus propiedades antioxidantes y germicidas. Sin embargo, el uso de estos componentes es limitado porque la demanda global de estos productos con valor agregado es relativamente baja (Hasan et al., 2021)

La perspectiva de aprovechar los residuos generados por el comercio, como las cáscaras de naranja, es significativa. En países con un importante comercio de jugo de naranja, como el nuestro, estos desechos ofrecen una oportunidad para su reutilización y para generar valor adicional. La cáscara de naranja, compuesta por el flavedo (parte externa de color amarillo) y el albedo (parte interna esponjosa de color blanco), muestra potencial en investigaciones sobre sorción debido a su contenido de pectina. Se reconoce que los frutos cítricos, en particular, son altamente prometedores como materiales solventes, lo que abre

posibilidades de aplicación en diversos campos, desde la industria alimentaria hasta la depuración de aguas (Dávila & Sierra, 2018).

Las cáscaras de naranja tienen propiedades que las hacen adecuadas para su uso como filtro orgánico en diferentes aplicaciones:

- **Pectina**

La pectina es un azúcar que se encuentra en las paredes de las plantas y que puede utilizarse como agente gelificante, especialmente en mermeladas y jaleas. Aunque muchas plantas contienen pectina, la cáscara de los cítricos como las naranjas es especialmente rica en pectina, hasta el 30% de la cáscara de los cítricos está compuesta de pectina. La cáscara de naranja contiene pectina, una sustancia natural que puede actuar como agente de retención de contaminantes (Adán, 2023).

- **Porosidad**

La estructura porosa de la cáscara de naranja permite que el agua y otras sustancias pasen a través de ella, lo que la convierte en un material filtrante eficaz. Los poros en la cáscara de la naranja facilitan el intercambio de aire y humedad entre el interior y el exterior de la fruta. Esto es crucial para preservar la frescura y calidad de la naranja. Asimismo, la porosidad influye en la capacidad de absorción de agua y otros líquidos, además de la liberación de aromas y aceites esenciales (Sharifi et al., 2007)

c) Principio de adsorción

La cáscara de naranja puede absorber metales pesados gracias a su composición química y estructura física, que incluye pectina y celulosa con grupos funcionales capaces de formar enlaces con iones metálicos, así como compuestos fenólicos que facilitan la adsorción. Su superficie porosa proporciona un área extensa para la adherencia de estos metales. Además, el intercambio iónico permite que iones presentes en la cáscara, como el calcio, se sustituyan por iones de metales pesados en solución. Tratamientos previos como el secado, la molienda o el tratamiento químico pueden mejorar la capacidad de adsorción de la cáscara,

convirtiéndola en una solución eco amigable y económica para la remediación de aguas contaminadas (Rahman et al., 2023).

d) Capacidad de adsorción

La cáscara de naranja tiene la capacidad de adsorber contaminantes y compuestos no deseados del agua, como metales pesados y colorantes se refiere a la habilidad de este material para capturar y retener diferentes tipos de contaminantes, como metales pesados, colorantes y otros compuestos orgánicos e inorgánicos, presentes en el agua y el aire. Esta capacidad se debe a la estructura y composición química de la cáscara de naranja, que incluye polisacáridos como la pectina, celulosa y hemicelulosa, además de grupos funcionales como carboxilos y grupos hidroxilo que interactúan con los contaminantes (Michael et al., 2023).

e) Biodegradabilidad

Al ser un material orgánico, la cáscara de naranja es biodegradable, lo que la hace una opción respetuosa con el medio ambiente para la filtración de agua. Las cáscaras de naranja son biodegradables, lo que significa que pueden descomponerse por bacterias u otros organismos vivos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la velocidad a la que se descomponen puede no ser tan rápida como se podría pensar, en condiciones ideales (humedad, calor y presencia de descomponedores), la cáscara de una naranja puede tardar unos seis meses en descomponerse. Este plazo puede ser más largo en condiciones menos ideales, como en un vertedero, donde la falta de oxígeno puede ralentizar significativamente el proceso de descomposición, si bien las cáscaras de naranja son biodegradables, no son particularmente beneficiosas para todos los entornos (Green, 2024).

2.2.3. CALIDAD DE AGUA

El agua es uno de los recursos naturales más contaminados. La creciente polución de las aguas excedentes urbanas e industriales por iones tóxicos de metales pesados, incluso en cantidades mínimas, representa un grave problema ambiental. Estos contaminantes inorgánicos son especialmente preocupantes porque no se descomponen

biológicamente y son altamente tóxicos. Además de ser uno de los recursos más explotados, el agua es esencial para nuestra supervivencia. Debemos protegerla para asegurar un suministro adecuado de agua de buena calidad para la población y preservar las funciones hidrológicas, biológicas y químicas de los ecosistemas. Es crucial adaptar nuestras actividades humanas a la capacidad de la naturaleza y abordar las causas de los problemas relacionados con el agua (Rosa, 2023).

La calidad del agua engloba las características físicas, químicas, biológicas y radiológicas que determinan si el agua es adecuada para usos como el consumo humano, la recreación y la agricultura. Para evaluar esta calidad, se analizan parámetros como la temperatura, el pH, la turbidez y los niveles de contaminantes y microorganismos patógenos. Mantener una buena calidad del agua es crucial para la salud pública y el medio ambiente, ya que el agua contaminada puede causar enfermedades y perjudicar los ecosistemas acuáticos. La gestión y el monitoreo continuo son esenciales para garantizar el suministro de agua potable y proteger los recursos hídricos (BCN, 2016).

Mantener una alta calidad del agua es vital para la salud pública, ya que el agua contaminada puede ser un foco de enfermedades infecciosas y exposición a contaminantes químicos que pueden causar problemas de salud a largo plazo. Garantizar agua de buena calidad ayuda a prevenir enfermedades y protege a la comunidad. La gestión y el monitoreo constantes de la calidad del agua son esenciales para mantener su seguridad y adecuación para el consumo humano y otros usos. Esto implica la evaluación regular de los parámetros de calidad y la implementación de acciones correctivas cuando los estándares no se cumplen, asegurando así la disponibilidad de agua potable y la protección de los ecosistemas acuáticos (ANA, 2013).

La calidad del agua, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), se refiere a su composición química, física y biológica que determina su idoneidad para diferentes usos, particularmente para el consumo humano. La OMS establece que el agua potable debe estar libre

de contaminantes químicos y microbiológicos en niveles que representen un riesgo para la salud. Para garantizar esto, se deben seguir normas y directrices que incluyen el monitoreo regular de parámetros clave como la presencia de microorganismos patógenos, sustancias tóxicas y características físicas del agua (WHO, 2017).

I. Composición del agua

El agua, esencial para todas las formas de vida, es una molécula compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, formando la fórmula química H_2O . Esta estructura molecular le confiere al agua sus propiedades únicas como su alta capacidad calorífica, capacidad de disolver numerosas sustancias, comportamiento anómalo al congelarse, expandiéndose en lugar de contraerse (Carbajal & Gonzales, 2012).

A. Estructura molecular

La molécula de agua tiene una forma angular debido a la disposición de sus enlaces y los pares solitarios de electrones en el átomo de oxígeno. Esta forma angular, combinada con la diferencia de electronegatividad entre el oxígeno y el hidrógeno, hace que la molécula de agua sea polar. La polaridad del agua es la razón principal de su capacidad para disolver una gran variedad de sustancias, lo que la convierte en un solvente universal (Verdaguer et al., 2006).

B. Importancia biológica

La capacidad del agua para disolver sustancias permite que actúe como un medio de transporte en los sistemas biológicos, facilitando reacciones químicas esenciales y el movimiento de nutrientes y desechos. Además, su alta capacidad calorífica ayuda a mantener la estabilidad térmica en los organismos y en el medio ambiente (Brenes & Rojas, 2005).

C. Parámetros Físicos

El agua químicamente pura se caracteriza por ser un líquido sin sabor ni olor, es traslúcida en capas delgadas y carece de color, puede mostrar una tonalidad azulada debido a su capacidad de absorber la radiación roja, esta propiedad es utilizada como punto de referencia en la escala de temperatura Celsius. Los parámetros físicos del agua son

esenciales para evaluar su calidad y determinar su idoneidad para diversas aplicaciones, desde el consumo humano hasta usos industriales (iAgua, 2017).

- **Temperatura**

La temperatura es uno de los parámetros físicos más importantes del agua y tiene una influencia significativa en los procesos químicos y biológicos de los cuerpos de agua. La temperatura del agua afecta la solubilidad de los gases, la velocidad de las reacciones químicas, y el comportamiento de los organismos acuáticos. Esto significa que, en cuerpos de agua más cálidos, puede haber menos oxígeno disponible para los peces y otros organismos. Además, la temperatura influye en la viscosidad del agua y en la capacidad del agua para mantener la suspensión de partículas. En la gestión ambiental, la temperatura del agua es un factor clave en la regulación de descargas térmicas y en la protección de hábitats sensibles. La normativa ambiental a menudo establece límites para la temperatura del agua en los efluentes industriales para minimizar el impacto sobre los ecosistemas acuáticos (Fron driest, 2023).

- **Conductividad Eléctrica**

La conductividad eléctrica es una medida que indica la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica. Cuanto mayor sea la conductividad eléctrica, mayor será la cantidad de minerales disueltos presentes en el agua. Este parámetro se utiliza para monitorear el contenido total de minerales disueltos, así como la concentración de iones disueltos como sodio, cloruro y sulfato, permite controlar los cambios en estas concentraciones a lo largo del tiempo, lo que es fundamental para evaluar y mantener la calidad del agua en términos de su contenido mineral, la conductividad del agua es una medida de la capacidad del agua para pasar un flujo eléctrico. Esta capacidad depende directamente de la concentración de iones conductores en el agua, estos iones conductores se originaron debido a materiales inorgánicos como cloruros, álcalis, compuestos de carbonato y sulfuro y sales disueltas (BYJUS, 2023).

- **Color**

El color del agua es resultado de las sustancias disueltas en ella y puede ser influenciado por el pH, como se menciona en los parámetros químicos del agua. Este atributo puede ser utilizado para detectar la presencia de ciertas sustancias, como hierro o manganeso, en el agua. Niveles elevados de color pueden también indicar la presencia de contaminantes en el agua (USGS, 2018).

D. Parámetros Químicos

- **pH**

El pH del agua es un parámetro químico fundamental para evaluar su calidad. Indica si el agua es ácida, neutra o alcalina, y se calcula a partir del logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrógeno. El agua pura tiene un pH neutro, cercano a 7.0 a 25 °C. Sin embargo, es poco común que el agua destinada al consumo humano tenga este valor, ya que diversos factores pueden alterarlo. Por ejemplo, el agua de lluvia tiende a ser ligeramente ácida debido al dióxido de carbono presente en la atmósfera, y los metales presentes en las tuberías también pueden influir en el pH del agua (Aconsa, 2021).

- **Cloro residual**

El agua pura no contiene cloro (Cl_2) de forma natural, pero se agrega como un método de desinfección. Aunque el cloro es un gas tóxico, cuando se disuelve en agua no representa un riesgo para la salud. Sin embargo, en concentraciones insuficientes, puede resultar en una desinfección inadecuada, lo que podría promover el crecimiento bacteriano. Existen dos formas de cloro residual: el libre y el combinado. Solo el cloro residual libre indica una desinfección satisfactoria y puede ser medido mediante diferentes métodos, como el uso de DPD (dietil-p-fenilendiamina), entre otros (Apure, 2022).

- **Oxígeno disuelto**

La concentración de oxígeno disuelto en el agua es un indicador clave de su calidad y grado de contaminación. Cuanto mayor sea la concentración de oxígeno, mejor será la calidad del agua. Sin embargo,

la cantidad de oxígeno disuelto en el agua puede variar según factores como la presión, la temperatura y la salinidad. Aunque el oxígeno disuelto no tiene un efecto directo en la salud humana, sí puede afectar el sabor del agua. Por lo tanto, es importante monitorear este parámetro para garantizar la calidad del suministro de agua. Existen varios métodos para medir el oxígeno disuelto en el agua, incluyendo métodos colorimétricos, que son rápidos y económicos, y métodos electrométricos, entre otros. Estos métodos son utilizados para evaluar la calidad del agua y asegurar su idoneidad para diversos usos (EPA, 2013).

- **Demanda Bioquímica (DBO)**

Indica la cantidad de oxígeno que los microorganismos requieren para descomponer la materia orgánica presente en una muestra de agua. Este parámetro es esencial para evaluar el nivel de contaminación orgánica en cuerpos de agua y efluentes industriales. Una DBO elevada sugiere una alta concentración de materia orgánica, lo que puede llevar al agotamiento del oxígeno disuelto y afectar negativamente a los ecosistemas acuático (IEQFB, 2023).

- **Demanda Bioquímica (DBO)**

Es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar químicamente la materia orgánica e inorgánica presente en una muestra de agua. Este indicador es esencial para evaluar el nivel de contaminación en cuerpos de agua y efluentes industriales. Una DQO elevada indica una alta concentración de sustancias oxidables. (Hanna, 2024).

II. Contaminación del agua por metales pesados

La contaminación de las fuentes de agua por metales pesados se ha convertido en una importante preocupación ambiental mundial, que amenaza tanto a los ecosistemas acuáticos como a la salud humana. La contaminación por metales pesados en el medio acuático está aumentando debido a la industrialización, el cambio climático y la urbanización. Las fuentes de contaminación incluyen desechos mineros, lixiviados de vertederos, aguas residuales municipales e industriales,

escorrentías urbanas y fenómenos naturales como erupciones volcánicas, erosión y abrasión de rocas. Los iones de metales son potencialmente tóxicos y causan daño a varios órganos incluyendo al sistema neurológico (Kosar et al., 2023).

Los metales pesados, como plomo, mercurio, cadmio, níquel y cromo, ingresan a los cuerpos de agua a través de diversas fuentes. Las actividades industriales son una de las principales fuentes de contaminación, especialmente las descargas de aguas residuales de plantas industriales, la minería y la fabricación de baterías. La agricultura también contribuye significativamente, ya que el uso de pesticidas y fertilizantes que contienen metales pesados puede llevar a la contaminación de cuerpos de agua cercanos. Los desechos municipales sin tratamiento adecuado también añaden a la carga de metales pesados en el agua (Gautam et al., 2014).

La presencia de metales pesados, como Cr (VI), Cd (II), Pb (II), As (V y III), Hg (II), Ni (II), Cu (II), etc., en aguas, representa una amenaza importante ya que estos contaminantes del agua tienden a acumularse en la cadena alimentaria y en las fuentes de agua potable. La contaminación por metales pesados causa varios efectos adversos, como daño renal, insuficiencia hepática, problemas gástricos, retraso mental y efectos reproductivos en humanos. Los metales pesados también tienen efectos cancerígenos en los seres humanos, aumentando el riesgo de desarrollar diversos tipos de cáncer, como el de pulmón y riñón. (Zhang et al., 2023).

a. Plomo en el agua

La presencia de plomo en el agua constituye un grave problema de salud pública. Este metal pesado y tóxico cuando se disuelve en el agua potable puede provocar una variedad de problemas de salud, especialmente en niños y mujeres embarazadas. Incluso pequeñas cantidades de plomo pueden afectar negativamente el desarrollo neurológico y en los adultos puede causar hipertensión, problemas renales y trastornos reproductivos. El plomo en el agua es un contaminante peligroso que puede tener graves efectos en la salud

humana, especialmente en el desarrollo cognitivo y físico de las personas. La exposición prolongada al plomo puede provocar daños en el sistema nervioso, los riñones y otros órganos, así como problemas de aprendizaje y comportamiento. Es importante controlar y reducir los niveles de plomo en el suministro de agua potable para proteger la salud pública.

b. Efecto del plomo en la salud

El Pb es un mineral dañino para la vitalidad humana porque ingresa al organismo por la inhalación de aire, al ingerir alimentos y agua. El plomo puede causar diversos daños a la vitalidad, como: alteraciones de la biosíntesis, la anemia y la hemoglobina, puede provocar aumento de la presión e incluso cambios en el sistema nervioso, afectando el desarrollo cognitivo y el comportamiento, especialmente en niños. Además, su acumulación en el cuerpo puede generar efectos crónicos e irreversibles. (OPS, 2020).

c. Efecto del plomo en el Ambiente

La contaminación por plomo tiene efectos perjudiciales en el medio ambiente, es un metal tóxico que puede acumularse en el suelo, agua y aire, afectando negativamente a plantas, animales, ecosistemas enteros la calidad del agua y la salud humana a largo plazo. El plomo se encuentra naturalmente en el entorno y forma una serie de minerales, este metal ingresa al suelo y al agua a través de diversas actividades industriales, la principal descarga está relacionada con la minería en la industria metalúrgica; los compuestos de este metal tienen un gran impacto en la contaminación ambiental, provocando el deterioro de las propiedades del agua y del suelo, lo que afecta y modifica el ecosistema, la persistencia del plomo en el medio ambiente y su capacidad para acumularse en los organismos lo convierten en una amenaza a largo plazo para la salud ambiental y la biodiversidad (Vallés et al., 2018).

III. Estándares de Calidad del Agua

Según el D.S.: N° 002-2008-MINAM, se muestran las categorías de los Estándares de la Calidad Ambiental del agua (ECA), los parámetros Son presentados de acuerdo a la normativa del Perú:

Tabla 1

Estándar de Calidad Ambiental del agua

CATEGORÍA / SUB CATEGORÍAS	Pb (mg/L)	pH	O.D (mg/L)
Categoría 1: Poblacional y Recreacional			
<i>Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable</i>			
<i>A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección</i>	0,01	6,5 – 8,5	≥ 6
<i>A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional</i>	0,05	5,5 – 9,0	≥ 5
<i>A3: aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado</i>	0,05	5,5 – 9,0	≥ 4
<i>Aguas superficiales destinadas para recreación</i>			
<i>B1: contacto primario</i>	0,01	6,0 a 9,0	≥ 5
<i>B2: Contacto secundario</i>			≥ 4
Categoría 2: Actividades marino costeras			
<i>C1: Extracción y cultivo de moluscos</i>	0,0081	7 – 8,5	≥ 4
<i>C2: Extracción y cultivo de otras especies microbiológicas</i>	0,0081	6,8 – 8,5	≥ 3
Categoría 3: Riesgo de vegetales y bebida de animales			
	0,05	6,5 – 8,5	≥ 5
<i>D1: Riego de vegetales</i>	0,05	6,5 – 8,5	≥ 4
<i>D2: Bebida de animales</i>	0,05	6,5 – 8,4	≥ 5
Categoría 4: Conservación del ambiente acuático			
<i>E1: Lagunas, Lagos - E2: Ríos (Costa, Sierra y Selva)</i>	0,0025	6,5 a 9,0	≥ 5

Nota. La tabla muestra los Estándares Nacionales de Calidad de Agua. El peruano (2017).

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Biotecnología

La biotecnología es una disciplina científica que combina conocimientos de biología, química y tecnología para innovar y resolver problemas actuales, promoviendo así el avance en diversas áreas industriales y ambientales, utiliza organismos vivos o sus componentes para desarrollar productos y procesos útiles para la humanidad. Además, implica el uso de microorganismos para limpiar contaminantes del medio ambiente (Thieman & Palladino, 2010).

Agua contaminada

Es aquella que contiene sustancias peligrosas, lo que la hace insegura para el consumo o uso ambiental. Esta contaminación procede de varias fuentes, incluyendo descargas industriales, escorrentía agrícola, aguas residuales y productos químicos naturales. Esto puede incluir patógenos, productos químicos tóxicos y desechos físicos, que representan riesgos significativos para la salud humana y el medio ambiente (Nathanson, 2024).

Biomasa

La biomasa se define como material orgánico que proviene de plantas y animales. la biomasa incluye todo, desde residuos agrícolas hasta productos forestales e incluso plantas acuáticas, contribuyendo significativamente al ciclo global del carbono y sirviendo como un recurso clave en las estrategias de energía renovable (Smith, 2009).

Bioadsorción

Es un proceso que utiliza materiales de origen biológico para recuperar sustancias orgánicas e inorgánicas de soluciones acuosas. Este proceso involucra el uso de biomasa, que puede incluir microorganismos vivos o muertos, residuos vegetales e industriales. empleada para la remoción de contaminantes como metales pesados, colorantes y compuestos orgánicos emergentes de aguas residuales (Derco & Vrana, 2018).

ECA

Un estándar de calidad ambiental es un conjunto de criterios y normas establecidos por autoridades regulatorias para proteger el medio ambiente y

la salud humana. Estos definen los límites aceptables de contaminantes y otros parámetros ambientales, con el fin de prevenir daños ecológicos y garantizar condiciones saludables para las personas (Sánchez & Quinteros, 2017).

Relaves mineros

Los relaves mineros son los residuos que quedan después de la extracción del mineral valioso de la roca procesada. Estos residuos se generan durante el proceso de beneficio de los minerales, estos desechos se almacenan comúnmente en depósitos de superficie conocidos como presas de relaves, que están diseñadas para contener el material residual y evitar su dispersión al medio ambiente (Pierre, 2017).

Filtración

Proceso en el que las partículas sólidas de un líquido o gaseoso se eliminan mediante el uso de un medio filtrante que permite el paso del fluido, pero retiene las partículas sólidas. El producto deseado puede ser el fluido clarificado o las partículas sólidas eliminadas del fluido (Pérez & Urrea, 2020).

Remoción

Proceso de eliminar o reducir la presencia de plomo en libros escritos en inglés. Esto puede ser necesario debido a que algunos libros antiguos están encuadernados con materiales que contienen plomo, lo que puede representar un riesgo para la salud, especialmente en niños pequeños que pueden manipular los libros y exponerse al plomo a través del contacto con las manos o la ingestión accidental (Sharma, 2014).

Plomo

El plomo es un elemento natural que se encuentra en pequeñas cantidades en la corteza terrestre, este elemento tiene muchas aplicaciones debido a su: flexibilidad, maleabilidad, abundancia y facilidad de refinamiento y uso, si bien tiene algunos usos beneficiosos, puede ser tóxico para humanos y animales, provocando efectos en la salud (Collin et al., 2022).

2.4. HIPÓTESIS

H_a: El biofiltro de la cáscara de *Citrus sinensis* tiene efecto significativo sobre la calidad de agua contaminada por plomo en la localidad de Huancamina.

H₀: El biofiltro elaborado a base de la cáscara de *Citrus sinensis* no tiene efecto significativo sobre la calidad de agua contaminada por plomo en la localidad de Huancamina.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Biofiltros

2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Calidad de agua

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 2

Operacionalización de variables

Variable independiente	Indicadores	Valor Final	Tipo de variable
Biofiltro	Tiempo de medición	Medición Inicial sin el <i>Citrus sinensis</i> Medición Final con el <i>Citrus sinensis</i>	Nominal dicotómica
Variable dependiente	Indicadores	Valor Final	Tipo de variable
Calidad de agua	Propiedades físicas		Numérica continua
	• Conductividad eléctrica	μS/cm	
	Propiedades químicas		
	• Concentración de Plomo	mg/L	
	• Potencial de Hidrógeno	pH	
	• Oxígeno disuelto	mg/L	
	• DQO	mg/L	
	• DBO	mg/L	

Nota. La tabla muestra la operacionalización de variables.

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El estudio conto con un diseño experimental porqué hay intervención del investigador; de acuerdo al control de la evaluación de la variable es prospectivo porque se va utilizar información de acuerdo al criterio del investigador; de acuerdo al número de medidas de la variable de la investigación es Longitudinal porque se va a analizar el cambio de las variables a través del tiempo; De acuerdo al número o cantidad de variables es Analítico porque la investigación presenta más de una variable (Supo & Zacarías, 2020).

3.1.1. ENFOQUE

El enfoque de este estudio fue cuantitativo porque se va analizar los datos estadísticos (Supo & Zacarías, 2020)

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

El estudio fue de nivel explicativo porque se va a evaluar el efecto de la variable independiente sobre la variable dependiente (Supo & Zacarías, 2020).

3.1.3. DISEÑO

El diseño del estudio fue Experimental. (Supo & Zacarías, 2020).

$$M_1: O_1 - X_1 - O_2$$

Donde:

M₁: Grupo operacional con cascara de *Citrus sinensis*.

O₁: Observación inicial antes de utilizar la cascara de *Citrus sinensis*.

X₁: Intervención con la cascara de *Citrus sinensis*.

O₂: Observación final antes de utilizar la cascara de *Citrus sinensis*.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

La población de estudio estuvo conformada por el agua contaminado del río que se encuentra cerca de la minera Huancamina, ubicada en el distrito de Jacas Chico, provincia de Yarowilca, departamento de Huánuco. En el anexo cinco se presenta el plano de ubicación de la zona de donde se obtuvo el agua contaminada.

3.2.2. MUESTRA

Para la muestra de estudio se tomó 80 litros de agua contaminada de 4 puntos del río, estas se homogenizaron de las cuales 60 litros de muestra de agua contaminada se trataron con el filtro de la cáscara de naranja, esta agua fue distribuido en la pecera fue de 25 cm largo x 25 cm de ancho x 50 cm alto, con 4 filtros de 1kg, 2kg, 3kg y 4kg de biomasa de cáscara de naranja, con 3 repeticiones por pecera.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Tabla 3

Técnicas e instrumento de recolección de datos

<i>Variable</i>	<i>Indicadores</i>	<i>Técnica</i>	<i>Instrumentos</i>
<i>Calidad de agua</i>	<i>Propiedades físicas</i>		
	• <i>Conductividad eléctrica</i>		<i>Conductímetro</i>
	<i>Propiedades químicas</i>		
	• <i>Concentración de Plomo</i>		<i>Espectroscopia de absorción atómica</i>
	• <i>Potencial de Hidrógeno</i>	<i>Observación</i>	<i>pH-metro</i>
	• <i>Oxígeno disuelto</i>		<i>oxímetro de oxígeno disuelto</i>
	• <i>DBO</i>		<i>Incubadora de DBO</i>
	• <i>DQO</i>		<i>Espectrofotómetro</i>

Nota. La tabla muestra las técnicas e instrumentos de recolección de datos.

3.3.1. PROTOCOLO DE TRABAJO

Construcción del prototipo de filtro

Para la construcción del prototipo de filtro, se utilizó vidrio como material principal debido a su resistencia y transparencia, lo que facilita la observación del proceso de filtrado en su interior y permite evaluar su funcionamiento.

El diseño del prototipo presenta dimensiones de 25 cm de ancho x 25 cm de largo x 50 cm de alto, logrando un equilibrio entre compacidad y eficiencia para optimizar el proceso de filtración sin ocupar demasiado espacio.

En la base del prototipo, se realizó una perforación con un diámetro adecuado para encajar un tubo de $\frac{3}{4}$ de pulgada, el cual actúa como conducto de salida del agua filtrada. Se puso especial atención en la precisión del ensamblaje para evitar posibles fugas y garantizar un flujo de agua controlado y continuo durante el proceso de filtración.

Recolección del residuo orgánico

Las cáscaras de naranja fueron recolectadas de los puestos de venta de jugo ubicados en los alrededores del centro de la ciudad de Huánuco. Para evitar su posible contaminación durante el transporte, se almacenaron en recipientes adecuados que garantizaban su protección contra agentes externos. Una vez recolectadas, se procedió a lavarlas cuidadosamente con agua limpia con el fin de eliminar cualquier tipo de impureza adherida a la superficie, como restos de pulpa, suciedad o partículas no deseadas.

Luego del lavado, las cáscaras fueron dejadas en reposo durante aproximadamente 30 minutos para permitir el drenaje del exceso de agua y prevenir su deterioro prematuro por exceso de humedad. Este proceso inicial ayudó a mantener la calidad del material y asegurar su adecuada conservación antes del secado prolongado. Posteriormente, las cáscaras fueron expuestas a temperatura ambiente durante un período de 15 días para completar su proceso de deshidratación. Durante este tiempo, se

implementó un sistema de volteo diario, asegurando que cada cáscara recibiera una exposición uniforme a la luz solar y al aire.

Además, para optimizar el secado, se distribuyeron homogéneamente sobre una superficie plana, evitando el amontonamiento y permitiendo una adecuada circulación de aire entre ellas. Este procedimiento fue esencial para eliminar la humedad de manera eficiente y lograr que las cáscaras adquirieran una textura crujiente, facilitando su posterior manipulación. Finalmente, una vez alcanzado el nivel óptimo de deshidratación, las cáscaras fueron almacenadas en un lugar seco y oscuro, protegiéndolas de factores ambientales que pudieran alterar sus propiedades antes de su uso en el prototipo.

Preparación de material filtrante

Para transformar los residuos en un material adecuado para la filtración, se llevaron a cabo diversos procesos de acondicionamiento, garantizando su eficiencia y optimización en el sistema de filtrado:

La molienda: Los residuos orgánicos, en este caso las cáscaras de naranja previamente secadas, fueron sometidos a un proceso de molienda mediante una máquina de moler manual. Este procedimiento permitió reducir el tamaño de las partículas, incrementando su área superficial y mejorando su capacidad de adsorción de contaminantes, lo que optimizó su desempeño en el proceso de filtración.

El tamizado: Tras la molienda, el material fue tamizado utilizando un tamiz con aberturas de 0.5 mm de diámetro. Este proceso aseguró la uniformidad del tamaño de las partículas, permitiendo solo aquellas con dimensiones adecuadas para el filtro. Se eliminaron tanto las partículas demasiado grandes, que podrían dificultar la filtración, como las demasiado finas, que podrían atravesar el filtro y afectar su eficiencia.

Armado del prototipo filtrante

Una vez acondicionado el material filtrante, se procedió a su disposición dentro del prototipo siguiendo una estructura en capas,

asegurando una filtración eficiente y optimizando la reducción de contaminantes:

Base: En la parte inferior del filtro se colocó una capa de algodón. Esta capa tuvo la función de retener partículas finas que pudieran desprenderse de las capas superiores, evitando su salida con el agua filtrada. Además, contribuyó a mantener la estabilidad de los materiales, asegurando una filtración uniforme.

Segunda capa: Sobre la base de algodón, se agregó la harina de cáscara de naranja, principal material adsorbente encargado de la remoción de contaminantes disueltos en el agua. Se establecieron cuatro distribuciones en peceras diferentes, variando la cantidad de material filtrante en cada una.

- Primera pecera: 1 kg de harina de cáscara de naranja.
- Segunda pecera: 2 kg de harina de cáscara de naranja.
- Tercera pecera: 3 kg de harina de cáscara de naranja.
- Cuarta pecera: 4 kg de harina de cáscara de naranja.

Tercera capa: Encima de la harina de cáscara de naranja se añadió una capa de arena con un espesor aproximado de 5 cm. La arena funcionó como un filtro mecánico, atrapando partículas suspendidas en el agua y evitando que estas continuaran su recorrido hacia las capas inferiores. Esta capa también contribuyó a mejorar la estabilidad del material filtrante, evitando la compactación de las capas inferiores y asegurando un flujo constante del agua a través del sistema.

Capa final: Para completar el sistema, se colocó una última capa de piedras con una altura de 5 cm. Estas piedras facilitaron un flujo de agua más uniforme, evitando la compactación de la arena y el material adsorbente. Asimismo, contribuyeron a la distribución homogénea del agua dentro del filtro, mejorando su desempeño.

Figura 2

Funcionamiento del prototipo



Nota. La figura muestra el funcionamiento del prototipo

Recolección de las muestras de agua

Las muestras de agua fueron recolectadas del río ubicado al costado de la mina Huancamina, en el distrito de Jacas Chico, provincia de Yarowilca, departamento de Huánuco. Se extrajeron un total de 80 litros de agua de cuatro puntos diferentes del río, asegurando un muestreo representativo. El agua recolectada fue distribuida en 15 litros por cada pecera, realizando tres repeticiones por unidad para garantizar la fiabilidad de los resultados. Para su traslado al lugar de monitoreo, se utilizaron baldes adecuados, preservando sus características originales. La experimentación se llevó a cabo en una zona de 12 m², donde se instalaron los prototipos de filtrado y se realizó el seguimiento del proceso bajo condiciones controladas, asegurando una evaluación precisa de la eficiencia del sistema de filtración.

Funcionamiento del sistema de filtración

Para llevar a cabo el proceso de filtrado, se implementó un sistema de suministro de agua diseñado para garantizar un flujo adecuado y controlado hacia cada filtro. Se utilizó un bidón con una capacidad de 15 litros como fuente principal de agua, asegurando un suministro suficiente

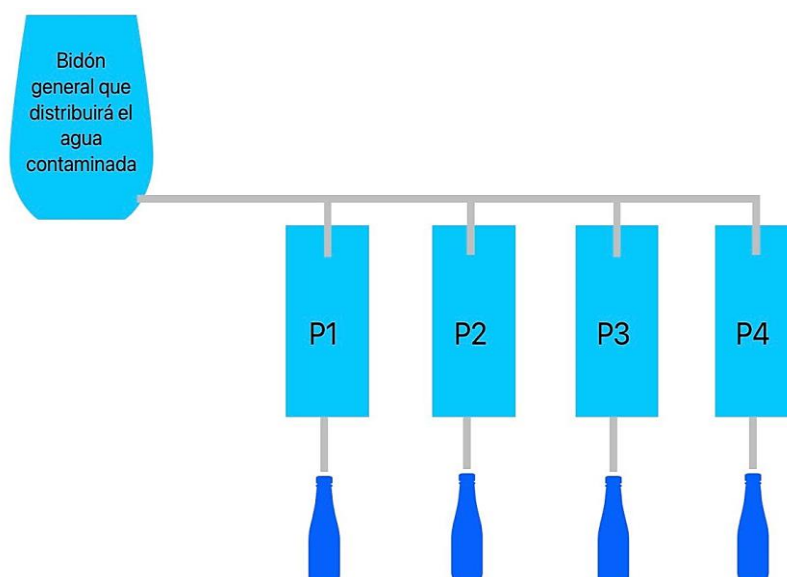
para realizar pruebas continuas y obtener resultados precisos sobre la eficiencia del sistema de filtración.

El bidón fue conectado a un sistema de tuberías de PVC, diseñadas para distribuir el agua de manera independiente hacia cada uno de los cuatro prototipos de filtro. Para lograr una regulación eficiente, se instalaron llaves de control en cada conexión, lo que permitió ajustar el flujo de agua de manera precisa, garantizando que cada filtro recibiera una cantidad uniforme de líquido. Esta configuración aseguró que las pruebas se realizaran bajo condiciones homogéneas, evitando variaciones.

Una vez completado el proceso de filtración, el agua tratada fue recolectada en recipientes separados, donde se realizaron análisis preliminares para observar cambios en sus características físicas y químicas. Posteriormente, las muestras fueron enviadas al laboratorio, donde se llevaron a cabo pruebas más detalladas para evaluar la eficacia del sistema en la reducción de contaminantes y la mejora de la calidad del agua. Estos análisis fueron fundamentales para validar la funcionalidad del prototipo y determinar su potencial aplicación en el tratamiento de agua.

Figura 3

Estructura general del prototipo



Nota. La figura muestra el modelo completo del prototipo

3.1.TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La primera técnica para procesar los datos que se empleó en el proyecto de investigación fue el software Excel para organizar los datos que se obtuvieron en el estudio, esto permitió que en cada fase del proyecto se crean gráficos y tablas de los resultados más sobresalientes, para el análisis y procesamiento de la información se utilizó el software estadístico IBM SPSS, versión 27, que se emplearon para los análisis de datos, teniendo en cuenta las medidas añadidas como la dispersión y la tendencia central, también se utilizó el programa estadístico para determinar la hipótesis, ya que esa fue la intención analítica del estudio, otro programa que se utilizó como una técnica para el estudio fue el QGIS con el fin de detallar la ubicación y los puntos donde se realizó la recolección y el monitoreo en la zona de aplicación y estudio del proyecto. Para la comparación de los medios, se empleó el análisis de varianza de un solo factor (ANOVA).

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

Tabla 4

Descripción del porcentaje de plomo en el agua antes y después de la biofiltración con la cáscara de Citrus sinensis.

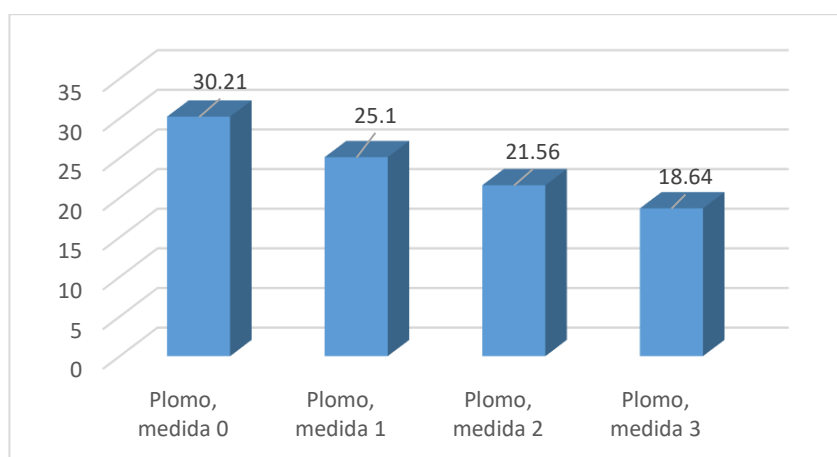
Medidas	Media	n	Error Estándar	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Plomo, medida 0	30.21	1	0.00	30.21	30.21
Plomo, medida 1	25.10	3	1.29	21.00	29.20
Plomo, medida 2	21.56	3	1.43	17.00	26.12
Plomo, medida 3	18.64	3	1.48	13.94	23.34

Nota. Información procesada con el software IBM SPSS versión 27

La concentración de plomo disminuyó de 30,21 mg/l a 18,64 mg/l. Esta reducción fue constante en cada medición. Se atribuye al uso de cáscara de Citrus sinensis, que reduce eficazmente el plomo del agua.

Figura 4

Descripción del porcentaje de plomo en el agua antes y después de la biofiltración con la cáscara de Citrus sinensis.



Nota. Información procesada con el software IBM SPSS versión 27

Podemos apreciar que el valor de la concentración del plomo ha decrecido progresivamente con el paso de las repeticiones de un 30.21 mg/l a 18.64 mg/l, observándose una disminución constante en cada medición

sucesiva este cambio se atribuye al uso de la cascara de *citrus sinensis* que reduce su concentración en el agua de manera eficaz.

Tabla 5

Descripción de las características físicas del agua contaminada por plomo antes y después de la biofiltración con la cáscara de Citrus sinensis.

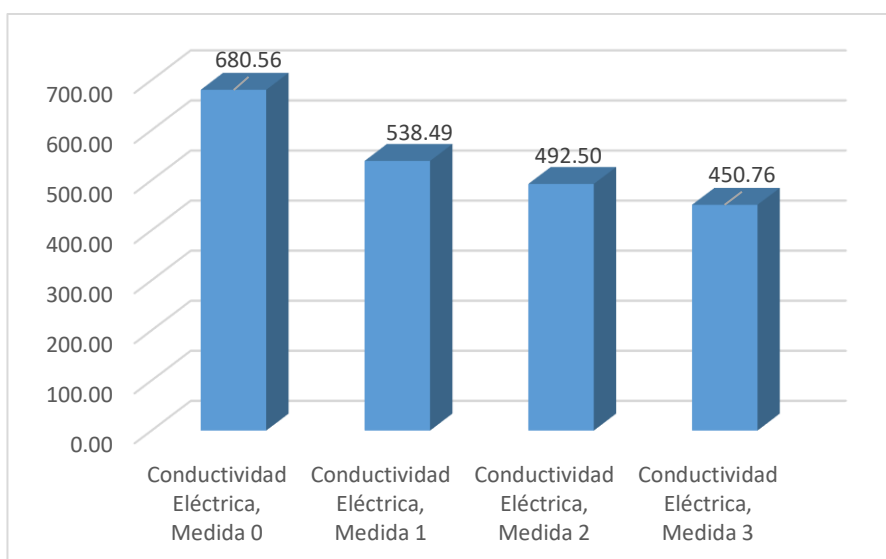
	Media	n	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Conductividad Eléctrica, Medida 0	680.56	1	0.00	680.54	680.57
Conductividad Eléctrica, Medida 1	538.49	3	10.40	505.38	571.60
Conductividad Eléctrica, Medida 2	492.50	3	18.85	432.51	552.49
Conductividad Eléctrica, Medida 3	450.76	3	24.25	373.59	527.93

Nota. Información procesada con el software IBM SPSS versión 27

La conductividad eléctrica se redujo de 680.56 a 450.76 gracias a la cáscara de Citrus sinensis. Esto evidencia una menor presencia de compuestos conductores en el agua. El filtrado resultó efectivo en la purificación y mejora de su calidad.

Figura 5

Descripción de las características físicas del agua contaminada por plomo antes y después de la biofiltración con la cáscara de Citrus sinensis.



Nota. Información procesada con el software IBM SPSS versión 27

Los resultados indican que, conforme se han realizado las mediciones, la conductividad eléctrica ha disminuido progresivamente, pasando de un valor inicial de 680.56 a un valor final de 450.76, gracias al uso de la cáscara de *Citrus sinensis*. Esto sugiere que el filtrado redujo significativamente la presencia de iones y otras sustancias conductoras en el agua. La efectividad del filtro se evidencia en la eliminación de contaminantes que contribuyen a la conductividad eléctrica, mejorando así la calidad del agua.

Tabla 6

Descripción de las características químicas del agua contaminada por plomo antes y después de la biofiltración con la cáscara de Citrus sinensis.

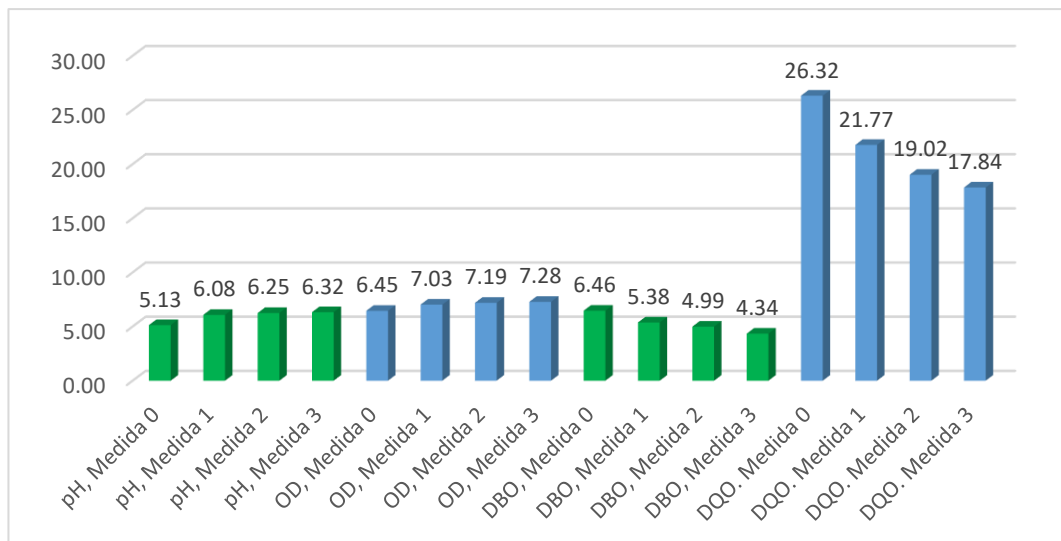
	Media	n	Error Estándar	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
pH, Medida 0	5.13	1	0.00	5.13	5.13
pH, Medida 1	6.08	3	0.14	5.65	6.51
pH, Medida 2	6.25	3	0.14	5.82	6.68
pH, Medida 3	6.32	3	0.14	5.89	6.75
OD, Medida 0	6.45	1	0.00	6.45	6.45
OD, Medida 1	7.03	3	0.09	6.72	7.33
OD, Medida 2	7.19	3	0.06	6.99	7.38
OD, Medida 3	7.28	3	0.04	7.13	7.42
DBO, Medida 0	6.46	1	0.00	6.46	6.46
DBO, Medida 1	5.38	3	0.14	4.92	5.83
DBO, Medida 2	4.99	3	0.12	4.62	5.36
DBO, Medida 3	4.34	3	0.22	3.64	5.04
DQO. Medida 0	26.32	1	0.00	26.32	26.32
DQO. Medida 1	21.77	3	0.80	19.21	24.32
DQO. Medida 2	19.02	3	1.14	15.40	22.64
DQO. Medida 3	17.84	3	1.09	14.36	21.32

Nota. Información procesada con el software IBM SPSS versión 27

El pH del agua aumentó de 5.13 a 6.32, indicando un efecto alcalinizante de la cáscara de *Citrus sinensis*. La DBO y la DQO disminuyeron, reflejando una reducción de materia orgánica y contaminantes. Además, el oxígeno disuelto aumentó, mejorando la calidad del agua para la vida acuática.

Figura 6

*Descripción de las características químicas del agua contaminada por plomo antes y después de la biofiltración con la cáscara de *Citrus sinensis*.*



Nota. Información procesada con el software IBM SPSS versión 27

El pH del agua aumentó significativamente de 5.13 a 6.32. Este incremento sugiere que la cáscara de *Citrus sinensis* tiene un efecto alcalinizante sobre el agua, reduciendo su acidez y acercándola al rango neutro.

La DBO experimentó una reducción notable de 6.46 a 4.34. Esto significa una reducción en la cantidad de materia orgánica biodegradable en el agua, lo que sugiere que la cáscara de *Citrus sinensis* ayudó a reducir los compuestos orgánicos, mejorando la calidad microbiológica del agua.

La DQO disminuyó de 26.32 a 17.84, lo que refleja una reducción significativa en la carga total de contaminantes orgánicos e inorgánicos en el agua. Esta disminución indica que el proceso de biofiltración ha sido efectivo no solo en la reducción de la materia orgánica, sino también en la reducción de contaminantes más difíciles de descomponer.

El Oxígeno Disuelto (OD) aumentó de 6.45 mg/L a 7.28 mg/L tras la biofiltración con cáscara de *Citrus sinensis*, indicando una mejora en la calidad del agua. Este incremento se debe a la reducción de materia orgánica y contaminantes, favoreciendo la oxigenación. Valores superiores a 7 mg/L, sugieren un ambiente más saludable para la vida acuática.

Tabla 7*Prueba de normalidad de los datos con Kolmogorov-Smirnov*

			Plomo, Medida 0	Plomo, Medida 1	Plomo, Medida 2	Plomo, Medida 3
N			4	4	4	4
Parámetros	Media		30,21	25,10	21,56	18,6375
normales ^{a,b}	Desv. Desviación		,00 ^c	2,57	2,86	2,95401
Máximas	Absoluta			,24	,28	,266
diferencias	Positivo			,23	,21	,215
extremas	Negativo			-,24	-,28	-,266
Estadístico de prueba				,24	,28	,266
Sig. Monte Carlo	Sig.			0,61	0,32	0,43
(bilateral) ^f	Intervalo de	Límite		,60	,31	,42
	confianza al	inferior				
	99%	Límite		,62	,33	,44
		superior				

Nota. Información procesada con el software IBM SPSS versión 27

Los datos refieren que el p-valor obtenido supera el nivel convencional del nivel de significancia, por lo que se establece que los datos siguientes a una distribución normal, siendo pertinente realizar el análisis de los datos con una prueba estadística paramétrica.

4.2. CONTRASTACIÓN Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

Se ha planteado la siguiente hipótesis alterna para el estudio, con su correspondiente hipótesis nula:

Ha: El biofiltro de la cáscara de *Citrus sinensis* tiene efecto significativo sobre la calidad de agua contaminada por plomo en la localidad de Huancamina.

H0: El biofiltro elaborado a base de la cáscara de *Citrus sinensis* no tiene efecto significativo sobre la calidad de agua contaminada por plomo en la localidad de Huancamina.

Nivel de significancia: 5%

Estadístico de prueba: ANOVA con un factor intrasujetos (Prueba multivariante)

Como paso previo para la demostración de la hipótesis, es necesario realizar el análisis de la varianza con un factor intrasujetos, de tal modo que estableceremos las diferencias entre las mediciones realizadas.

Tabla 8

ANOVA con un factor intrasujetos (Prueba multivariante)

	Valor	F	gl de hipótesis	gl de error	Sig.
Traza de Pillai	1,000	11658,045 ^a	3,000	1,000	,007
Lambda de Wilks	,000	11658,045 ^a	3,000	1,000	,007
Traza de Hotelling	34974,134	11658,045 ^a	3,000	1,000	,007
Raíz mayor de Roy	34974,134	11658,045 ^a	3,000	1,000	,007

Nota. Información procesada con el software IBM SPSS versión 27

Los resultados indican que, con una probabilidad de error de 0.07% existe diferencias en las medidas realizadas. Para identificar donde se encuentran esas diferencias, se tiene las comparaciones por parejas.

Tabla 9

Comparaciones por pareja

(I) Medidas	(J) Medidas	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig. ^b	95% de intervalo de confianza para diferencia ^b	
					Límite inferior	Límite superior
0	1	5,110	1,288	0,172	-2,916	13,136
	2	8,650	1,433	0,055	-,280	17,580
	3	11,573*	1,477	0,026	2,368	20,777
1	0	-5,110	1,288	0,172	-13,136	2,916
	2	3,540*	,211	0,003	2,222	4,858
	3	6,463*	,213	0,000	5,138	7,787
2	0	-8,650	1,433	0,055	-17,580	,280
	1	-3,540*	,211	0,003	-4,858	-2,222
	3	2,922*	,078	0,000	2,438	3,407
3	0	-11,573*	1,477	0,026	-20,777	-2,368
	1	-6,463*	,213	0,000	-7,787	-5,138
	2	-2,922*	,078	0,000	-3,407	-2,438

Nota. Información procesada con el software IBM SPSS versión 27

Existe diferencia entre la medición 0 con la medición 3, la medición 1 con la 2, la medición 1 con la 3 y la medición 2 con la 3.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. DISCUSIÓN DEL OBJETIVO GENERAL

Evaluación de la efectividad del biofiltro

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran de manera clara y contundente que la biofiltración con cáscara de *Citrus sinensis* es una herramienta altamente efectiva para mejorar la calidad del agua contaminada con plomo. Durante el proceso de tratamiento, se evidenció una reducción progresiva y significativa en la concentración de plomo, pasando de un valor inicial de 30.21 mg/L hasta 18.64 mg/L en la última medición. Este cambio sustancial confirma la capacidad de adsorción del biofiltro, que demuestra ser un medio eficaz para la remoción de metales pesados del agua.

Comparación de resultados con antecedentes

- Cuando se compara este estudio con investigaciones previas, como la de Wattanakornsiri et al. (2022), quienes utilizaron cáscaras de frutas locales tratadas químicamente para la adsorción de Pb (II) y Cd (II), se observa que, aunque la eficiencia alcanzada en este estudio es más baja (38.30%), la diferencia radica en el tratamiento de los materiales. Los autores mencionados reportaron eficiencias del 97.86% para Pb (II) y 97.10% para Cd (II), pero su investigación empleó un tratamiento químico previo para potenciar la capacidad de adsorción de los materiales. En contraste, el uso de cáscara de *Citrus sinensis* sin tratamiento químico, a pesar de tener una eficiencia más baja, presenta una ventaja significativa en términos de accesibilidad y costos, ya que no requiere de pretratamientos complejos. Este aspecto hace que su aplicación sea más económica y sencilla, especialmente en comunidades rurales donde los recursos para tratamientos avanzados de agua pueden ser limitados. La facilidad de recolección y preparación de la cáscara de naranja hace que sea una alternativa viable para estas comunidades.
- Por otro lado, el estudio realizado por Wang et al. (2022), que utilizó semillas de mango como material adsorbente, obtuvo una eficiencia en la adsorción

de Pb (II) hasta 9.1 veces superior a la de los materiales convencionales. Este impresionante resultado se logró gracias a la mayor superficie específica de las semillas de mango, así como a la mejora en los sitios de unión a través de un proceso de tratamiento y procesamiento de las semillas. Sin embargo, este material requiere un proceso de preparación más extenso, que incluye secado, triturado y tamizado en diferentes tamaños de partícula, lo que aumenta la complejidad y el costo de su aplicación a gran escala. En contraste, la cáscara de naranja, aunque presenta una capacidad de adsorción menor, es mucho más accesible y más fácil de manejar, lo que la convierte en una opción atractiva para aplicaciones prácticas a nivel local.

- Finalmente, el estudio de Lakshmana Naik et al. (2023) sobre la combinación de cáscara de arroz y naranja obtuvo una tasa de remoción del 99.36%, que es superior a la observada en este estudio. Sin embargo, este trabajo combinó ambos materiales para mejorar la eficiencia del proceso de adsorción, lo que sugiere que la cáscara de naranja podría beneficiarse de la combinación con otros materiales. En este sentido, la eficiencia del biofiltro de *Citrus sinensis* podría ser optimizada mediante la mezcla con otros adsorbentes, lo que abriría nuevas posibilidades para mejorar aún más el rendimiento de este material en el tratamiento de aguas contaminadas. Además, se considera que la eficiencia observada en este estudio podría incrementarse aún más mediante ajustes en variables clave como el tiempo de contacto entre el agua y el biofiltro, la dosis de adsorbente utilizada y la granulometría de la cáscara de naranja. Estos ajustes permitirían equiparar, e incluso superar, los resultados obtenidos en estudios previos, acercándose a la eficiencia lograda con materiales combinados.

5.2. DISCUSIÓN DE LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a. Reducción del plomo antes y después del tratamiento

El estudio revela una reducción progresiva en los niveles de plomo en el agua tras el proceso de biofiltración, lo que indica que la cáscara de *Citrus sinensis* actúa como un adsorbente eficiente. La disminución de la concentración de plomo de 30.21 mg/L a 18.64 mg/L representa una reducción del 38.30% en la contaminación por este metal pesado.

Al compararlo con el estudio de Salazar (2024), quien utilizó cáscara de coco para remover plomo en efluentes mineros logrando una eficiencia del 69.62%, se observa que la cáscara de naranja presenta una eficiencia menor. Sin embargo, tiene la ventaja de ser un residuo agroindustrial más accesible y de menor impacto ambiental. Además, la cáscara de coco logró reducir la concentración de plomo de 0.58 mg/L a 0.179 mg/L, valores inferiores a los obtenidos en este estudio, lo que sugiere la necesidad de mejorar la aplicación de la cáscara de naranja en procesos más prolongados o combinados con otros adsorbentes.

b. Características físicas del agua antes y después del tratamiento

La conductividad eléctrica del agua se redujo de 680.56 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 450.76 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que representa una disminución del 33.7%. Esto indica una menor concentración de iones disueltos, reflejando la remoción de metales pesados y otros contaminantes.

En comparación con el estudio de Abad et al. (2020), quien analizó la bioadsorción de arsénico con cáscara de naranja en el río Locumba, se observó una reducción en la conductividad del 40%. Esto indica que la cáscara de *Citrus sinensis* es eficaz en la remoción de contaminantes, aunque podría optimizarse con ajustes en el tiempo de contacto y la aplicación de tratamientos previos.

c. Características químicas del agua antes y después del tratamiento

El pH del agua incrementó de 5.13 a 6.32, aumentando en un 23.2%, lo que indica un efecto alcalinizante positivo. La DBO se redujo en un 32.8% y la DQO en un 32.2%, mejorando la calidad química del agua.

Comparando con el estudio de Romero et al. (2024), que analizó la adsorción de arsénico con cáscara de maracuyá y semillas de guayaba, se observó una reducción de la DQO del 28.5%, ligeramente inferior a la de este estudio, lo que sugiere un mayor impacto de la cáscara de naranja en la mejora del agua contaminada.

CONCLUSIONES

- La biofiltración con cáscara de *Citrus sinensis* logró una reducción progresiva en la concentración de plomo en el agua contaminada en la localidad de Huancamina. Inicialmente, el nivel de plomo era de 30,21 mg/L, y tras varias etapas de filtrado, se redujo a 18,64 mg/L. Esto indica una remoción efectiva del metal pesado, lo que respalda la capacidad del biofiltro para adsorber plomo y mejorar la calidad del agua.
- Se evidencia una disminución en la conductividad eléctrica del agua después del tratamiento con cáscara de *Citrus sinensis*, pasando de 680,56 a 450,76 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Este descenso sugiere que la biofiltración reduce la presencia de iones y partículas disueltas en el agua, indicando que el proceso contribuyó a la eliminación de contaminantes que afectan sus propiedades físicas.
- Los resultados muestran que la biofiltración no solo reduce el contenido de plomo, sino que también mejoró otros parámetros químicos del agua. El pH aumentó de 5.13 a 6.32, acercándose a un nivel más neutro, lo que mejora su calidad para consumo y procesos biológicos. Además, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) disminuyó de 6.46 a 4.34 mg/L, y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) se redujo de 26.32 a 17.84 mg/L, reflejando una menor carga de materia orgánica y contaminantes químicos.
- El análisis estadístico confirma que el uso del biofiltro de cáscara de *Citrus sinensis* tuvo un efecto significativo en la calidad del agua contaminada por plomo. La prueba ANOVA mostró diferencias significativas en las mediciones realizadas a lo largo del proceso de filtración, con una probabilidad de error del 0.07%. Esto demuestra que el tratamiento aplicado fue eficiente y tiene potencial como una solución ecológica y de bajo costo para la remediación del agua contaminada en la localidad de Huancamina.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda fomentar el uso de la cáscara de naranja como un biofiltro natural y de bajo costo para la remoción de metales pesados en cuerpos de agua contaminados, debido a su alta capacidad de adsorción y su disponibilidad. Su implementación en procesos de descontaminación no solo contribuiría a mejorar la calidad del agua, sino que también representaría una alternativa ecológica y sostenible para reducir el impacto ambiental generado por los desechos cítricos.
- Se recomienda que futuros estudios establezcan protocolos precisos para la preparación de la cáscara de naranja, garantizando su eficiencia y evitando posibles variaciones en los resultados. Asimismo, se sugiere optimizar los tiempos de contacto y evaluar el número de ciclos de reutilización del biofiltro para su implementación a mayor escala.
- Se recomienda a la Universidad de Huánuco la creación y equipamiento de laboratorios especializados en biotecnología ambiental. La disponibilidad de estos espacios permitirá a los tesisistas y futuros investigadores desarrollar experimentos con mayores recursos, optimizando los procesos de investigación.
- Se recomienda ampliar la investigación hacia otros residuos agrícolas, para evaluar su capacidad de adsorción de contaminantes. La diversificación de materiales permitiría comparar su efectividad y determinar cuál es la opción más viable según el tipo de contaminación y las condiciones ambientales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Abad, L., Choquecota, R., Mamani, G., Ticona, P., Sanga, M., & Gutierrez, I. (2020). Bioadsorción de arsénico del agua del río Locumba utilizando cáscara de naranja (*Citrus sinensis*), Tacna. <http://dx.doi.org/10.33326/26176033.2020.26.931>
- Aconsa. (2021). Parámetros químicos de calidad del agua. Aconsa. <https://surl.li/xepzeu>
- Adán, C. (2023). Pectin From Orange Peel. Livestrong.com. <https://surl.li/hvuthj>
- ANA. (2013). Atlas de recursos hídricos del Perú. En Autoridad Nacional del Agua. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/217>
- Andrade, R., Araujo, J. A., Centeno, G., & Sansores, M. (2023). Las cáscaras de naranja. <https://surl.li/hpqcms>
- Apure. (2022). ¿Qué es el cloro residual? - Un puro. Apure. <https://surl.li/zbbpfv>
- Banco Mundial. (2021). Diagnóstico del sector minero Perú. <https://surl.li/mxskkz>
- BCN. (2016). Calidad del agua. Biblioteca Congreso Nacional de Chile. <https://surl.li/lcpxwl>
- Brenes, R., & Rojas, L. (2005). El agua: Propiedades e importancia. <https://surl.li/pnivrj>
- BYJUS. (2023). Electrical Conductivity—Conductivity of Water and Saltwater. BYJUS. <https://byjus.com/physics/conductivity-of-water/>
- Cabrera, G., Ramírez, M., & Cantero, D. (2011). En Comprehensive Biotechnology (pp. 303-318). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00408-6>

- Carbajal, Á., & Gonzales, M. (Eds.). (2012). Agua para la salud: Pasado, presente y futuro. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. <https://surl.li/dufyww>
- Citrus & Life. (2021). Las partes de los frutos cítricos. Citrus & Life. <https://surl.li/bqtoit>
- Collin, S., Venkataraman, S., Arbaaz, M., Lvov, V., & Tovar, G. (2022). Bioaccumulation of lead (Pb) and its effects on human: A review. Journal of Hazardous Materials Advances, 7, 100094. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100094>
- Dávila, L., & Sierra, A. (2018). Revisión de alternativas sostenibles para el aprovechamiento del orujo de naranja. Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales, 5, 9-32. <https://doi.org/10.23850/24220582.1393>
- Derco, J., & Vrana, B. (2018). Biosorption. <https://doi.org/10.5772/intechopen.68261>
- Duany, S., Arias, T., & Heredia, D. (2022). Bioadsorbentes no convencionales empleados en la remoción de metales pesados. Revisión. 42, 94-113. <https://surl.li/onvbrm>
- El peruano. (2017). Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. <https://surl.li/ydkhny>
- EPA. (2013). Dissolved Oxygen [Overviews and Factsheets]. <https://surl.li/cwzzhm>
- Frondriest. (2023). Water Temperature. Environmental Measurement Systems. <https://tinyurl.com/hxfhs2dp>
- Gautam, R., Sharma, S., Mahiya, S., & Chattopadhyaya, M. (2014). Metales pesados en el agua: Presencia, eliminación y seguridad. <https://surl.li/wktdfi>

- Green, S. (2024). Are Orange Peels Biodegradable? North Bend NE.
<https://surl.li/kvpwxy>
- Hanna. (2024). ¿Qué es la Demanda Química de Oxígeno?
<https://surl.li/gybhol>
- Hasan, M., Al-Tameemi, I., & Abbas, M. (2021). Orange Peels as a Sustainable Material for Treating Water Polluted with Antimony. *Journal of Ecological Engineering*, 22(2), 25-35.
<https://doi.org/10.12911/22998993/130632>
- Herrera, P., & Millones, O. (2011). ¿Cuál es el costo de la contaminación ambiental minera sobre los recursos hídricos en el Perú?
<https://surl.li/vdicno>
- iAgua. (2017). Las propiedades del agua. iAgua. <https://tinyurl.com/yc3jw775>
- IEQFB. (2023). Demanda Química de Oxígeno. Instituto Europeo de Química, Física y Biología. <https://ieqfb.com/que-es-demanda-quimica-oxigeno/>
- IPE. (2018). Aporte de la minería al PBI. Instituto Peruano de Economía. <https://www.ipe.org.pe/portal/aporte-de-la-mineria-al-pbi/>
- Kosar, H., Fryad, M., & Khalid, O. (2023). Heavy metal pollution in the aquatic environment: Efficient and low-cost removal approaches to eliminate their toxicity. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10258679/>
- Lakshmana Naik, R., Rupas Kumar, M., & Bala Narsaiah, T. (2023). Removal of heavy metals (Cu & Ni) from wastewater using rice husk and orange peel as adsorbents. 72, 92-98.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.06.112>
- Lazaro, G. (2023). “Eficiencia de filtros orgánicos para el tratamiento de las aguas residuales provenientes del Hospital Regional Hermilio Valdizan Medrano de Huánuco – Perú 2023”.
<https://repositorio.udh.edu.pe/handle/20.500.14257/4857>

- Michael, U., Abbey, S., & Ifelebuegu, A. (2023). Modified Orange Peel Waste as a Sustainable Material for Adsorption of Contaminants. *Materials*, 16(3), 1092. <https://doi.org/10.3390/ma16031092>
- Nathanson, J. (2024). Contaminación del agua. <https://www.britannica.com/science/water-pollution>
- OPS. (2005). Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas. Organización Panamericana de la Salud. <https://surl.li/aadsmo>
- OPS. (2020). Plomo. Organización Panamericana de la Salud. <https://surl.li/dhzpep>
- Ortíz, P., Ponce, J., & Rebolledo, E. (2014). Contaminación del agua. <https://camaren.org/documents/archivo4.pdf>
- Paz, A. (2023). Ríos en riesgo: Minería provoca cambios profundos en afluentes de todo el mundo. Noticias ambientales. <https://surl.li/axjvet>
- Pérez, F., & Urrea, A. (2020). Abastecimientos de agua. Universidad Politécnica de Cartagena. <https://surl.li/slxtxo>
- Pierre, G. (2017). Guía para el manejo de depósitos de relaves. Asociación minera de Canadá. <https://surl.li/lmmcnt>
- Rahman, A., Yoshida, K., Islam, M. M., & Kobayashi, G. (2023). Investigation of Efficient Adsorption of Toxic Heavy Metals (Chromium, Lead, Cadmium) from Aquatic Environment Using Orange Peel Cellulose as Adsorbent. *Sustainability*, 15(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/su15054470>
- Romero, L., Mamani, L. M. M., & Choquemoroco, K. (2024). Evaluación de cáscaras de maracuyá y semillas de guayaba como bioadsorbentes para la remoción de Arsénico (III) en aguas superficiales. *Scienceevolution*, 4(12), Article 12.
- Rosa, M. (2023). La crisis del agua en el mundo. <https://acortar.link/KptxIN>

- Salazar, A. (2024). Biosorción de la cáscara de coco (cocos nucifera) para la remoción de plomo, cadmio y zinc en efluentes mineros de la relavera Quiulacocha - Cerro de Pasco, 2022 [Federico Villareal]. <https://hdl.handle.net/20.500.13084/9522>
- Sánchez, E., & Quinteros, Z. (2017). Pertinencia del concepto de estándar de calidad ambiental (ECA) en la gestión de sistemas ambientales. *Ecología Aplicada*, 16(2), 151. <https://doi.org/10.21704/rea.v16i2.1019>
- Sarina, J., & Cárdenas, B. (2004). Biofiltration: Past, present and future directions. *BioCycle*. <https://www.biocycle.net/biofiltration-past-present-and-future-directions/>
- Sharifi, M., Rafiee, S., Keyhani, A., Jafari, A., Mobli, H., & Akram, A. (2007). Algunas propiedades físicas de la naranja (var. Tompson). <https://surl.li/ztljum>
- Sharma, S. (2014). Heavy Metals in Water: Presence, Removal and Safety. Royal Society of Chemistry. <https://surl.li/jfydko>
- Smith, J. (Ed.). (2009). Biomass: Biotechnology substrate. En *Biotechnology* (5.^a ed., pp. 19-28). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511802751.003>
- Supo, J., & Zacarías, H. (2020). Metodología de la investigación científica: Para las ciencias de la salud y las ciencias sociales. (3ra edición).
- Thieman, W., & Palladino, M. (2010). Introducción a la biotecnología. <https://acortar.link/WKeIGQ>
- USGS. (2018). Color de agua. USGS. <https://surl.li/wpozgp>
- Vallés, M., Fuentes, E., & Pons, J. (2018). El plomo: Un problema medioambiental y para la salud. UABDivulga Barcelona Investigación e Innovación. <https://surl.li/bhhfws>

- Verdaguer, A., Sacha, G., Bluhm, H., & Salmeron, M. (2006). Molecular Structure of Water at Interfaces: Wetting at the Nanometer Scale. *Chemical reviews*, 106, 1478-1510. <https://doi.org/10.1021/cr040376l>
- Wang, Q., Wang, Y., Yang, Z., Han, W., Yuan, L., & Zhang, L. (2022). Efficient removal of Pb (II) and Cd (II) from aqueous solutions by mango seed biosorbent. *Chemical Engineering Journal Advances*. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.100295>
- Wattanakornsiri, A., Rattanawan, P., Sanmueng, T., Satchawan, S., Jamnongkan, T., & Phuengphai, P. (2022). Local fruit peel biosorbents for lead (II) and cadmium (II) ion removal from waste aqueous solution. *South African Journal of Chemical Engineering*, 42, 306-317. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2022.09.008>
- WHO. (2017). Guidelines for drinking-water quality (4th ed + 1st add). World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/254637>
- Zhang, P., Yang, M., Lan, J., Huang, Y., Zhang, J., Huang, S., Yang, Y., & Ru, J. (2023). Water Quality Degradation Due to Heavy Metal Contamination. *Toxics*, 11(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/toxics11100828>

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

León Cori, I. (2025). *Efectividad del biofiltro de la cáscara de Citrus sinensis sobre la calidad de agua contaminada por plomo en la localidad de Huancamina – 2024* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://.../>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

“Efectividad del biofiltro de la cáscara de *Citrus sinensis* sobre la calidad de agua contaminada por plomo”

Problema General	Objetivo General	Hipótesis	Variables e Indicadores	Metodología
¿Cuál es la efectividad del biofiltro de la cáscara de <i>Citrus sinensis</i> sobre la calidad de agua contaminada por plomo en la localidad de Huancamina?	Determinar la efectividad del biofiltro de la cáscara de <i>Citrus sinensis</i> sobre la calidad de agua contaminada por plomo en la localidad de Huancamina.	Ha: El biofiltro de la cáscara de <i>Citrus sinensis</i> tiene efecto significativo sobre la calidad de agua contaminada por plomo en la localidad de Huancamina.	V. independiente Biofiltro • Biofiltro de la cáscara de <i>Citrus sinensis</i>	Tipo: • Según la intervención la intervención del investigador es con intervención. • Según el control de las mediciones es prospectivo. • Según el número de mediciones de la variable de estudio es longitudinal. • Según el número de variables analíticas es analítico.
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	H0: El biofiltro de la cáscara de <i>Citrus sinensis</i> no tiene efecto significativo sobre la calidad de agua contaminada por plomo en la localidad de Huancamina.	V. dependiente Calidad de agua Parámetros físicos • Conductividad Eléctrica (CE) Parámetros químicos • Concentración de plomo • Potencial de hidrógeno (pH) • Oxígeno disuelto • DQO • DBO	Diseño: M1: O ₁ – X ₁ – O ₂ Donde: • M1: Grupo operacional con Cascara de <i>Citrus sinensis</i> • O ₁ : Observación Inicial • X ₁ : <i>Citrus sinensis</i> • O ₂ : Observación Final
¿Cuál es el porcentaje de plomo en el agua antes y después de la biofiltración con la cáscara de <i>Citrus sinensis</i> ?	Describir el porcentaje de plomo en el agua antes y después de la biofiltración con la cáscara de <i>Citrus sinensis</i> .			
¿Cuáles son las características físicas del agua contaminada por plomo antes y después de la biofiltración con la cáscara de <i>Citrus sinensis</i> ?	Describir las características físicas del agua contaminada por plomo antes y después de la biofiltración con la cáscara de <i>Citrus sinensis</i> .			
¿Cuáles son las características químicas del agua contaminada por plomo antes y después de la biofiltración con la cáscara de <i>Citrus sinensis</i> ?	Describir las características químicas del agua contaminada por plomo antes y después de la biofiltración con la cáscara de <i>Citrus sinensis</i> .			

ANEXO 2

ANÁLISIS DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

LASAE



ANÁLISIS ESPECIAL



1.DATOS

SOLICITANTE:	LEON CORI INES MARGOTH	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE
DEPARTAMENTO:	HUÁNUCO	FECHA DE RECEPCIÓN:	25/11/24
PROVINCIA:	YAROWILCA	FECHA DE INICIO DE ENSAYO:	25/11/24
DISTRITO:	JACAS CHICO	FECHA DE REPORTE:	30/11/24
CASERÍO:	HUANCAMINA	RECIBO O FACTURA:	23011852
TIPO DE MUESTRA:	AGUA CONTAMINADA POR PLOMO	OBSERVACIÓN:	...

2.RESULTADOS DEL ANALISIS SOLICITADO

Nº	DATOS DE LA MUESTRA		RESULTADOS					
	CÓDIGO	REFERENCIA	pH	CE dS/m	DQO mg/L	DBO mg/L	OD mg/L	Pb mg/L
1	E0243	Agua contaminada con plomo	5.13	680.546	26.32	6.46	6.45	30.211

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas, queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita de LASAE. Los resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Ing. CELIA NELTON MORA TRUJILLO
Profesora del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Dr. HUGO ALFREDO HUAMAN YUPANQUE
Jefe (a) Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



ANALISIS ESPECIAL



1.DATOS

SOLICITANTE:	LEON CORI INES MARGOTH	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE
DEPARTAMENTO:	HUÁNUCO	FECHA DE RECEPCIÓN:	02/12/24
PROVINCIA:	YAROWILCA	FECHA DE INICIO DE ENSAYO:	02/12/24
DISTRITO:	JACAS CHICO	FECHA DE REPORTE:	16/12/24
CASERÍO:	HUANCAMINA	RECIBO O FACTURA:	23011985
TIPO DE MUESTRA:	AGUA CONTAMINADA POR PLOMO	OBSERVACIÓN:	—

2.RESULTADOS DEL ANALISIS SOLICITADO

Nº	DATOS DE LA MUESTRA		RESULTADOS					
	CÓDIGO	REFERENCIA	pH	CE dS/m	DQO mg/L	DBO mg/L	OD mg/L	Pb mg/L
1	E0386	MC	5.15	680.538	26.22	6.38	6.47	30.208
2	E0387	P1-R1	5.75	562.782	23.62	5.75	6.96	27.745
3	E0388	P2-R1	5.98	548.524	22.55	5.42	6.82	26.775
4	E0389	P3-R1	6.21	524.462	20.78	5.25	7.05	23.521
5	E0390	P4-R1	6.37	518.214	20.12	5.08	7.28	22.352

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas, queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita de LASAE.
Los resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Ing. CÉSAR MILTON NEIRA TRUJILLO
Profesor del Laboratorio de Suelos, Agua y Ecotoxicología



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe (a) Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



ANALISIS ESPECIAL



1.DATOS

SOLICITANTE:	LEON CORI INES MARGOTH	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE
DEPARTAMENTO:	HUÁNUCO	FECHA DE RECEPCIÓN:	02/12/24
PROVINCIA:	YAROWILCA	FECHA DE INICIO DE ENSAYO:	02/12/24
DISTRITO:	JACAS CHICO	FECHA DE REPORTE:	16/12/24
CASERÍO:	HUANCAMINA	RECIBO O FACTURA:	23011985
TIPO DE MUESTRA:	AGUA CONTAMINADA POR PLOMO	OBSERVACIÓN:	—

2.RESULTADOS DEL ANALISIS SOLICITADO

Nº	DATOS DE LA MUESTRA		RESULTADOS					
	CÓDIGO	REFERENCIA	pH	CE dS/m	DQO mg/L	DBO mg/L	OD mg/L	Pb mg/L
1	E0411	P1-R2	5.96	529.425	21.62	5.21	7.04	24.145
2	E0412	P2-R2	6.08	517.785	19.55	5.11	7.15	23.785
3	E0413	P3-R2	6.42	474.124	18.78	4.96	7.26	19.965
4	E0414	P4-R2	6.53	448.645	16.12	4.68	7.31	18.328

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas, queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita de LASAE. Los resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Ing. GILBERTO MELTÓN NEIRA TRUJILLO
Profesor del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Dr. HUGO ALFREDO HUÁMANI YUPANQUI
Jefe (a) Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



ANALISIS ESPECIAL



1. DATOS

SOLICITANTE:	LEON CORI INES MARGOTH	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE
DEPARTAMENTO:	HUÁNUCO	FECHA DE RECEPCIÓN:	02/12/24
PROVINCIA:	YAROWILCA	FECHA DE INICIO DE ENSAYO:	02/12/24
DISTRITO:	JACAS CHICO	FECHA DE REPORTE:	16/12/24
CASERÍO:	HUANCAMINA	RECIBO O FACTURA:	23011985
TIPO DE MUESTRA:	AGUA CONTAMINADA POR PLOMO	OBSERVACIÓN:	...

2. RESULTADOS DEL ANALISIS SOLICITADO

Nº	DATOS DE LA MUESTRA		RESULTADOS					
	CÓDIGO	REFERENCIA	pH	CE dS/m	DQO mg/L	DBO mg/L	OD mg/L	Pb mg/L
1	E0423	P1-R3	6.04	498.456	20.67	4.85	7.17	21.456
2	E0424	P2-R3	6.15	484.782	18.12	4.54	7.25	20.782
3	E0425	P3-R3	6.49	421.843	17.14	4.13	7.33	16.964
4	E0426	P4-R3	6.61	397.965	15.43	3.85	7.38	15.348

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas, queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita de LASAE. Los resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Ing. GILBERTO NOLAN TRUJILLO
Profesor del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

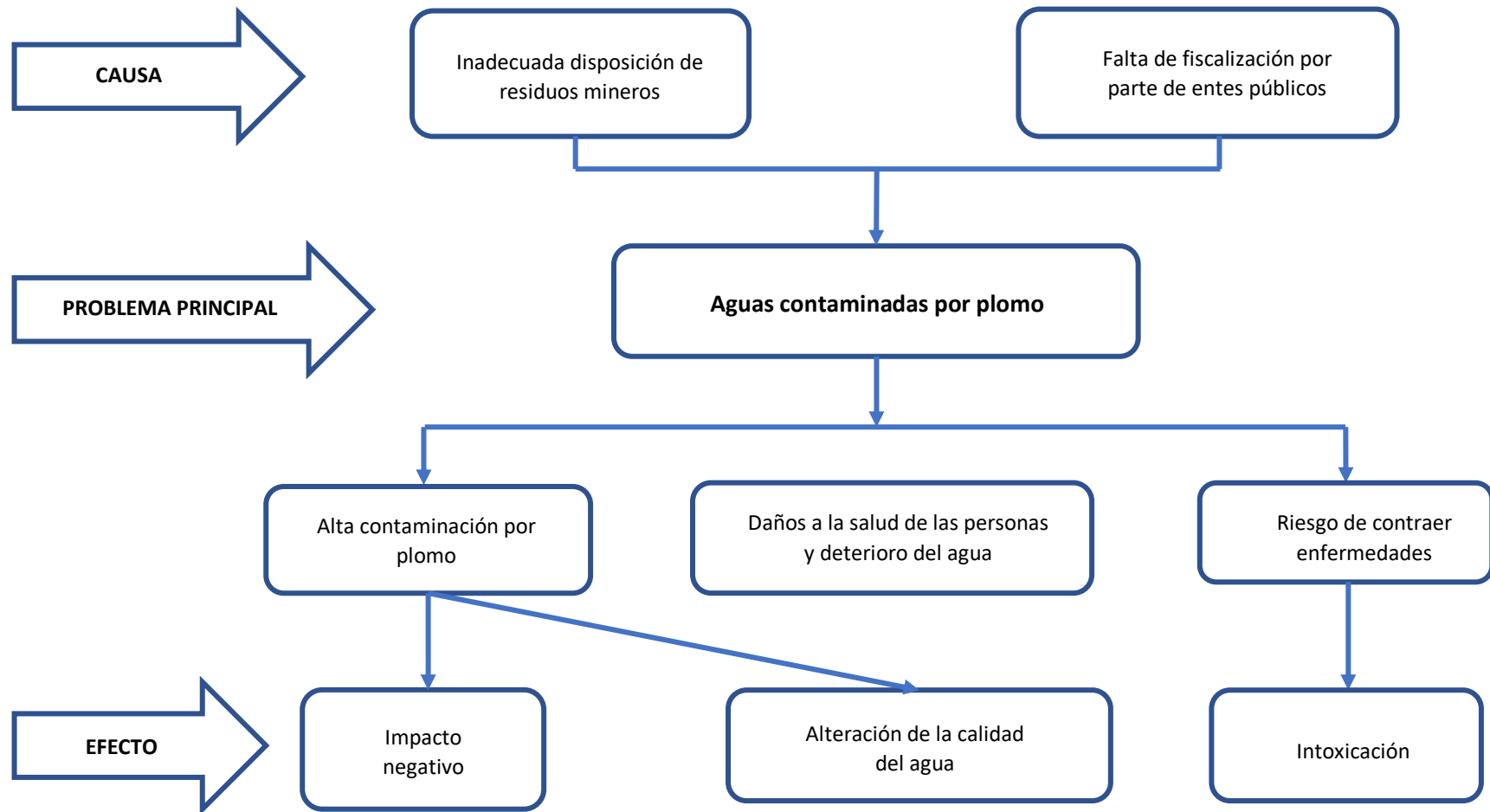


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

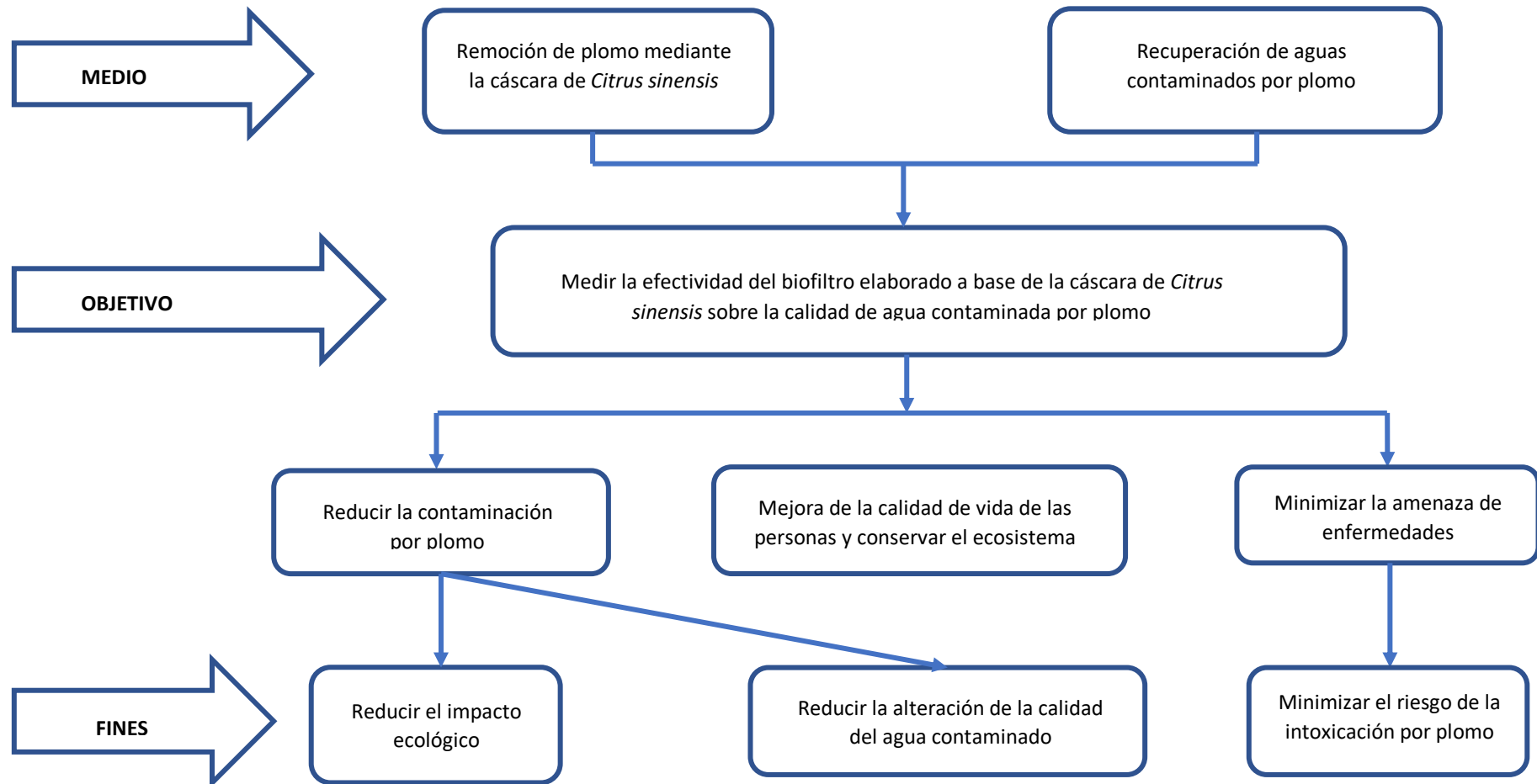
ANEXO 3

ÁRBOL DE CAUSA Y EFECTO



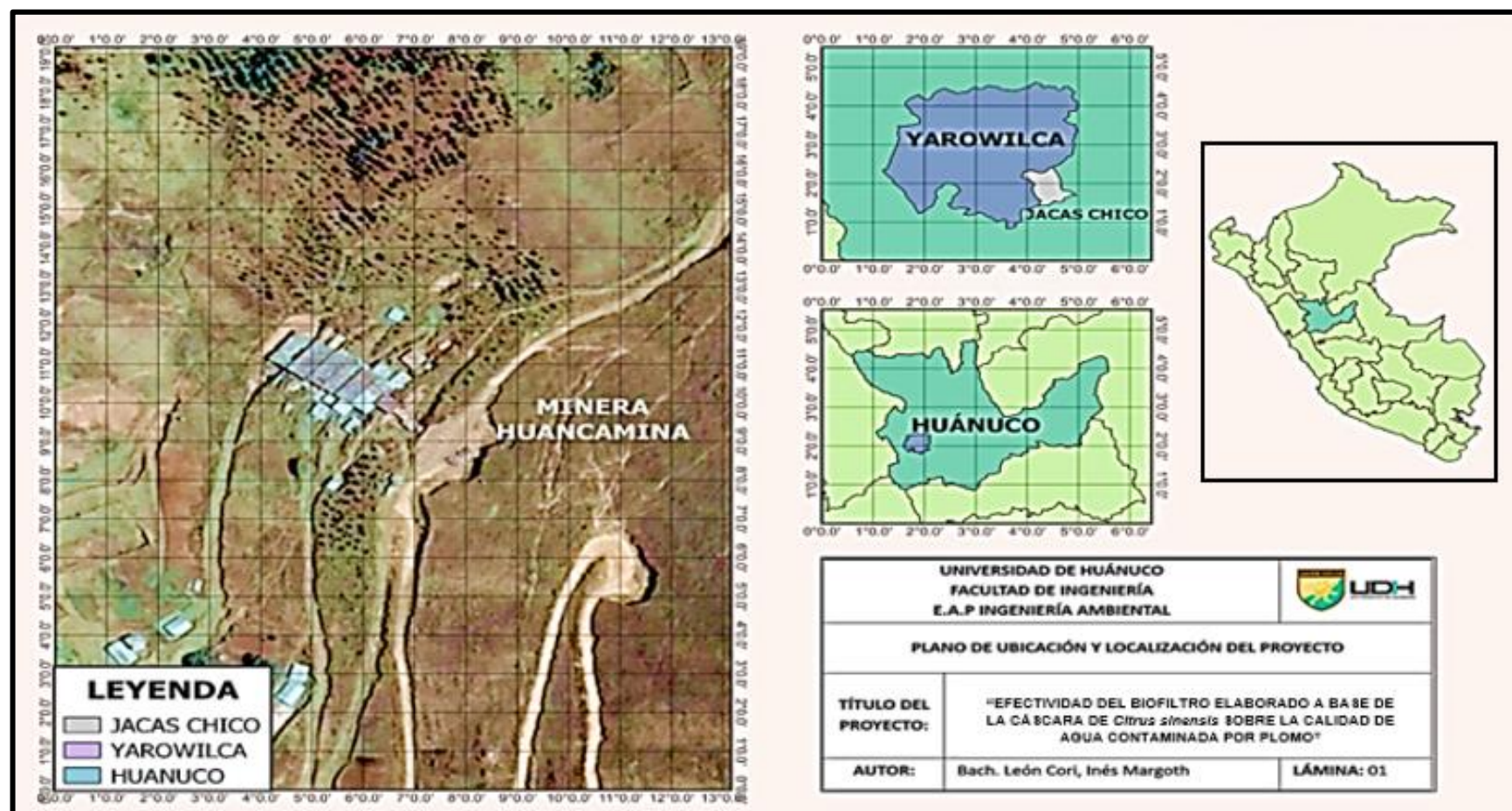
ANEXO 4

DIAGRAMA DE MEDIOS Y FINES



ANEXO 5

MAPA DE UBICACIÓN



ANEXO 6

PANEL FOTOGRÁFICO



Armado del prototipo



Recolección de la cáscara de naranja



Lavado de la cáscara de naranja



Secado de la cáscara de naranja



Preparación de material filtrante



Molienda con máquina de mano



Obtención de la harina de naranja



Llenado del prototipo filtrante



Punto de recolección de agua



Recolección de muestras de agua



Funcionamiento del sistema de filtración



Muestras rotuladas para envío a laboratorio



Supervisión de mi asesor Mg. Frank Cámara Llanos



Supervisión de mi jurado Mg. Milton Morales Aquino