Universidad Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

Remoción de plomo presente en las aguas de la laguna de Choclococha mediante plantas acuáticas

Walter Ticllasuca Riveros

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital

Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

Universidad Continental

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A	**:**	Decano de la Facultad de Ingeniería
DE	**:**	Jose Vladimir Cornejo Tueros Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO	**:**	Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA	**:**	24 de marzo de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:
REMOCIÓN DE PLOMO PRESENTE EN LAS AGUAS DE LA LAGUNA DE CHOCLOCOCHA MEDIANTE PLANTAS ACUÁTICAS

Autores:
1. Walter Ticllasuca Riveros – EAP. Ingeniería Ambiental

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 20% de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

J Filtro de exclusión de bibliografía	SI	x	NO	
J Filtro de exclusión de grupos de palabras menores Nº de palabras excluidas **(en caso de elegir "SI")**: 10	SI	x	NO	
J Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante	SI		NO	x

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

Asesor de trabajo de investigación

ASESOR

Dr. José Vladimir Cornejo Tueros

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la Universidad Continental, a la Facultad de Ingeniería por permitirme seguir la carrera de Ingeniería Ambiental, a su vez a mi asesor Dr. Vladimir Cornejo Tueros, por oriéntame en el desarrollo de mi trabajo de investigación.

De la misma manera agradezco todos a los docentes de la Universidad, que en todo el proceso de mi carrera profesional me brindaron sus conocimientos para poder llegar al éxito.

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación dedico a mis padres Vilma y Benigno, por los valores que me infundieron, por el apoyo que me brindaron y por estar en cada momento a pesar de las dificultades siempre habrá luz, todo esfuerzo tiene su recompensa y siempre estaré agradecido con mis padres.

A mis hermanos y a toda mi familia por la motivación a seguir adelante para poder cumplir mis metas.

ÍNDICE

ASESOR II
AGRADECIMIENTOS III
DEDICATORIA IV
ÍNDICE V
ÍNDICE DE TABLAS VIII
ÍNDICE DE FIGURAS IX
RESUMEN X
ABSTRACT XI
INTRODUCCION XII
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO 1
1.1. Planteamiento y formulación del problema 1
1.1.1. Planteamiento del problema 1
1.1.2. Formulación del problema 2
1.1.2.1. Problema general 2
1.1.2.2. Problemas específicos 2
1.2. Objetivos 2
1.2.1. Objetivo general 2
1.2.2. Objetivos específicos 3
1.3. Justificación de la investigación 3
1.3.1. Justificación ambiental 3
1.3.2. Justificación económica 3
1.3.3. Justificación teórica 4
1.4. Hipótesis y variables 4
1.4.1. Hipótesis general 4
1.4.2. Descripción de las variables 4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 6
2.1. Antecedentes del problema 6
2.1.1. Antecedentes internacionales 6
2.1.2. Antecedentes nacionales 8

2.1.3. Antecedentes locales 10
2.2. Bases teóricas 11
2.2.1. Aguas superficiales 11
2.2.2. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua D.S. N° 004-2017-MINAM 11
2.2.3. Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) 11
2.2.4. Laguna 12
2.2.5. Vías de entrada y origen de los metales pesados en los sistemas acuáticos 13
2.2.6. Lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) 13
2.2.7. Plomo (Pb) 14
2.2.8. Plantas acuáticas 15
2.2.9. Remoción de metales pesados 15
2.2.10. Tratamiento de aguas 15
2.2.11. Fitorremediación acuática 15
2.2.12. Tipos de fitorremediación 16
2.2.13. Fases de fitorremediación 16
2.2.13.1. Absorción 17
2.2.13.2. Excreción 17
2.2.13.3. Desintoxicación de contaminantes 17
2.2.14. Clasificación de las plantas usadas en la fitorremediación 17
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA 18
3.1. Método, tipo y nivel de investigación 18
3.1.1. Método de la investigación 18
3.1.2. Tipo de investigación 18
3.1.3. Nivel de investigación 18
3.2. Diseño de la investigación 18
3.2.1. Tipo de diseño de investigación 18
3.3. Población y muestra 19
3.3.1. Población 19
3.3.2. Muestra 19

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 20
3.4.1. Técnicas 20
3.4.2. Instrumentos de recolección de datos 21
3.5. Proceso metodológico 21
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN 27
4.1. Resultados de la investigación 27
4.1.1. Resultados de la concentración de plomo en aguas de la laguna de Choclococha 27
4.1.2. Resultados de la concentración de plomo después del tratamiento en las aguas de la laguna de Choclococha 27
4.1.3. Porcentaje de remoción de plomo en las aguas de la laguna de Choclococha 29
4.1.4. Comparación de porcentaje de eficiencia de *Eichhornia crassipes y Pistia stratiotes* 32
4.2. Discusión de resultados 33
CONCLUSIONES 34
RECOMENDACIONES 35
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 36
ANEXOS 40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de las variables. 5
Tabla 2. Características de *Eichhornia crassipes*. 12
Tabla 3. Características de *Pistia stratiotes*. 14
Tabla 4. Tipos de fitorremediación. 16
Tabla 5. Puntos de muestreo de la laguna de Choclococha. 19
Tabla 6. Medidas de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*). 23
Tabla 7. Medidas de la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*). 23
Tabla 8. Resultados de concentración de plomo en la laguna de Choclococha antes del tratamiento (mg/L). 27
Tabla 9. Resultados de concentración de plomo en la laguna de Choclococha (mg/L). 27
Tabla 10. Prueba de normalidad. 28
Tabla 11. Concentración de plomo en el agua - Prueba de ANOVA. 28
Tabla 12. Concentración de plomo en el agua según tratamiento - HSD Tukey. 28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*). 12
Figura 2. Lecha de agua (*Pistia stratiotes*). 14
Figura 3. Puntos de muestreo. 20
Figura 4. Mapa de ubicación de la laguna de Choclococha. 22
Figura 5. Diseño de las cubetas de plástico. 22
Figura 6. Esquema del diseño de la experimentación. 26
Figura 7. Porcentaje de remoción de plomo para jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en las repeticiones. 30
Figura 8. Promedio del porcentaje de remoción de plomo con el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*). 30
Figura 9. Porcentaje de remoción de plomo con la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) en las repeticiones. 31
Figura 10. Promedio de porcentaje de remoción de plomo con la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*). 31
Figura 11. Comparacion de porcentajes de eficiencia de *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* 31

RESUMEN

La tesis que lleva por título “Remoción de plomo presente en las aguas de la laguna de Choclococha mediante plantas acuáticas” tuvo como objetivo determinar la eficiencia de remoción de plomo en las aguas de la laguna de Choclococha mediante plantas acuáticas. La remoción del plomo con las plantas acuáticas ha sido en dos tratamientos, T1: tres plantas de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes)* y T2: tres plantas de lechuga de agua *(Pistia stratiotes)*, cada uno con 3 repeticiones, posteriormente pasado los 15 días de tratamiento se tomaron muestras de cada recipiente de agua con concentraciones de plomo, para ser llevados al laboratorio para su respectivo análisis. Como resultado, se obtuvo que las aguas de la laguna de Choclococha superan los valores establecidos con una concentración de plomo de 0.0075 mg/L, según el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) establece un nivel máximo permitido de plomo en el agua de 0.0025 mg/L categoría 4: conservación del ambiente acuático, E1: lago y lagunas; después de los tratamientos, la cantidad de concentración del plomo de la planta jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) fue: 0.0000 mg/L, 0.0010 mg/L y 0.0025 mg/L, y la cantidad de remoción del plomo con lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) el resultado fue: 0.0020 mg/L, 0.0010 mg/L y 0.0010 mg/L, el porcentaje de eficiencia de remoción con *Eichhornia crassipes*, donde en la R1 la remoción fue de 100 %, R2 fue de: 87 % y en el R3 fue de: 67 %, la eficiencia de remoción con la planta *Pistia stratiotes*, donde en la R1 la remoción fue de 73 %, R2 fue de: 87 % , R3 fue de: 87 %, por lo cual posteriormente la concentración del plomo en las aguas de la laguna de Choclococha estuvo por debajo de los estándares de calidad ambiental (ECA), en conclusión se evidencio que Jacinto de agua fue ligeramente superior a la lechuga de agua en la remoción del plomo en las aguas de la laguna de choclococha.

Palabras clave: *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, plomo, laguna, remoción.

ABSTRACT

The thesis entitled “Removal of lead present in the waters of the Choclococha lagoon by means of aquatic plants” had the objective of determining the efficiency of lead removal in the waters of the Choclococha lagoon by means of aquatic plants. Lead removal with aquatic plants was carried out in two treatments, T1: three water hyacinth plants (*Eichhornia crassipes*) and T2: three water lettuce plants (*Pistia stratiotes*), each with three replicates. After 15 days of treatment, samples were taken from each container of water with lead concentrations, to be taken to the laboratory for analysis. As a result, the Choclococha lagoon exceeds the established values with a lead concentration of 0.0075 mg/L, according to the Environmental Quality Standard, which establishes a maximum allowable level of lead in water of 0.0025 mg/L, category 4: conservation of the aquatic environment, E1: lake and lagoons, after the treatments the amount of lead concentration of the water hyacinth plant (*Eichhornia crassipes*) was: 0.0000 mg/L, 0.0010 mg/L and 0.0025 mg/L; and the amount of lead removal with water lettuce (*Pistia stratiotes*) the result was: 0.0020 mg/L, 0.0010 mg/L and 0.0010 mg/L. the percentage of removal efficiency with *Eichhornia crassipes*, where in R1 the removal was 100 %, R2 was: 87 % and in R3 was: 67 %, the removal efficiency with the plant *Pistia stratiotes*, where in R1 the removal was 73 %, R2 was: 87 %, R3 was: 87 %, R3 was: 87 %: 87 %, so subsequently the concentration of lead in the waters of the Choclococha lagoon was below the environmental quality standards (ECA), in conclusion it was evidenced that water hyacinth was slightly above to the water lettuce in the removal of lead in the waters of the lagoon of choclococha.

Keywords: *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, lead, lagoon, removal.

INTRODUCCION

En la actualidad, una problemática mundial es la contaminación de fuentes de agua, la mayor parte de los recursos de la naturaleza como mares, lagunas, ríos se contaminan por diferentes vertimientos más aun por procedimientos de la industria, la mayoría de estos contaminantes son metales pesados con el plomo (Pb).

Estos metales pesados son acumulados en las fuentes de agua, la cual es usada para diferentes actividades de la sociedad, de tal forma los metales pesados ocasionan enfermedades a los seres humanos como al sistema nervioso, enfermedades renales, intoxicaciones y también causan perjuicios al medio ambiente (1).

Debido a estos problemas, se hizo la búsqueda de alternativas económicas y eficaces para tratar el agua. Existen diferentes técnicas de tratamiento del agua contaminada que presenta metales pesados como la biorremediación con vegetales, la remoción es un proceso que estabiliza las sustancias que contaminan el agua. Para estos tratamientos hay diferentes plantas acuáticas, donde estos contaminantes son almacenados en los brotes y raíces de los vegetales, se demostró que esta técnica es rentable para remover metales pesados para la purificación del agua contaminada, este método está basado en las capacidades de los vegetales para expulsar, retener y absorber una significativa cantidad de contaminantes de la fuente de agua, por medio de la acumulación y absorción de contaminantes en sus tejidos.

Las plantas acuáticas se han usado para eliminar una amplia variedad de contaminantes acuáticos, ejemplos de estas plantas son *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) y *Pistia stratiotes* (lechuga de agua) (2).

El presente trabajo investigativo está conformado de cuatro capítulos, de la siguiente manera:

En el capítulo I, “Planteamiento del estudio”, se describe la realidad del problema que se investiga, las finalidades, la importancia y la hipótesis, que es la base del presente trabajo de investigación.

En el capítulo II, “Marco teórico”, se realiza la descripción de las investigaciones realizadas con anterioridad a la investigación a nivel local, nacional e internacional que se utilizaron en la investigación, como también las teorías que facilitaron comprender el estudio.

En el Capítulo III, “Metodología”, se describe el método y alcances del estudio.

En el Capítulo IV, “Resultados y discusión”, se describen los resultados. Al final, se formulan las conclusiones, se realizan las recomendaciones, la bibliografía y anexos.

CAPÍTULO I
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

En el mundo las contaminaciones acuáticas por metales pesados es una problemática ambiental de gran importancia. Los cuerpos acuíferos como lagos, ríos y otros están siendo contaminadas por actividades humanas, procesos de la naturaleza o por las industrias. En países que se están desarrollando, la mayor proporción de los desechos de las industrias se eliminan al agua sin ser tratados, contaminando de esta manera el cuerpo de agua, sin embargo, en los países con más industrias se producen mayores proporciones de contaminantes de mayor peligrosidad que tienen impactos en los sistemas ecológicos deteriorando el suelo, el aire y el agua (3).

La contaminación continua en el agua subterránea, océanos, lagos y ríos ocurre en los lugares donde se descargan sin la apropiada remediación en los sistemas ecológicos acuíferos. Estas sustancias que contaminan afectan a la totalidad de seres vivientes que utilizan esta fuente acuática para desarrollarse fisiológicamente, y no únicamente dañando a los integrantes de su población sino a los integrantes de sus comunidades de seres vivos que se establecen en determinados ecosistemas. La fuente de agua se corrompe por derivados domésticos, industriales y agropecuarios y por sustancias acidas, orgánicas y metales pesados. Así también, la contaminación del agua es ocasionada por la construcción de desvíos y diques perturbando su buen estado (4). De forma natural, estas sustancias químicas son añadidas en los cuerpos de agua por lixiviaciones de suelos, rocas, metales de actividades humanas como minero metalúrgicas, agropecuarias, manufactureras y domésticas (5).

En el territorio peruano, un 31.15 % de los pobladores consumen estas sustancias de alta toxicidad en las aguas que ingieren, esto ocasionado por la problemática principal de las minerías y las industrias que arriesgan la condición saludable de los pobladores actuales y de las que nacerán después (6). La contaminación en nuestro país es una de las problemáticas ambientales con mayor importancia que dañan al país en especial los identificados en el agua que se consume conteniendo arsénico y plomo (7).

La calidad y la distribución del agua están con dependencia del apropiado equilibrio del medio ambiente, el cual se perjudica por las acciones de las empresas extractivas que también perjudica la salud pública y amenaza con incrementar junto con la

transición energética al requerir mayores cantidades de minerales para sus sistemas, agravando la escasez de agua y requerimiento institucional y social con compromisos sociales y ambientales. Son actividades que inevitablemente contaminarán el aire, suelo y agua y dañarán el medio ambiente. Se producen grandes descargas de materiales tóxicos (8).

La contaminación de la laguna de Choclococha, que está situada a 4 605 msnm, es uno de los problemas ecológicos más importantes que tiene la región de Huancavelica. Choclococha tiene un afluente que es la laguna de Orccoccocha, que arrastra pasivos ambientales mineros, así como otros afluentes que contaminan las aguas de la laguna de Choclococha por los restos de actividades mineras (9).

La suma de todas estas problemáticas y el agotamiento del recurso hídrico hace necesario el estudio de la remoción como factor clave para la descontaminación de cuerpos de agua, gracias a que estas tecnologías reducen la concentración de compuestos orgánicos, permitiendo buscar soluciones de bajo costo que sean efectivas y disminuyan los impactos negativos que genera a la población (10).

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

- ¿Cuál es la eficiencia de remoción del plomo en las aguas de la laguna de Choclococha mediante plantas acuáticas?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la cantidad de remoción del plomo de la planta jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en las aguas de la laguna de Choclococha?
- ¿Cuál es la cantidad de remoción del plomo de la planta lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) en las aguas de la laguna de Choclococha?
- ¿Cuál de las 2 plantas acuáticas presenta mayor remoción de plomo de las aguas de la laguna de Choclococha?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Determinar la eficiencia de remoción de plomo en las aguas de la laguna de Choclococha - Huancavelica, 2024 mediante plantas acuáticas.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la cantidad de remoción del plomo de la planta Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en las aguas de la laguna de Choclococha.
- Determinar la cantidad de remoción del plomo de la planta lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) en las aguas de la laguna de Choclococha.
- Evaluar la mayor remoción del plomo en las 2 plantas acuáticas en las aguas de la laguna de Choclococha.

1.3. Justificación de la investigación

1.3.1. Justificación ambiental

Los cuerpos hídricos de los andes se convirtieron en importantes reservas de recursos biológicos acuáticos de las comunidades que se asentaron en los lugares altoandinos (11). En este sentido, los ecosistemas acuáticos son muy importantes para que las especies acuáticas se beneficien y para conservar la diversidad biológica de la misma forma una fuente productora de recursos con más beneficios en la economía que mejoren el estado de vida.

Desde hace pocos años, las actividades de las entidades empresariales dedicadas a las mineras progresivamente contaminaron las aguas de los cuerpos hídricos, las cuales presentan importantes especies para las explotaciones, en ciertos lugares de nuestra región ocasionando muchas veces la muerte de todo ser vivo (12) de los cuales las empresas mineras fueron dejando contaminación de las cuencas, de los ríos y lagunas donde van generando un impacto ambiental tras un manejo inadecuado de estos. De tal manera con los vegetales de jacinto acuático y lechuga acuática se pretenderá remover concentraciones de plomo, así será posible reducir la contaminación de estas sustancias metálicas encontradas en la laguna de Choclococha.

1.3.2. Justificación económica

Hoy en día se aplican nuevas herramientas tecnológicas verdes para disminuir, tener mayor control de los contaminantes metálicos. Hay diferentes metodologías (biológicas, químicas y físicas) para la absorción de sustancias metálicas, la fitorremediación con vegetales acuáticos es una técnica de barata que aumenta la calidad del agua convirtiéndose en una opción viable.

En este trabajo investigativo se realiza la búsqueda del sometimiento de plantas acuáticas como el Jacinto acuático y lechuga acuática, para remover el plomo del

cuerpo acuático de la laguna de Chochoclocha, ya que las macrófitas demostraron su rendimiento para la remoción de sustancias metálicas mediante procesos de retener y acumulativos de sustancias que contaminan en la raíz y el brote. Por esta razón, la fitorremediación es una opción prometedora y una metodología con rentabilidad y de bajo costo.

1.3.3. Justificación teórica

Los resultados obtenidos del presente trabajo investigativo van a aportar conocimientos a las investigaciones de los peligros del medio ambiente provocados por concentraciones de sustancias metálicas como el plomo que se centran en la laguna de Choclococha, donde partiendo de ello habrá la posibilidad de decidir medidas que controlen los peligros del medio ambiente según su probabilidad de ocurrencia y gravedad, todo ello con la finalidad de prevenir los daños a la salud pública, ambiental y socioeconómico.

1.4. Hipótesis y variables

1.4.1. Hipótesis general

H_0: Las plantas acuáticas no son eficientes en la remoción de plomo en las aguas de la laguna de Choclococha.

H_a: Las plantas acuáticas son eficientes en la remoción de plomo en las aguas de la laguna de Choclococha.

1.4.2. Descripción de las variables

- Variable independiente: plantas acuáticas.
- Variable dependiente: concentración de plomo.

Tabla 1. *Operacionalización de las variables*.

Tipo de variables	Definición conceptual	Dimensiones	Indicador	Unidad de medida	Tipo de variables
VI: plantas acuáticas	Las plantas macrófitas son vegetales acuáticos que tienen la característica de asimilar nutrientes, concentrar y remover metales, esto hace de estas plantas especiales, muchas de estas plantas se emplearon para la remoción de sustancias en los efluentes domésticos e industriales, las plantas acuáticas tienen la capacidad de bioabsorber rápidamente los contaminantes, en particular los metales pesados (13).	Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)	Cantidades	Unidad	Cuantitativa
		Lechuga de agua (*Pistia stratiotes*)	Cantidades	Unidad	Cuantitativa
VD: concentración de plomo	Los metales pesados se hallan en el ambiente, naturalmente y como producto de actividades de la población, son transportados por fuentes acuáticas. Su descomposición no es fácil por su alta persistencia en el ambiente.	Concentración de plomo	Cantidad inicial y final de plomo	mg/L	Cuantitativa
		Eficiencia de remoción	% de remoción	%	

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

La investigación titulada “Factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en *Eichhornia crassipes* de la laguna Olmeca en Veracruz” tuvo como objetivo determinar la concentración y los factores de translocación (FT) y concentración biológica (FBC) en los lirios acuáticos que se encuentran en la laguna Olmeca, Veracruz. El método que se usó para los muestreos fue tomado del protocolo de muestreo de otra variedad de vegetales acuáticos en lagos, código: M-L-OFM-2013, el cual se hizo de acuerdo al lago y de macrófitos que se encuentren presentes. Así también, se consideraron otras características de la laguna como: pendiente, perímetro y profundidad. El muestreo se hizo retirando con cuidado los vegetales, con la finalidad de no permitir que la parte aérea y las raíces se dañaran cuando se extrajeran, así como para no causar accidentes abordo. Se obtuvieron en total 40 muestras de vegetales, 10 muestras de tallas adultas por cada punto donde se realizó el muestreo, en tiempo de estiaje, estos vegetales se depositaron en contenedores con hielo y se transportaron al laboratorio de investigación (LIRA) para su correspondiente análisis y conservación. En conclusión, se logró demostrar que el metal predominante en el vegetal fue el plomo (Pb), con una concentración total de 0.021 mg/kg comparando con cadmio (Cd) con una concentración total de 0.005 mg/kg, las hojas fueron los tejidos que acumularon más el Pb de 0.153 mg/kg, sin embargo, la raíz tuvo 0.028 mg/kg para el Cd. Para las aguas superficiales analizadas las concentraciones que se detectaron mostraron ubicarse por debajo de los Límites Máximos Permisibles (LMP) de la NOM-001-SEMARNAT-1996. De igual modo, los factores de FBC y FT en los vegetales eran más altos > 1 indicando su utilización en metodologías de fitorremediación, fitoestabilidad y fitoextracción (14).

La investigación titulada “Revisión de plantas fitorremediadoras con capacidad de remoción de plomo en cuerpos de agua” tuvo como objetivo analizar la literatura acerca de la remoción de Pb en cuerpos acuíferos partiendo de vegetales fitorremediadores con la finalidad de realizar la identificación de limitaciones y beneficios. El estudio hecho en el proyecto es una investigación cualitativa de tipo básica debido a que identifica los procedimientos que estas plantas realizan, para lo cual fueron consideradas 36 especies de vegetales con características de

fitorremediación a nivel del mundo, analizando el porcentaje y tiempo de remoción de cada una de ellas. Para conseguirlo fueron revisados 30 artículos científicos utilizando bases de información como repositorios institucionales, eLibro, Google Scholar, ElSevier, Scielo, Dialnet, ScienceDirect con un tiempo de 2012-2023. Llegando a la conclusión que haciendo un estudio básico se halló que en el país colombiano las especies que presentan más viabilidad para hacer procesos fitorremediativos son *Alternanthera philoxeroides y Chrysopogon zizanioides* debido a que presentan elevados porcentajes de remoción de Pb en un corto tiempo, permitiendo una progresiva disminución de costos relacionados con la financiación y las torna llamativas para implementarse (15).

La investigación titulada "Phytoremediation of chromium and lead using water lettuce (*Pistia stratiotes* L.)" tuvo como objetivo evaluar la remoción de Cr y Pb en cuatro diferentes concentraciones iniciales y determinar los impactos en macrófitos acuáticos. Se usaron cuatro concentraciones de Cr y Pb (20, 15, 10.5 mg/L) en 1 000 mg/L de solución, las muestras fueron analizadas luego de 10 días de proceso remotivo, como dato resultante se logró obtener una reducción del 93 % de Pb y 80 % de Cr luego de 10 días. En conclusión, la *Pistia stratiotes* logra remover mayores concentraciones de Pb que de Cr y tuvo la capacidad dichos metales en las raíces más que en las hojas (16).

La investigación titulada "Bioaccumulation of heavy metals by the aquatic plants *Potamogeton pectinatus* L. and *Potamogeton malaianus* Miq. and their potential use for contamination indicators and in wastewater treatment" tuvo como objetivo determinar la eficacia de la acumulación biológica de metales pesados mediante plantas de agua *Potamogeton malaianus* Miq. *y Potamogeton pectinatus* L. La metodología de investigación fue experimental, porque se usó las microalgas mencionadas para eliminar el cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn), plomo (Pb) y cadmio (Cd). En la presente investigación, los resultados de las dos especies de vegetales muestran una elevada capacidad para la remoción de metales pesados de los ríos. La mayor parte de las concentraciones de metales pesados se encontraron en los brotes de las algas microscópicas y en las hojas, presentando una eficacia de remoción de 70 % de Cu, 67 % de Zn, 86 % de Mn, 79 % de Pb,92 % de Cd, llegando a la conclusión que se logró determinar que estas algas microscópicas tienen la capacidad de remover metales pesados al aplicarse directamente en fuentes de aguas contaminadas (17).

La investigación titulada “Bioadsorción de Pb (II) y Cr (III) usando la planta acuática *Pistia stratiotes*” tuvo como objetivo evaluar la capacidad de la planta de agua *P. stratiotes* para la bioadsorción de Cr y Pb. Se hizo un diseño de flujo semicontinuo en el laboratorio, utilizando una cubeta de 20 litros de volumen y efluentes sintéticos contaminados con cromo (6 y 4 mg/L) y plomo (5 y 1 mg/L), como datos resultantes se logró obtener una reducción de las concentraciones de Cr y Pb, el total de remoción fue 81.1 % y 69.9 % para Cr y 76.8 % y 81.3 % para Pb de los ensayos de forma individual en un tiempo de 15 días, sin embargo, en la mezcla los datos obtenidos fueron 73.4 % para Pb y 77.9 % para Cr, concluyendo que la mayor absorción de metales se logró en el primer día de investigación, especialmente la acumulación se produjo en la raíz de la planta y que este macrófito es una de las alternativas reales para tratar el agua residual contaminada por la explotación de hidrocarburos y minerales (18).

2.1.2. Antecedentes nacionales

La investigación titulada “Eficiencia de fitorremediación con jacinto de agua *(Eichhornia crassipes)* para disminuir concentraciones de metales pesados en aguas residuales municipales del distrito de San José del Alto, provincia de Jaén - Cajamarca” tuvo como objetivo evaluar la eficacia de la fitorremediación de la planta *Eichhornia crassipes* para reducir la concentración de metales pesados (Zn, Pb, Hg, Cu, Cd) en agua residual municipal. Se recogieron dos muestras, una para la caracterización del efluente que se trata y luego de 3 semanas de aplicar la planta como proceso de fitorremediación, con la finalidad de realizar la identificación de las variaciones anteriores y posteriores de concentración a lo tratado. Los resultados muestran que el jacinto acuático tiene la capacidad de remoción de Zn en 92.08 %, Pb 84.87 %, de Hg 95.01 %, Cu de 59.38 % y Cd de un 86.67 %. Se concluye que el jacinto acuático es eficaz para reducir la concentración de sustancias metálicas presentes en el agua residual del lugar, al Zn en 92.08 %, Pb 84.87 %, Hg 95.01 %, Cu 59.38 % y Cd en 86.67 %, siendo una de las alternativas sustentables frente a la contaminación del medio ambiente (19).

La investigación titulada “Eficiencia de macrófitas flotantes en la depuración de aguas contaminadas por plomo y cadmio, Cajamarca - 2021” tuvo como objetivo determinar la eficacia de las macrófitas flotantes en el proceso de depuración del cuerpo acuático contaminado con Cd y Pb. Se realizó un diseño experimental, de carácter analítico, longitudinal, prospectivo, de tipo cuantitativo, la fase de experimentación fueron contenedores de vidrio con un sistema de flujo continuo

que garantizaron los movimientos de la cantidad de agua en las que se introdujeron aguas contaminadas por plomo y cadmio, para la depuración se utilizaron *Lemna minor y Eichhornia crassipes* en tiempos de 25, 15 y 5 días. En conclusión, estos vegetales presentan altas capacidades depurativas de cadmio y plomo, por encima a 70 % en comparación con muestras no tratadas en los que se puede corroborar una depuración del 0 %, con esto se verifica que además entre estos tratamientos no hay una diferenciación estadística significativa en los tratamientos de aguas contaminadas por el Pb distinto al tratamiento de agua contaminada por Cd. Los datos que se obtuvieron indican una depuración de 90 % usando *Lemna minor y de* 82.73 % usando *Eichhornia crassipes.* En la depuración del Pb usando *Eichhornia crassipes* se obtuvieron mejores resultados entre los 5 y 15 días del proceso depurativo, concluyendo que a los 5 días es un tiempo óptimo para la obtención de resultados mejores al 79.09 % (20).

La investigación titulada "Plantas macrófitas (*Eichhornia crassipes y Pistia stratiotes*) como depurador de metales pesados en aguas residuales domésticas" tuvo como objetivo evaluar la eficacia de las macrófitas *Pistia stratiotes y Eichhornia crassipes* para la depuración de metales pesados en agua residual domestica del río Shilcayo, del distrito de La Banda en Perú. Se uso una muestra de 120 litros de aguas residuales y 12 vegetales, en cada uno de los estanques se hizo la implementación de tres tratamientos 15, 10 y 5 días, con un testigo. Los datos obtenidos indican que el tratamiento más efectivo fue el de 15 días, que alcanzó una remoción de arsénico de 96 % con *Eichhornia crassipes* y de 96.33 % con *Pistia stratiotes.* Se llegó a concluir que el tratamiento con *Eichhornia crassipes de* 15 días es más eficaz removiendo el Cd y Pb, llegando a niveles de seguridad de acuerdo a las normas (21).

La investigación titulada **"**Fitorremediación con macrófitas en la remoción de metales pesados en aguas residuales, a nivel de laboratorio, 2021" tuvo como objetivo evaluar la influencia del proceso de fitorremediación de las macrófitas en las remociones de metales pesados en laboratorio. Se realizó un diseño experimental puro, de enfoque cuantitativo e investigación aplicada. La muestra para el presente estudio fueron 1kg de macrófitas de *Azolla filiculoides,* 6 de *Eichhornia crassipes,* 9 de *Pistia stratiotes.* Se analizaron las variaciones morfológicas de cada planta durante todo el tiempo de estudio de 9 días. Se concluye que la planta *Pistia stratiotes* tuvo influencia significativa en el proceso de remoción de metales; para el As se logró obtener un 89.5 % y para el Cd se logró obtener un 94 % de eficiencia en la remoción. *Eichhornia crassipes* tuvo influencia significativa en la remoción

del As con una eficacia de remoción de 84 %, sin embargo, para el Cd fue de 90 %. *Azolla filiculoides* tuvo influencia significativa en remover el As con 74 %. Así también, demostró que fue más eficaz que la *Eichhornia crassipes* en remover el Cd con un 92.7 % de eficacia en la remoción (22).

La investigación titulada "Remoción de plomo y estabilización del pH en el Río Santa - Ticapampa utilizando lenteja (*Lemna minor*) y jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) tuvo como objetivo determinar la remoción de Pb y la estabilidad del pH en el río Santa (Ticapampa), usando el jacinto acuático y las lentejas. Es una investigación de enfoque cuantitativo, tipo experimental. La muestra ha sido parte del río Santa de donde se extrajo agua para la investigación en dos dosis 7 plantas + 50 g de lentejas acuáticas y la otra fue de 14 plantas de jacinto + 100 g/L de lentejas el tiempo de ensayo fue de 7 y 14 días, llegando a la conclusión que el mayor porcentaje de remoción del plomo ocurrió pasada dos semanas con una dosis de 100 g/L de lentejas y 14 vegetales de jacinto, donde se obtuvo una disminución del Pb hasta 0.042 mg/L que al inicio eran de 0.115 mg/L realizando la remoción de un porcentaje de 63.48 % del agua que se encontraba contaminada (23).

2.1.3. Antecedentes locales

La investigación titulada "Contaminación por metales pesados (As, Cd, Co, Cr, Hg, Pb) en sedimentos superficiales de la laguna de Choclococha - Huancavelica" tuvo como objetivo evaluar las concentraciones de metales pesados plomo, mercurio, cromo, cadmio, arsénico en sedimentos de la superficie de la laguna Choclococha del departamento de Huancavelica. Es una investigación de nivel descriptivo, tipo básica, la población la conformó la laguna, de donde se obtuvieron muestras de 5 puntos, para recolectar los datos se utilizó el análisis fisicoquímico. Llegando a la conclusión que los parámetros que se evaluaron son superiores al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua de la cuarta categoría exceptuando al Cr (24).

La investigación titulada "Concentración de metales pesados en sedimentos superficiales de la laguna de Choclococha - Huancavelica" tuvo como objetivo evaluar la concentración de metales pesados As, Cd, Cr, Hg y Pb en los sedimentos de la superficie de la laguna Choclococha. Presenta un diseño descriptivo simple, de nivel descriptivo, tipo de investigación básica, la población estuvo conformada por la laguna y la muestra fue de 5 puntos de muestreo, para recolectar los datos se utilizaron los análisis fisicoquímicos. Se concluye que los parámetros As, Cd, Hg y Pb evaluados superaron los ECA para aguas de la cuarta categoría (25).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Aguas superficiales

Las aguas de la superficie están circulando sobre la superficie de la tierra, valga la redundancia. Son producidas por las escorrentías generadas del afloramiento o precipitación del agua subterránea. Una vez que se produzca, las aguas superficiales siguen los caminos que presentan menos resistencia presentándose de manera correntosa, como por ejemplo en arroyos o ríos, o quietas como en el caso de embalses o lagos. La calidad de los arroyos o ríos presenta variaciones acordes a los caudales estacionales y podría variar significativamente debido a los vertidos y precipitaciones que recibe. Los embalses y lagos tienen, generalmente, menos proporción de partículas sedimentables que un rio, sin embargo, se sujetan a más impactos de actividad de microorganismos (26).

2.2.2. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua D.S. N° 004-2017-MINAM

La presente normativa presenta como finalidad agrupar las disposiciones que se aprueben por medio del Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, D.S. N° 023-2009-MINAM y el D.S. N° 002-2008-MINAM, que aprueban los ECA para agua, sujetándose a lo que se establece en este decreto y el anexo que es una parte del mismo. Esta agrupación normativa cambia y descarta algunas subcategorías, categorías, parámetros y valores de los ECA, manteniendo otros que han sido aprobados por dichos D.S. (27).

En el Art. 3°, Categoría 4, Subcategoría E1: lagos y lagunas, se refieren a las fuentes naturales de aguas lénticas que no tienen corrientes continuas, a esto se incluyen a los humedales. Por esta razón, los ECA buscan el establecimiento de los niveles de concentraciones o grados de parámetros biológicos, físicos y químicos, sustancias, elementos que se encuentren en el cuerpo acuático, en estado de ser el cuerpo que recepciona y ser la parte básica de ecosistemas de agua, que no representan riesgos significativos de la condición de salud de la población ni para el ecosistema.

2.2.3. Jacinto de agua (Eichhornia crassipes)

Eichhornia crassipes es un vegetal acuático, originario de Sudamérica, pertenece a la familia de Pontederiaceae. Presenta numerosas raíces de colores negros, muy largos y apenas presentan tallo, forma un tipo de rizoma del cual salen bombitas de aire, que benefician a su flotación, durante los veranos cuentan con espigas moradas que hacen recordar a jacintos, de allí su nombre.

Esta planta debe encontrarse en pleno sol, sin embargo, en el invierno debe ser protegida de las heladas temperaturas en la cual debe aproximarse a 20 y 30°C. También se reproducen de manera fácil por espolones que se extraen de la planta madre (28).

Figura 1. Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).
Fuente: Robles (29).

Tabla 2. *Características de Eichhornia crassipes*.

Características	**Descripción**
Tipo	Macrófita flotante.
Visualización	Una porción del vegetal es aérea y la otra porción bajo agua.
Características	Descripción: Reino: Plantae. División: Magnoliophyta. Clase: Liliopsida. Orden: Commelinales. Familia: Pontederiaceae. Género: *Eichhornia*. Especie: *Eichhornia Crassipes* Nombre Común: Flor de bora, lirio acuático o Jacinto de agua, entre otros.
Órganos de la planta	Según Solms, (s.f.) menciona que esta macrófita: de tallo de manera horizontal (rizoma) largo une a distintos individuos, la hoja forma una roseta basal, con el pecíolo globoso y corto, de flor grande de coloración lila, con variación de azul a morado, los frutos son unas capsulas elípticas y de semilla numerosa, la raíz es fibrosa y coloreada.

Fuente: Solms (30).

2.2.4. Laguna

Son masas acuáticas que se parecen a lagos, su existir se le puede atribuir a cualquiera de las fuentes patrones de tamaño o drenaje. Son mantenidas en gran parte sin alteraciones y son un poco inestables, con diferenciaciones en los niveles

de aguas, podrían ser permanentes o temporales, con dependencia de los regímenes pluviales. Son depósitos con profundidades medias menores a los ocho metros y con estructura cóncava. Estas profundidades tienden a ocasionar una turbidez que provoca menos transparencia del agua comparándolo con un lago el cual comúnmente presenta un color pardo por presentar material orgánico, por el desarrollo de algas y por la existencia de sólidos suspendidos (31).

2.2.5. Vías de entrada y origen de los metales pesados en los sistemas acuáticos

Los metales presentan tres principales vías para ingresar al cuerpo acuático:

a) Atmosférica, ocurre por causa de que las partículas que se emiten al ambiente atmosférico se sedimentan mediante procesos antropogénicos o naturales (mayormente por fundiciones de metales y por combustión de los combustibles fósiles).

b) Terrestre, ocasionado por procesos de filtración de los vertidos, de las escorrentías superficiales de suelos contaminados (precipitaciones de la atmósfera, lixiviaciones de residuos en estado sólido, uso de lodos para abonar, minas, etc.) y otras causas de forma natural.

c) La vía directa, es ocasionada por vertidos de forma directa de agua residual y urbana a cauces fluviales.

Los cuerpos de aguas continentales (embalses, lagos, ríos, etc.) los metales pesados se introducen como consecuencia de acciones antropogénicas y procesos de la naturaleza (32).

2.2.6. Lechuga de agua (*Pistia stratiotes*)

Pistia stratiotes es un vegetal que presenta muchas raíces, acaule, flotante. Las hojas alcanzan los 6 centímetros de ancho y 15 centímetros de largo, sésiles, a veces un poco escotado, truncado, ápice redondeado, obovadas, reticuladas, con tejido esponjoso, pubescentes, de color verde grisáceo y arrosetadas. Son rodeadas por espatas y presentan inflorescencia femenina y masculina en ejes cortos. Las inflorescencias masculinas presentan una única flor con un par de estambres los que se unen en la mayor porción longitudinal y anteras con dos lóculos. En sus inflorescencias femeninas el estigma presenta cilios y es capitado, el estilo es de forma sub cónica, el ovario presenta muchos óvulos, unicarpelar, reticulado-venoso y es elipsoide. Los frutos presentan muchas semillas elipsoides, rugosas, blancas, los frutos están envueltos por una delicada envoltura, de color verdoso, miden 1 cm

de diámetro, son globosos. Su desarrollo ocurre en espacios con mucha iluminación si la planta es mantenida en invernaderos o acuarios. No logra soportar inviernos muy intensos. La mínima temperatura para que se desarrolle es de 15°C, siendo la óptima entre los 22 a 30°C. Se reproduce rápidamente, estas plantas expulsan su semilla a los fondos acuáticos (tierra) en un lapso de 2 semanas, los nuevos vegetales ascienden a la superficie multiplicándose numerosamente (33).

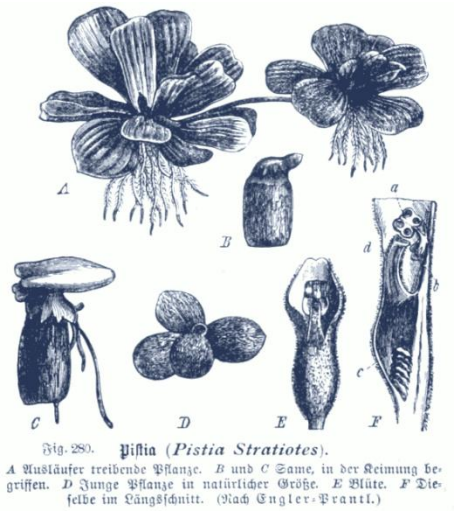


Fig. 280. Pistia (*Pistia Stratiotes*).
A Ausläufer treibende Pflanze. B und C Same, in der Keimung begriffen. D Junge Pflanze in natürlicher Größe. E Blüte. F Dieselbe im Längsschnitt. (Nach Engler-Prantl.)

Figura 2. Lecha de agua (*Pistia stratiotes*).
Fuente: Schumann y Gilg (34).

Tabla 3. *Características de Pistia stratiotes*.

Características	**Descripción**
Tipo	Macrófita flotante.
Visualización	Una parte de la macrófita es aérea y la otra partes debajo del agua.
Características	Descripción:
Clasificación taxonómica	Reino: Plantae. División: Magnoliophyta. Clase: Liliopsida. Orden: Alismatoles. Familia: Araceae. Género: Pistia L. Especie: *P. stratiotes* Nombre Común: lechuga de agua o repollo de agua

Fuente: Schumann y Gilg (34).

2.2.7. Plomo (Pb)

Es un metal de coloración grisácea, maleable y blando, su representación es con el símbolo Pb, es encontrado naturalmente en la corteza de la Tierra, es un catión con dos valencias que se agrupa fuertemente con los sulfhidrilos de las biomoléculas

proteínicas, a causa de su utilización generalizada, a ocurrido un incremento de gran significancia de la contaminación del medio ambiente y, consecuentemente, un aumento importante en sus exposiciones a las poblaciones ocasionando graves problemáticas a la salud de la población. Entre las fuentes principales de contaminación del medio ambiente se hallan las explotaciones mineras, metalúrgicas y otras actividades (35).

2.2.8. Plantas acuáticas

Los vegetales de agua forman la flora que se desarrolla en los humedales, en especial en aguas dulces, constituyéndose en el inicio del eslabón de diferentes cadenas alimenticias y siendo de utilidad como anidamiento, alimentación, refugio de muchos animales, en especial de aves. No son algas ya que son pertenecientes al reino vegetal y presentan hojas, tallo y raíces como cuerpo vegetativo y como cuerpo reproductivo presentan semillas, frutos y flores. Son vegetales superiores con flores, que eligieron como espacio para vivir los humedales (36).

2.2.9. Remoción de metales pesados

La adsorción biológica, o remoción, es una de las alternativas que llama la atención en el proceso de remoción de metales en el efluente municipal o industrial, debido a que es una tecnología que hace posible no solo su remoción, sino que permite también, tratar los desperdicios de la agricultura que anteriormente no eran útiles, así también, estas materias biológicas de adsorción tienen bajos costos y se pueden adquirir fácilmente (37).

2.2.10. Tratamiento de aguas

Tratar el agua implica realizar diversas operaciones y procesos biológicos, químicos y físicos con la finalidad de extraer los contaminantes del agua y lograr que presente una apropiada calidad para reutilizarlas o para su disposición final. Para conseguir esto, se realizan diversas etapas de tratamiento donde están incluidos tratamientos terciarios, secundarios y primarios (38).

2.2.11. Fitorremediación acuática

Es la utilización de vegetales acuáticos u plantas que flotan para recuperar el cuerpo de agua contaminado, en este proceso se implican la acumulación biológica y la biosorción de partículas que contaminan biológicamente disponibles y solubles en el ambiente acuático. En los procesos fitorremediativos del agua, Los vegetales que

flotan acumulan o absorben las partículas contaminantes en su raíz, sin embargo, los vegetales sumergidos los acumulan en todas sus estructuras (39).

2.2.12. Tipos de fitorremediación

Existen diferentes tipos de fitorremediación (40), que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4. *Tipos de fitorremediación*.

Tipo	Proceso involucrado	Contaminación tratada
Fitoextración	Los vegetales se utilizan para agrupar metales en sus raíces y hojas.	Zinc (Zn), selenio (Se), plomo (Pb), mercurio (Hg), níquel (Ni), cromo (Cr), cobalto (Co), cadmio (Cd).
Rizofiltración	La raíz del vegetal es utilizada para concentrar, precipitar y absorber metales pesados partiendo de efluentes que se encuentran contaminados y en la degradación de componentes orgánicos.	Zinc (Zn), selenio (Se), plomo (Pb), mercurio (Hg), níquel (Ni), cromo (Cr), cobalto (Co), cadmio (Cd), compuestos fenólicos, radioactivos, isotopos.
Fitoestabilización	Los vegetales que toleran metales son utilizados para disminuir la movilidad de estos metales y no permitir que pasen al aire o napas subterráneas.	Lagunas de desperdicios de yacimientos de la minería, compuestos con cloro y repuesto para fenólicos.
Fitoestimulación	Son utilizados para el exudado radicular para la promoción del crecimiento de hongos y bacterias degradativas.	Hidrocarburos que se derivan del petróleo, atrazina, tolueno, benceno, poliaromáticos, etc.
Fitovolatilización	Los vegetales modifican y captan compuestos orgánicos o metales pesados los que son liberados a la atmósfera por el proceso de transpiración.	Solventes con cloro (triclorometano y tetraclorometano), selenio, mercurio.
Fitodegradación	Los vegetales terrestres y acuáticos degradan, almacenan, captan materia orgánica para obtener subproductos no tóxicos o con menos toxicidad	Municiones (nitrotolueno, nitrobenceno, RDX, DNT, TNT), nitrilos, fenoles, pesticidas fosfatados, DDT, solventes clorados, atrazina.

Fuente: Jaramillo y Flores (41).

2.2.13. Fases de fitorremediación

La remediación con vegetales del cuerpo acuático o del suelo comúnmente utiliza los vegetales con capacidad de captura de contaminantes de la raíz y trasladarlos a las hojas y los tallos para su eliminación por medio de métodos remediadores vegetales, esto se compone de 3 procesos: absorción de contaminantes, excreciones de contaminantes y desintoxicaciones de partículas que contaminan (42).

2.2.13.1. Absorción

Este proceso se lleva a cabo mediante raíces y hojas por medio de las aberturas estomáticas y la parte cuticular de la epidermis, no obstante, la adsorción sucede en la epidermis radical, esto es dependiente de la temperatura y del pH (42).

2.2.13.2. Excreción

Los contaminantes son absorbidos por la raíz, son evaporados mediante las hojas. A proporciones muy elevadas de sustancias impuras menores al 5 % son excretadas sin cambios químicos (42).

2.2.13.3. Desintoxicación de contaminantes

El proceso de desintoxicar las sustancias que contaminan de naturaleza orgánica se produce por medio de la mineralización. Mientras que para los de naturaleza inorgánica se usan la incineración de forma controlada, pero las cenizas se encapsulan, esto se debe a que los contaminantes podrían volatilizarse al ambiente atmosférico (42).

2.2.14. Clasificación de las plantas usadas en la fitorremediación

- Emergentes: la parte radicular de las macrófitas se sumergen y sepultan en los sedimentos y la parte foliar, brote son elevadas por la superficie de las aguas (43).
- Sumergidas: las macrófitas crecen debajo de la superficie acuática. Sus órganos de reproducción permanecen o brotan superficialmente del cuerpo de agua (43).
- Flotantes: se clasifican en dos grupos:
  - Plantas que flotan libremente (no fijas): los tallos y parte foliar de los macrófitos presentan crecimiento por encima de la parte superficial del agua y su raíz no se encuentran en otro sustrato o sedimento (43).
  - Plantas con flotación de hojas (fijas): la parte foliar son flotantes en las superficies de los cuerpos acuáticos, pero sus raíces se establecen en sustratos o sedimentos (43).

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA

3.1. Método, tipo y nivel de investigación

3.1.1. Método de la investigación

El estudio fue desarrollado mediante el método científico, buscando verificar a lo largo del trayecto del conocimiento de la ciencia de qué forma verifica y dirige las acciones científicas y las conclusiones con la finalidad de obtener teorías que se aprendan (44).

3.1.2. Tipo de investigación

El trabajo investigativo es de tipo aplicada, debido a que se busca solucionar problemas (45) dado que se utilizará como una opción innovadora para tratar aguas superficiales, debido a que utilizando vegetales acuáticos se removerá el plomo que presentan las aguas de la laguna Choclococha con el objetivo de cumplir con los límites máximos permisibles; la presente investigación apoyará en la consolidación problemas de sustentabilidad y económicos.

3.1.3. Nivel de investigación

Este trabajo investigativo es de un nivel explicativo, porque tiene la pretensión de dar una explicación a un fenómeno con poca información del lugar que se relaciona con acciones específicas con el medio ambiente, para poner en conocimiento la relación entre variables (concentración de plomo, lechuga acuática y jacinto acuático) mediante pruebas que se realizaron en el campo y en el laboratorio (45).

3.2. Diseño de la investigación

Este trabajo investigativo presenta un diseño experimental (45). Conformada por dos tratamientos, el primero fue con lechuga acuática con 2 vegetales grandes y 1 mediano, el otro tratamiento fue con el jacinto acuático con 2 vegetales grandes y 1 mediano, se realizaron tres repeticiones por tratamiento y un grupo control, lográndose obtener 6 unidades de experimentación que se establecieron como experimentos puros.

3.2.1. Tipo de diseño de investigación

Este trabajo investigativo tiene un diseño de experimento puro (con pre prueba y post prueba) (45), donde los componentes fueron aleatorizados de tal forma que un grupo ha recibido el tratamiento experimental, sin embargo, en la otra agrupación fue el grupo control en un tiempo de 15 días.

E, T	G_1	X_1	O_2
E, T	G_2	X_2	O_2
E, T	G_3	---	O_3

Donde:

*E: muestra al azar del volumen de agua.

*X1: intervención experimental con jacinto acuático (*Eichhornia crassipes*).

*X2: intervención experimental con lechuga acuática (*Pistia stratiotes*).

*G1: pre prueba de aguas de la laguna de Choclococha.

*O1: post prueba de aguas de la laguna de Choclococha.

*T: tiempo (15 días).

*---: muestra control.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población está conformada por la laguna de Choclococha que se encuentra ubicada en el distrito de Santa Ana en el departamento de Huancavelica.

3.3.2. Muestra

La muestra fue probabilística, de muestreo integrado, que estuvo con formada por 121 litros de agua. Se realizaron dos tratamientos de tres repeticiones de 20 litros de agua. Se tomó 1 litro de agua por repetición para ser analizadas en el laboratorio, con vegetales acuáticos (*Pistia stratiotes*) y (*Eichhornia crassipes*) para el plomo.

Las muestras se tomaron según el protocolo nacional para monitorear la calidad de los cuerpos hídricos superficiales, se tomaron muestras en 7 puntos indicados.

Tabla 5. *Puntos de muestreo de la laguna de Choclococha*.

Puntos de muestreo	Zona	Coordenadas Este	Coordenadas Norte
N° 1	18 L	493201.41	8545285.43
N° 2	18 L	493066.30	8545168.51
N° 3	18 L	492855.78	8545171.43
N° 4	18 L	491834.78	8540291.92
N° 5	18 L	490677.3	8539176.38
N° 6	18 L	490855.13	8538879.98
N° 7	18 L	490713.08	8538487.5

Figura 3. Puntos de muestreo.

Fuente: Google Earth.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas

El procedimiento que se empleó en este trabajo investigativo ha sido el observacional y el método establecido en el Protocolo Nacional para Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, propuesto por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) (46), donde se dispusieron los criterios de muestreo de agua, la forma de rotular, la manera de preservar la muestra. Después la muestra fue trasladada al laboratorio del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) fundo Santa Ana donde se analizaron las muestras.

Planificación del monitoreo:

- Pre monitoreo: se identificaron los puntos de recolección de datos, se realizó la recopilación de los puntos de recolección de datos, los parámetros que se recomiendan a analizar y se prepararon los materiales y equipos que se utilizaron.
- Monitoreo: se reconoció el campo, el etiquetado y rotulado de muestras, se georreferenciaron los puntos de recolección de datos, se midieron los parámetros en el lugar, las tomas y preservación de las muestras, se llenó la cadena de custodia y se transportaron las muestras poniendo en seguridad su calidad.
- Post monitoreo: se analizaron las muestras en el laboratorio, se procesaron los datos obtenidos y se elaboró el informe técnico de monitoreo (46).

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

- Se utilizó una libreta de campo, un GPS para la ubicación exacta de las coordenadas del punto de extracción y la cadena de custodia para el laboratorio.
- Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales.

3.5. Proceso metodológico

Etapa 1: Identificación de la zona de estudio.

Este trabajo investigativo se llevó a cabo en la laguna de Choclococha del distrito de Santa Ana y Pilpichaca, provincia de Castrovirreyna y Huaytará del departamento de Huancavelica. Se realizó la identificación del lugar por presentar metales pesados que en la actualidad afectan los cuerpos hídricos, tornando a los metales pesados un peligro para la cuenca de Pampas y la condición de salud de los pobladores que habitan en el lugar, así como para producir truchas. Para la determinación de la ubicación se usó el GPS y para las coordenadas de los puntos de muestreo el UTM y el sistema geodésico WGS 84.

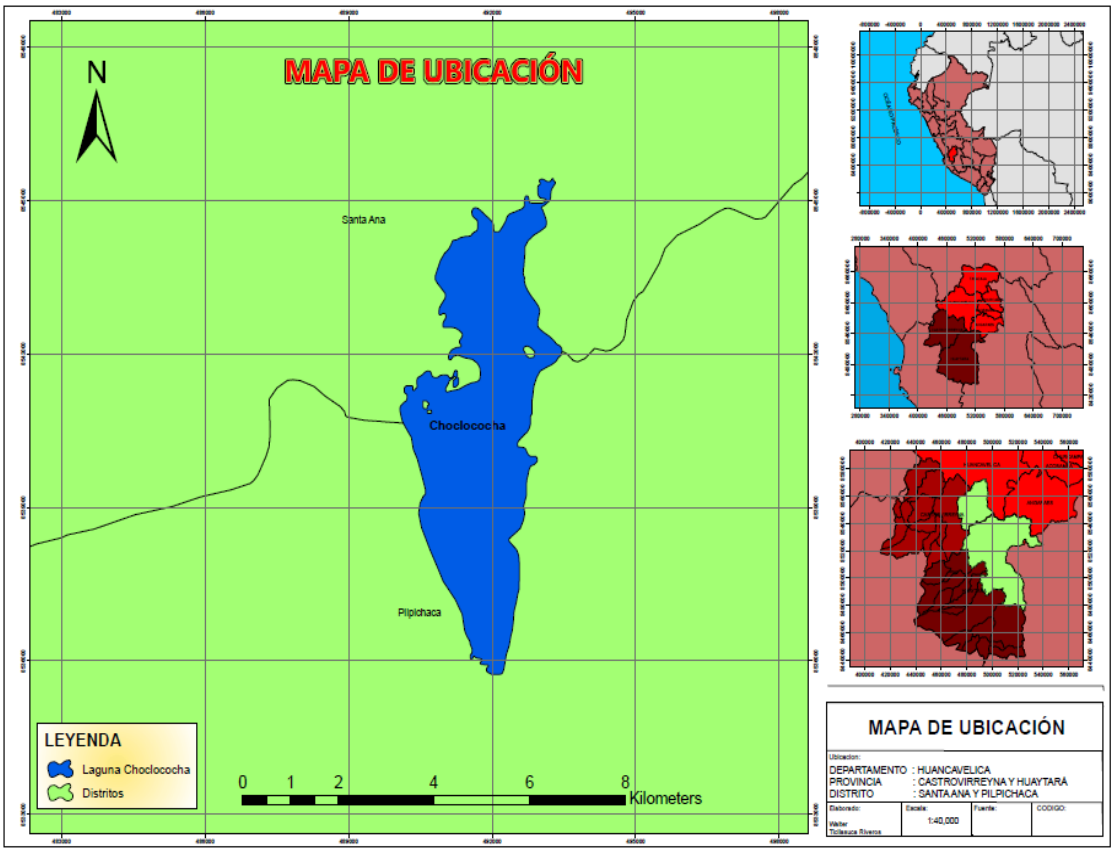


Figura 4. Mapa de ubicación de la laguna de Choclococha.

Fuente: elaboración propia con ArcGIS.

Etapa 2: Campo.

Se compraron 6 cubetas de plásticos transparentes para el tratamiento de las aguas superficiales con una capacidad de 20 litros. Las medidas de la cubeta fueron 40 cm de largo, 26.5 cm inferior y 30 cm superior.

Figura 5. Diseño de las cubetas de plástico.

Tabla 6. *Medidas de jacinto de agua (Eichhornia crassipes).*

Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)	
Descripción	Se compraron plantas de jacinto de agua de tamaños grandes y medianos, que fueron adquiridas en el vivero de la ciudad de Huancayo.
Tamaño	20.5 cm
Tamaño	17.3 cm

Tabla 7. *Medidas de la lechuga de agua (Pistia stratiotes).*

Lechuga de agua *(Pistia stratiotes)*	
Descripción	Se compraron plantas de lechuga de agua de tamaños grandes y medianos, que fueron adquiridas en el vivero de la ciudad de Huancayo, donde se realizó en base a una selección de los mejores macrófitos.
Tamaño	14.7 cm
Tamaño	12.2 cm

- Pre monitoreo:
    - Se hizo la determinación del monitoreo y los tipos de muestra, también la ubicación de los puntos de muestreo.
    - Se garantizó la seguridad sobre el terreno realizando las medidas adecuadas y usando los equipos de protección.
- Monitoreo:
    - Se realizaron los reconocimientos de los entornos de la laguna, después se identificó el lugar de muestreo con la finalidad de obtener las ubicaciones exactas. Las coordenadas de los puntos de monitoreo fueron registradas en coordenadas UTM y el sistema geográfico en estándares geodésicos WGS 84.
    - Los procedimientos para recolectar las muestras acuáticas se hicieron con el protocolo y Decreto Supremo mencionados anteriormente.
- Toma de muestra:
    - Paso 1: se realizaron las tomas de muestras en la laguna de Choclococha, siguiendo el Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales en el marco del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. El tipo de muestreo utilizado fue probabilístico, el cual permite conocer el grado de contaminación que tiene el agua.
    - Paso 2: se procedió a recolectar 20 L de agua en cada punto de muestreo en los 7 puntos de la laguna a una distancia de 200 metros de desemboque de aguas superficiales en diferentes direcciones en paralelo, tomando en cuenta la barrera de protección (guantes estériles, cofia, mandil y botas) para evitar contaminarse o contaminar la muestra.
    - Paso 3: posteriormente, se procedió a homogenizar las muestras recolectadas de los 7 puntos, donde se dividieron en 2 muestras con 3 repeticiones, cada muestra de 20 litros de agua en 6 cubetas de plástico.
    - Paso 4: finalmente se envió un 1 L de agua al laboratorio para determinar los métales pesados en mayor proporción en la laguna de Choclococha para su análisis respectivo para posteriormente de acuerdo a los resultados, dar un tratamiento adecuado mediante el uso de las plantas acuáticas.

Etapa 3: Procesos en el tratamiento.

Para el experimento se consideró:

- El tiempo: este parámetro se determinó tomando en cuenta el estudio realizado por Aquino (20) quien llega a concluir que al quinto día es un tiempo óptimo para la obtención de resultados mejores, donde se obtuvo un 79.09 %, eso indicaría que, a más tiempo de residencia, la absorción del contaminante será mayor, por esta razón se determinó un tiempo de 15 días para el tratamiento.

- Cantidad de plantas acuáticas: se determinó por distintas revisiones de bibliografía, donde usaron distintas unidades de masa, por esta razón a criterio personal fueron elegidas 3 unidades de macrófitas en nuestra investigación para determinar la capacidad de remoción del plomo luego de 15 días de ser tratadas con la lechuga de agua y el jacinto de agua.

- Cantidad de agua: las cantidades de agua que se utilizaron se tomaron con referencia a la investigación de Meza *et al.* (18) debido a que hizo un diseño de flujo semi continuo en el laboratorio usando 20 litros de volumen, por esta razón se tomó la cantidad de volumen.

Tratamientos:

- Tratamiento N° 1: jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*):

    1. Se utilizaron 3 cubetas con capacidad de 20 litros de agua de la laguna Choclococha.
    2. Se colocaron 3 plantas, 2 de tamaño grande y una mediana de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en las cubetas de agua a tratar.
    3. Se dejó reposar las macrófitas de jacinto de agua por un tiempo de 15 días en un ambiente adecuado y en condiciones perfectas.
    4. Pasados los 15 días, se procedió a recolectar un 1 L de agua tratada con jacinto de agua para posteriormente llevarlo al laboratorio para su respectiva medición.

- Tratamiento N° 2: lechuga de agua (*Pistia stratiotes*):

    1. Se utilizaron 3 cubetas con capacidad de 20 litros de agua de la laguna Choclococha.
    2. Se colocaron 3 plantas, 2 de tamaño grande y 1 mediana de lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) en las cubetas de agua a tratar.
    3. Se dejó reposar las macrófitas de lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) por un tiempo de 15 días en un ambiente adecuado y en condiciones perfectas.
    4. Pasados los 15 días, se procedió a recolectar un 1 L de agua tratada con lechuga de agua para posteriormente llevarlo al laboratorio para su respectiva medición.

Etapa 4: Laboratorio.

Las muestras tomadas fueron analizadas y procesadas en el laboratorio LABSAF - Santa Ana INIA donde se llevaron las muestras de agua tomadas antes y después del tratamiento con las plantas acuáticas.

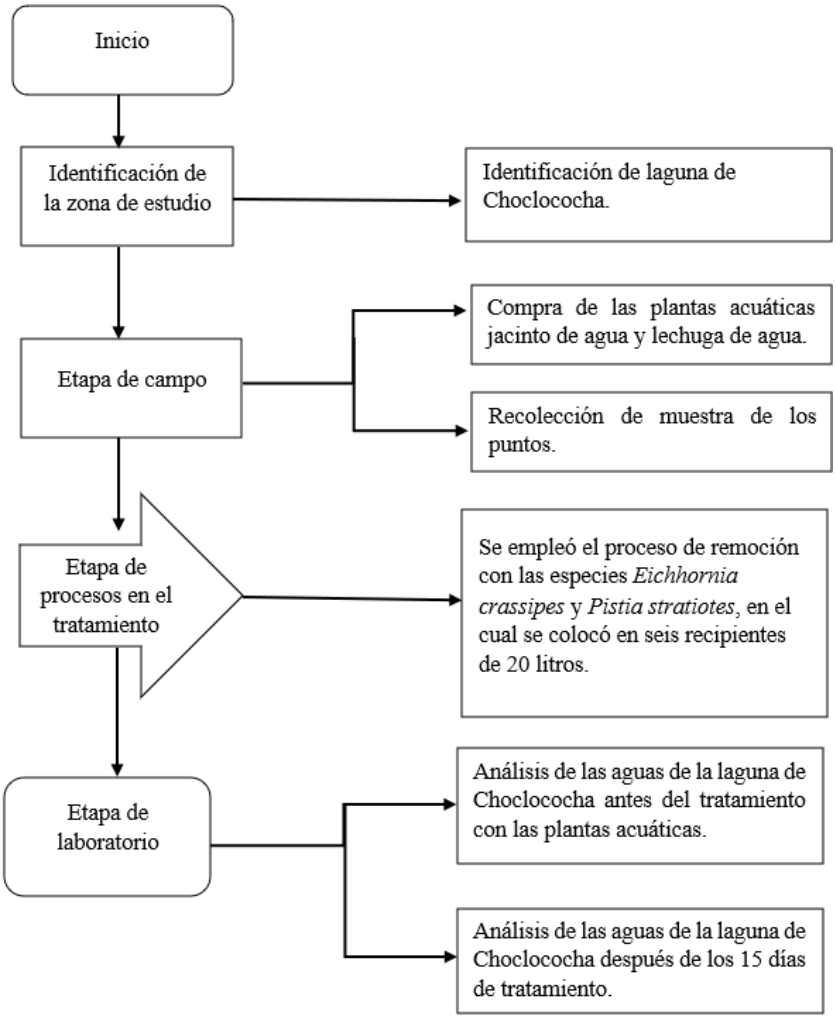


Figura 6. Esquema del diseño de la experimentación.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de la investigación

4.1.1. Resultados de la concentración de plomo en aguas de la laguna de Choclococha

La siguiente tabla muestra la proporción de plomo que presentan las aguas de la laguna de Choclococha.

Tabla 8. *Resultados de concentración de plomo en la laguna de Choclococha antes del tratamiento (mg/L)*.

Contenido de Pb en las aguas de la laguna de Choclococha	
Concentración inicial	Parámetro ECA
0.0075	0.0025

En la tabla 8 se observa la cantidad inicial del plomo (Pb) con antelación de someterse al tratamiento: 0.0075 mg/L sobrepasando lo indicado en el ECA de agua D.S. 004-2017-MINAM, categoría 4: conservaciones de los entornos acuáticos, E1: lago y lagunas, valor que es 0.0025 mg/L.

4.1.2. Resultados de la concentración de plomo después del tratamiento en las aguas de la laguna de Choclococha

La siguiente tabla muestra la cantidad de plomo que tienen las aguas de la laguna de Choclococha después del tratamiento con las plantas acuáticas.

Tabla 9. *Resultados de concentración de plomo en la laguna de Choclococha (mg/L)*.

Tratamiento Plantas acuáticas	**Concentración de Pb en las aguas de la laguna de Choclococha**			
	Repeticiones			ECA
	I	II	III	
Control	0.0075	0.0075	0.0075	0.0025
T1 - *(Eichhornia crassipes*)	0.0000	0.0010	0.0025	0.0025
T2 - (*Pistia stratiotes*)	0.0020	0.0010	0.0010	0.0025

Fuente: laboratorio LABSAF INIA.

En la tabla 9 se observan los resultados posteriores a los 15 días de ensayo experimental con los vegetales acuáticos: la concentración de Pb en *Eichhornia crassipes* fue: 0.0000 mg/L, 0.0010 mg/L y 0.0025 mg/L, y la cantidad de remoción de Pb con *Pistia stratiotes* fue: 0.0020 mg/L, 0.0010 mg/L y 0.0010 mg/L correspondiente a cada repeticion.

Por lo cual, se muestra que los datos obtenidos de la cantidad del plomo (Pb) disminuye con las plantas acuáticas, tal como se observa con el T1 con jacinto acuático (*Eichhornia crassipes*) *y* T2 con lechuga acuática *(Pistia stratiotes*).

Tabla 10. *Prueba de normalidad*.

	Shapiro-Wilk Estadístico	**gl**	**Sig.**
Concentración de Pb en las aguas	0.940	9	0.6942

Nota: gl = grados de libertad; Sig. = significancia.

En tabla 10 se muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk aplicada a la cantidad de Pb en las aguas, que mostró un estadístico de 0.940 con 9 grados de libertad y una significancia (Sig.) de 0.6942. El valor de significancia, al ser considerablemente mayor que el umbral comúnmente utilizado de 0.05, indica que se acepta la hipótesis nula de normalidad. Esto recomienda que los datos que se obtuvieron no se desvían significativamente con relación a una distribución de normalidad, por lo tanto, es posible asumir que las distribuciones de la cantidad de Pb en las aguas son normales, lo cual es fundamental para la aplicación de técnicas estadísticas paramétricas del análisis de varianza (ANOVA).

Tabla 11. *Concentración de plomo en el agua - Prueba de ANOVA*.

	Suma de cuadrados	**gl**	**Media cuadrática**	**F**	**Sig.**
Entre grupos	0.000	2	0.000	61.174	0.0001
Dentro de grupos	0.000	6	0.000		
Total	0.000	8			

La tabla 11 presenta los resultados del análisis de varianza para comparar la cantidad de plomo en el agua entre diferentes grupos o tratamientos. El valor F obtenido es 67.174, con una significancia (Sig.) de 0.000, lo que demuestra que existen diferencias significativas en las concentraciones de plomo entre los grupos. Esto sugiere que al menos uno de los tratamientos tiene un efecto distinto sobre la cantidad de plomo (Pb) en la fuente acuática en comparación con los demás.

Tabla 12. *Concentración de plomo en el agua según tratamiento - HSD Tukey*.

Tratamiento	**N**	**Subconjunto para alfa = 0.05**	
		1	2
Planta jacinto de agua (T1)	3	0.001167	
Lechuga de agua (T2)	3	0.00133	
Control	3		0.0075000
Sig.		0.965	1.000

La tabla 12 muestra los resultados de la prueba post-hoc de Tukey (HSD) para determinar qué tratamientos difieren significativamente entre sí en términos de la concentración de plomo en el agua. Se observa que el tratamiento con jacinto acuático (T1) y lechuga acuática (T2) forman un subconjunto homogéneo, lo que indica que no hay diferencias significativas entre ellos en cuanto a la concentración de plomo. Por otro lado, el grupo de control se encuentra en un subconjunto diferente, lo que sugiere que tiene una concentración de plomo significativamente mayor en comparación con los tratamientos T1 y T2.

Es importante destacar que el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) establece una cantidad máxima que se permite de plomo en el agua de 0.0025 mg/L. Al comparar los datos de la cantidad de plomo obtenidos en cada tratamiento, se observa que tanto el tratamiento con jacinto de agua (0.001167) como el tratamiento con lechuga de agua (0.00133) presentan concentraciones por debajo del límite máximo permitido, mientras que el grupo de control (0.0075000) supera este límite.

4.1.3. Porcentaje de remoción de plomo en las aguas de la laguna de Choclococha

Se usó la fórmula para la obtención de la proporción de actividad remotiva del plomo en las aguas de la laguna de Choclococha.

$$\%\ \text{de eficiencia} = \frac{\text{concentracion } (C_i) - \textit{concentracion } (C_f)}{\text{concnentracion } (C_i)} \times 100$$

Porcentaje de actividad remotiva de plomo para jacinto acuático (*Eichhornia crassipes*):

Repetición 1:

$$\%\ \text{de eficiencia} = \frac{0.0075 - 0.0000}{0.0075} \times 100 = 100\ \%$$

Repetición 2:

$$\%\ \text{de eficiencia} = \frac{0.0075 - 0.0010}{0.0075} \times 100 = 87\ \%$$

Repetición 3:

$$\%\ \text{de eficiencia} = \frac{0.0075 - 0.0025}{0.0075} \times 100 = 67\ \%$$

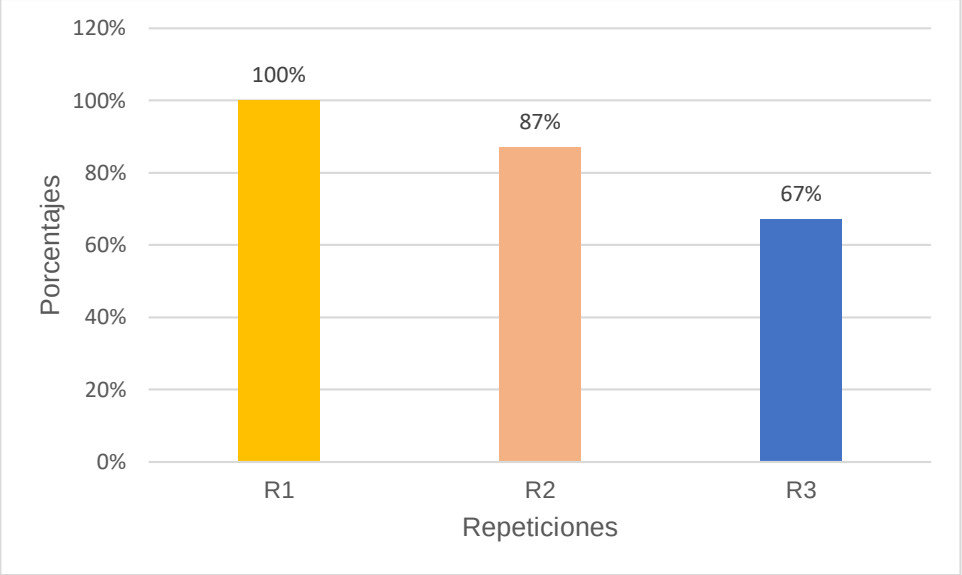


Figura 7. Porcentaje de remoción de plomo para jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en las repeticiones.

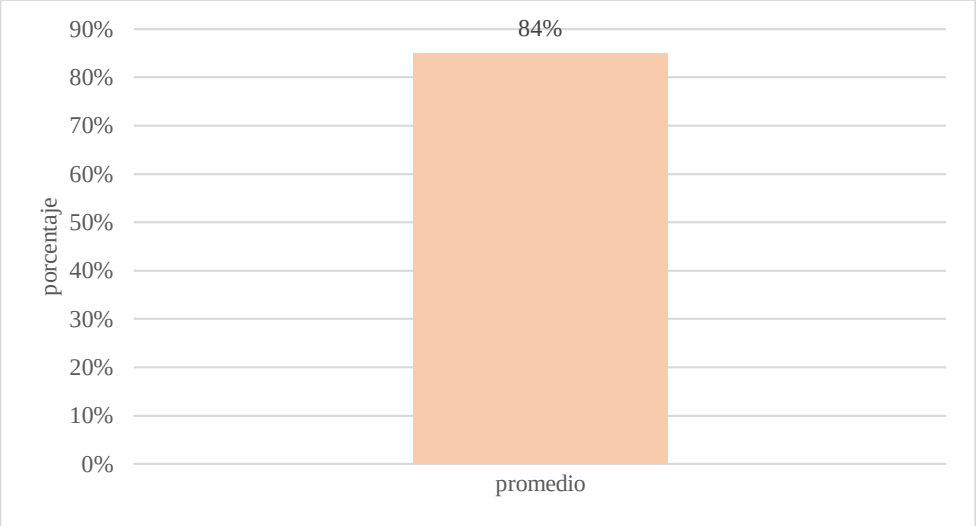


Figura 8. Promedio del porcentaje de remoción de plomo con el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

Como se observa en la figura 7, la remoción del plomo se dio con la misma agua de la laguna de Choclococha con tres plantas, dos plantas grandes y uno de tamaño mediano. La cantidad de plantas fue la misma para las tres repeticiones donde pasado los 15 días de ser tratadas con la planta jacinto acuático, la eficiencia en la R1 la remoción fue de 100 %, R2 fue de 87 % y R3 fue de 67 %. Como se observa en la figura 8, el promedio es de 84 % de actividad remot

iva de plomo en las aguas de la laguna de Choclococha.

Cantidad removida de plomo para lechuga acuática (*Pistia stratiotes*):

Repetición 1:

$$\% \text{ de eficiencia} = \frac{0.0075 - 0.0020}{0.0075} \text{ x } 100 = 73\ \%$$

Repetición 2:

$$\% \text{ de eficiencia} = \frac{0.0075 - 0.0010}{0.0075} \text{ x } 100 = 87\ \%$$

Repetición 3:

$$\% \text{ de eficiencia} = \frac{0.0075 - 0.0010}{0.0075} \text{ x } 100 = 87\ \%$$

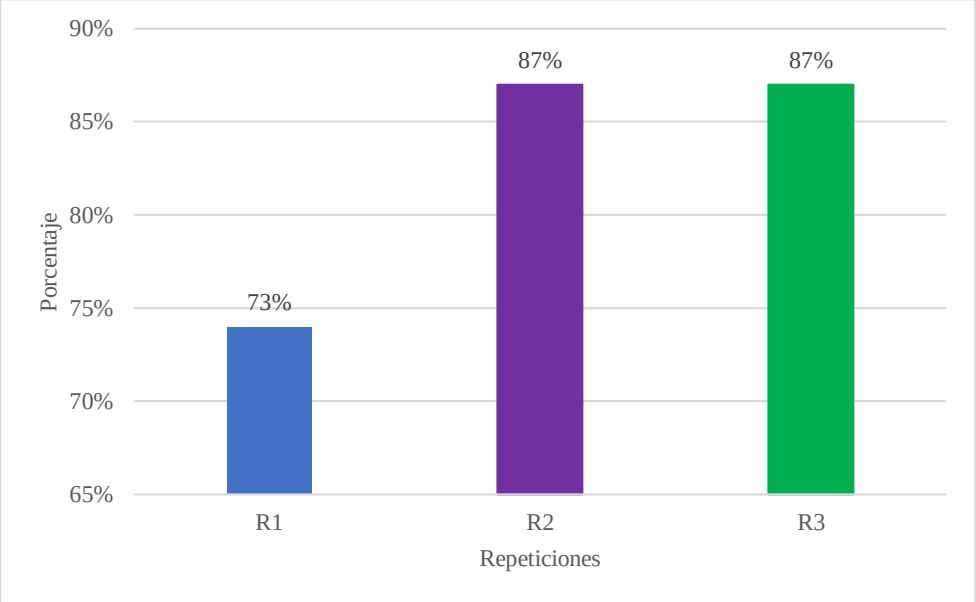


Figura 9. Porcentaje de remoción de plomo con la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) en las repeticiones.

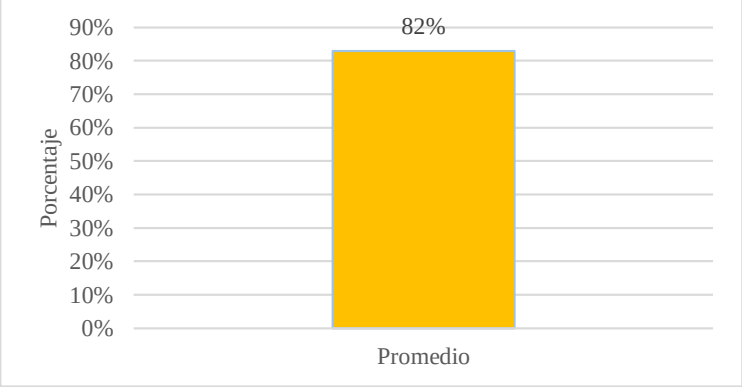


Figura 10. Promedio de porcentaje de remoción de plomo con la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*).

Como se observa en la figura 9, la remoción del plomo se dio con la misma agua de la laguna de Choclococha con tres plantas, dos plantas grandes y uno de tamaño mediano. La cantidad de plantas fue la misma para las tres repeticiones donde posteriormente pasado los 15 días de tratamiento con la planta lechuga de agua, la eficiencia en la R1 la remoción fue de 73 %, R2 fue de 87 % y R3 fue de 87 %. Como se observa en la figura 10, el promedio es de 82 % de remoción de plomo en las aguas de la laguna de Choclococha.

4.1.4. Comparación de porcentajes de eficiencia de *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*

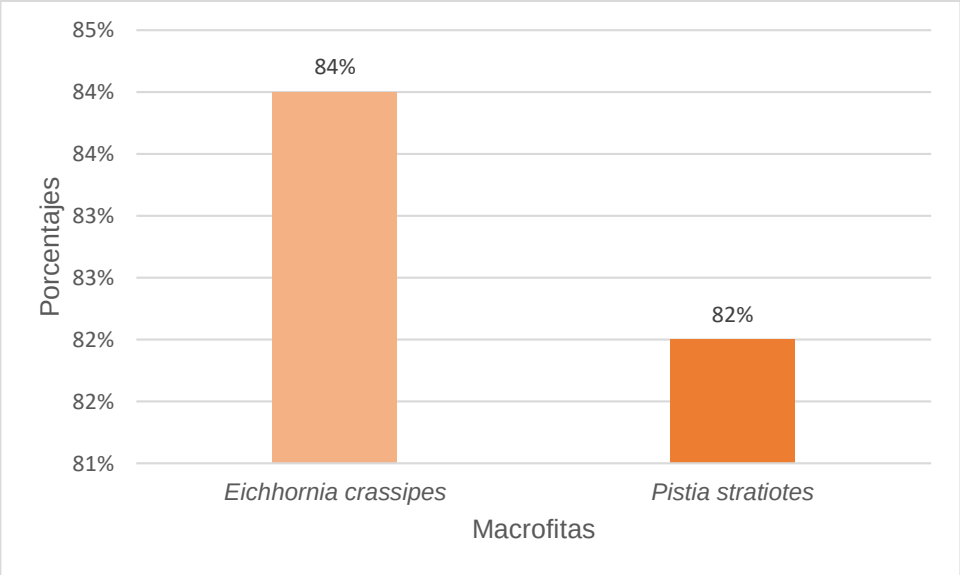


Figura 11. Comparación de porcentajes de la remoción del plomo con el Jacinto de agua y lechuga de agua.

Como se observa en la figura 11, la especie de *Eichhornia crassipes* logro una mayor remoción con el 84 % en comparación con *Pistia stratiotes* que alcanzo un porcentaje remotivo de 82% con respecto a la remoción de plomo en las aguas de la laguna de Choclococha.

4.2. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en la investigación demuestran que las plantas acuáticas como lechuga de agua y jacinto de agua lograron disminuir la concentración de plomo (Pb) en las aguas de la laguna de Choclococha, donde la concentración inicial superó los estándares de calidad ambiental (ECA).

Se observó que la remoción del plomo en el presente trabajo de investigación, considerando un tiempo de 15 días de tratamiento, disminuyó la concentración de plomo con la planta jacinto de agua obteniendo un 84 % de remoción, similar a lo que mencionan Ruiz y Oblitas (19), donde en su investigación la especie jacinto de agua ha demostrado que es eficiente para disminuir la concentración del Plomo obteniendo un 84.87 % de remoción en un tiempo de 21 días. Estos resultados tienen una similitud con la investigación de Aquino (20), que realizó su investigación en un tiempo de 5, 15 y 25 días de tratamiento utilizando *Eichhornia crassipes* donde la depuración de plomo se obtuvo un mejor resultado entre los 5 y 15 días, donde la depuración de plomo fue a los 5 días en un 79.09 % y a los 15 días en un 82.73 % como depuración máxima, concluyéndose que 15 días es un periodo óptimo para obtener los mejores resultados.

En la remoción del plomo de la investigación con la planta lechuga de agua, considerando un tiempo de 15 días de tratamiento disminuyo, la concentración del plomo obteniendo un 82 % de remoción. El trabajo de Meza *et al.* (18) se asemeja a la investigación presente teniendo como resultados 81.3 % para plomo (Pb) en un periodo de 15 días, donde menciona que la mayor bioacumulación de los metales de Pb se observó en las raíces de la planta acuática. Como también en el trabajo de investigación de Zhou *et al.* (16) se tuvo como resultado una remoción de 93 % de plomo en 10 días de tratamiento, donde se menciona que la acumulación de metales pesados fue en las raíces en comparación de las hojas de la planta, concluyéndose que 10 días es un periodo óptimo para obtener los mejores resultados de remoción de plomo utilizando la planta lechuga de agua. Obviamente a mayor número de plantas acuáticas la concentración de los metales disminuye.

Así tras el presente estudio, se demostró que las plantas acuáticas como el jacinto de agua y la lechuga de aguas, en un periodo de 15 días de tratamiento, dieron una eficaz remoción del plomo en las aguas de la laguna de Choclococha.

CONCLUSIONES

- Se determinó la eficacia del tratamiento con el vegetal jacinto acuático, que es de 0.0011667, como el tratamiento con lechuga de agua que es de 0.0013333, de los cuales presentan concentraciones por debajo del ECA, mientras que el grupo de Control alcanzó un valor de 0.0075000, que superó los ECA.
- Se determinó la cantidad de remoción del plomo en las aguas de la laguna de Choclococha con la planta jacinto de agua, que alcanzó un 84 %.
- Se determinó la cantidad de remoción del plomo en las aguas de la laguna de Choclococha con la planta lechuga de agua, que alcanzó un 82 %.
- Se evaluó la mayor remoción del plomo en las 2 plantas acuáticas en las aguas de la laguna de Choclococha, donde se evidencio que jacinto acuático fue ligeramente superior a lechuga acuática en la acción remotiva del plomo del agua de la laguna de Choclococha.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de las plantas jacinto acuático y lechuga acuática para tratar lagunas y ríos contaminados con cantidades de plomo prudentes de los trabajos mineros.
- Para futuras investigaciones se recomienda el uso de las plantas acuáticas para el tratamiento de otros metales pesados y lograr ver si son eficientes como el jacinto acuático y la lechuga acuática.
- Se recomienda a las autoridades a dar más importancia a la laguna de Choclococha ya que con el trabajo de investigación se vio que la laguna supera la concentración del plomo, establecido según el ECA de agua D.S. N° 004-2017-MINAM, categoría 4: conservación de los ecosistemas acuáticos, E1: lagos y lagunas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MINISTERIO DE AGRICULTURA. *Diagnóstico hidrológico de la cuenca Madre de Dios.* Lima: Autoridad Nacional del Agua, 2010.
2. GUPTA, P., ROY, S. y MAHINDRAKAR, A. Treatment of water using water hyacinth, water lettuce and vetiver grass - A review. Resources and Environment, 2012, 2(5), 202-215 pp. ISSN: 2163-2634.
3. ARANGO, A. Crisis mundial del agua. Producción + Limpia, 2013, 8(2). ISSN: 1909-0455.
4. GLYNN, J. y HEINKE, G. *Ingeniería Ambiental.* México: Prentice Hall, 1999. ISBN: 970-17-0266-2.
5. MOUNTOURIS, A., VOUTSAS, E. y TASSIOS, D. *Bioconcentration of heavy metals in aquatic environments: the importance of bioavailability.* Marine Pollution Bulletin, 2002, 44(10), 1136-1141 pp. ISSN: 0025-326X.
6. NACIONES UNIDAS [En línea]. La salud de diez millones de peruanos está en riesgo por el envenenamiento del agua con sustancias tóxicas, 2022. Disponible en: https://news.un.org/es/story/2022/12/1517512#:~:text=M%C3%A1s%20de%20diez%20millones%20de,a%20atender%20el%20problema%20que
7. AGENCIA SUIZA PARA EL DESARROLLO Y LA COOPERACIÓN. *Metales pesados en agua para consumo humano: una propuesta para su remoción.* Lima: COSUDE, 2023.
8. MARTÍNEZ, P. [En línea]. La contaminación del agua en la minería, 2021. Disponible en: https://www.obela.org/analisis/la-contaminacion-del-agua-en-la-mineria
9. DIARIO CORREO [En línea]. Afluente Orccoccocha contamina lago de Choclococha, 2014. Disponible en: https://diariocorreo.pe/peru/afluente-orccoccocha-contamina-lago-de-chocl-27852/
10. PEDROZA, J., TIRADO, D. y POLANCO, M. Aprovechamiento sostenible de especies vegetales para fitorremediación de vertidos en la producción porcícola del SENA CLEM TULUÁ. Publicaciones e Investigación, 2021, 15(2), 1-18 pp. ISSN: 1900-6608.
11. BLOCK, M. y DURÁN, J. *Identificación de aspectos e impactos medioambientales.* España: AENOR, 2000. ISBN: 9788481431858.
12. HERNÁNDEZ, S. *La legislación de evaluación de impacto ambiental en España.* España: Fungesma, 2000. ISBN: 9788471148568.
13. MARTELO, J. y LARA-BORRERO, J. Floating macrophytes on the wastewater treatment: a state of the art review. Ingeniería y Ciencia, 2012, 8(15), 221-243 pp.
14. REYES, M. Factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en *Eichhornia crassipes* de la laguna Olmeca en Veracruz. Tesis de Maestría (Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental). México: Tecnológico Nacional de México, 2020.

15. BALLEN, J. Revisión de plantas fitorremediadoras con capacidad de remoción de plomo en cuerpos de agua. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Bogotá: Universidad Cooperativa de Colombia, 2023.
16. ZHOU, Y., y otros. Phytoremediation of chromium and lead using water lettuce (*Pistia stratiotes* L.). Applied Mechanics and Materials, 2013, 401-403, 2071-2075 pp. ISSN: 1662-7482.
17. PENG, K., y otros. Bioaccumulation of heavy metals by the aquatic plants *Potamogeton pectinatus* L. and *Potamogeton malaianus* Miq. and their potential use for contamination indicators and in wastewater treatment. Science of The Total Environment, 2008, 392(1), 22-29 pp. ISSN: 0048-9697.
18. MEZA, M., y otros. Bioabsorción de Pb (II) Y Cr (III) usando la planta acuática *Pistia stratioides.* Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela, 2013, 28(3), 19-27 pp. ISSN: 0798-4065.
19. RUIZ, W. y OBLITAS, E. Eficiencia de fitorremediación con jacinto de agua *(Eichhornia crassipes)* para disminuir concentraciones de metales pesados en aguas residuales municipales del distrito de San José del Alto, provincia de Jaén - Cajamarca. Tesis (Título de Ingeniero Forestal y Ambiental). Cajamarca: Universidad Nacional de Jaén, 2024.
20. AQUINO, J. Eficiencia de macrófitas flotantes en la depuración de aguas contaminadas por plomo y cadmio, Cajamarca - 2021. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, 2023.
21. LOZANO-CHUNG, A., LOZANO-CARRANZA, C. y COLICHON-CARRANZA, R. Plantas macrófitas *(Eichhornia crassipes y Pistia stratiotes)* como depurador de metales pesados en aguas residuales domésticas. Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas, 2024, 3(2), 1-9 pp. ISSN: 2810-8817.
22. CUBA, J. Fitorremediación con macrofitas en la remoción de metales pesados en aguas residuales, a nivel de laboratorio, 2021. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal, 2022.
23. SOSA, C. Remoción de plomo y estabilización del pH en el Río Santa - Ticapampa utilizando lenteja (*Lemna minor*) y jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*). Tesis (Título de Ingeniero Civil). Ancash: Universidad San Pedro, 2022.
24. MONTAÑEZ, M. y VILCAS, J. Contaminación por metales pesados (As, Cd, Co, Cr, Hg, Pb) en sedimentos superficiales de la laguna de Choclococha - Huancavelica. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental y Sanitario). Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, 2022.
25. JURADO, C. Concentración de metales pesados en sedimentos superficiales de la laguna de Choclococha - Huancavelica. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental y Sanitario). Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, 2021.

26. INDUANALISIS [En línea]. Aguas superficiales, 2019. Disponoble en: https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/agua_subterraneas_y_superficial_29#:~:text=Las%20aguas%20superficiales%20son%20las,el%20afloramiento%20de%20aguas%20subterr%C3%A1neas
27. MINISTERIO DEL AMBIENTE. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, a*prueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias.* Lima: El Peruano, 2017.
28. SANZ, M., DANA, E. y SOBRINO, E. *Atlas de las plantas alóctonas invasoras de España*. España: Dirección General para la Biodiversidad, 2004.
29. ROBLES, W. *Jacinto de agua (Eichhornia crassipes).* Universidad de Puerto Rico, 2010.
30. SOLMS, C. *Eichhornia crassipes.* Sudáfrica: South African National Biodiversity Institute, 1985.
31. CERVANTES, M. *Guía regional para el conocimiento, manejo y utilización de los humedales del Noroeste de México.* México: ITESM, 1994. ISBN: 9789687464008.
32. FÖRSTNER, U. *Contaminated sediments.* Alemania: Lectures on Environmental Aspects of Particle, 1989.
33. ROMERO, R. *Flora del Centro de Bolívar.* Colombia: Talleres Gráficos del Banco de la República, 1965.
34. SCHUMANN, K. y GILG, E. *Das pflanzenreich.* Alemania: J. Neumann, 1900.
35. AZCONA-CRUZ, M., RAMÍREZ, R. y VICENTE-FLORES, G. Efectos tóxicos del plomo. Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas, 2015, 20(1), 72-77 pp. ISSN: 1665-7330.
36. RAMÍREZ, C. y SAN MARTÍN, C. *Biodiversidad de Chile: patrimonio y desafíos.* Chile: Ministerio del Medio Ambiente, 2018.
37. FIORENTINO, G. Un'analisi dei riassunti delle tesi di laurea. Cuadernos de Filología Italiana, 2015, (22), 263-284 pp. ISSN: 1133-9527.
38. SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN AMBIENTAL [En línea]. Tratamiento y reuso de aguas residuales, 2009 [Fecha de consulta: 23 de marzo de 2023]. Disponible en: https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/153.pdf
39. BROOK, R. y ROBINSON, B. *Plants that hyperaccumulate heavy metals: their role in phytoremediation, microbiology, archaeology, mineral exploration and phytomining.* Reino Unido: CABI, 1998.
40. AGUDELO, L., MACÍAS, K. y SUÁREZ, A. Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. Revista Lasallista de Investigación, 2005, 2(1), 57-60 pp. ISSN: 1794-4449.

41. JARAMILLO, M. y FLORES, E. Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* (Lenteja de agua), y *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2012.
42. RAMOS, G. y CUEVA, W. Evaluación del potencial fitorremediador de dos especies (*Pistia stratiotes l.*) y (*Limnobium laevigatum r.*) para el tratamiento de lixiviados producidos en el relleno sanitario del cantón centinela del cóndor, provincia Zamora Chinchipe. Tesis (Título de Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente). Ecuador: Universidad Nacional de Loja, 2016.
43. PAPUICO, K. Técnica de fitorremediación en la extracción de metales pesados con la planta yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) en la relavera de Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de Rancas. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2018.
44. KERLINGER, F. y LEE, H. *Investigación del comportamiento.* Estados Unidos: McGraw Hill, 2002.
45. HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P. *Metodología de la investigación.* México: McGraw Hill, 2014. ISBN: 978-1-4562-2396-0.
46. AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*. Lima: Ediciones ANA, 2016.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia.

TITULO	FORMULACION DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES			MARCO METODOLÓGICO
				IDENTIFICACION	DIMENSIONES	INDICADORES	
"Remoción de plomo presentes en las aguas de la laguna de Choclococha mediante plantas acuáticas"	**Problema general** ¿Cuál es la eficiencia de remoción del plomo en las aguas de la laguna de Choclococha mediante plantas acuáticas? **Problemas específicos:** *¿Cuál es la cantidad de remoción del plomo de la planta jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en las aguas de la laguna de Choclococha? *¿Cuál es la cantidad de remoción del plomo de la planta lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) en las aguas de la laguna de Choclococha? *¿Cuál de las 2 plantas acuáticas presenta mayor remoción de plomo de las aguas de la laguna de Choclococha?	**Objetivo general** Determinar la eficiencia de remoción de plomo en las aguas de la laguna de Choclococha - Huancavelica, 2024 mediante plantas acuáticas. **Objetivos específicos:** *Determinar la cantidad de remoción del plomo de la planta jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en las aguas de la laguna de Choclococha. *Determinar la cantidad de remoción del plomo de la planta lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) en las aguas de la laguna de Choclococha. *Evaluar la mayor remoción del plomo en las 2 plantas acuáticas en las aguas de la laguna de Choclococha.	**Hipótesis general:** H_0: Las plantas acuáticas no son eficientes en la remoción de plomo en las aguas de la laguna de Choclococha. H_a: Las plantas acuáticas son eficientes en la remoción de plomo en las aguas de la laguna de Choclococha.	**VI:** Plantas acuáticas. **VD:** Concentración de plomo.	Jacinto de agua *(Eichhornia crassipes)* Lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) Concentración de plomo. Eficiencia de remoción.	Cantidad Cantidad Cantidad inicial y final de plomo. % de remoción.	**Tipo:** Aplicada. **Nivel:** Explicativo. **Diseño de investigación:** Experimental. **Población:** La población para el presente estudio es la laguna de Choclococha en el distrito de Santa Ana provincia de Huancavelica departamento de Huancavelica. **Muestra:** La muestra fue probabilística, de muestreo integrada. Las muestras en total están conformadas por 121 L de agua. Se realizan 2 tratamientos cada tratamiento consta de 3 repeticiones.

Anexo 2. Toma de muestras de los puntos de control.

Fotografía 1. Toma de muestra del punto 1.

Fotografía 2. Toma de muestra del punto 2.

Fotografía 3. Toma de muestra del punto 3.

Fotografía 4. Toma de muestra del punto 4.

Fotografía 5. Toma de muestra del punto 5.

Fotografía 6. Toma de muestra del punto 6.

Fotografía 7. Toma de muestra del punto 7.

Anexo 3. Homogenizando los puntos de muestreo.

Fotografía 8. Llenado de frasco de los puntos homogenizados.

Anexo 4. Tratamiento con la planta jacinto y lechuga de agua.

Fotografía 9. Jacinto de agua en el primer día de tratamiento.

Fotografía 10. Lechuga de agua en el primer día de tratamiento.

Anexo 5. Jacinto y lechuga de agua después de los 15 días de tratamiento.

Fotografía 11. Jacinto de agua después de los 15 días de tratamiento y envasando para ser llevados al laboratorio.

Fotografía 12. Lechuga de agua después de los 15 días de tratamiento y envasando para ser llevados al laboratorio.

Anexo 6. Cadena de custodia de los puntos de recolección de la muestra.

Cadena de Custodia

Código Numero de Custodia: 01	Solicitante: Ticllasuca Riveros Walter		DNI: 71933640	Firma: [firma]
Institución:	Dirección: A.V 28 de Abril	Distrito: Huancavelica	Provincia: Huancavelica	Dpto Huancavelica
Teléfono / FAX:	Responsable del muestreo: LABSAF - Santa Ana		Firma:	Urgencia: ☐ Regular ☐ Alta

Código DILAB (1)	Código de campo	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Tipo de muestra (2)	N° de envases por punto de muestreo P (3)	V (3)	E (3)	Preservación HCL	H2SO4	HNO3	NaOH	$Zn(O_2CCH_3)_2$	Otro:
	Punto 1	13-03-24	08:45	AS	1								
	Punto 2	13-03-24	09:10	AS	1								
	Punto 3	13-03-24	09:28	AS	1								
	Punto 4	13-03-24	09:57	AS	1								
	Punto 5	13-03-24	10:15	AS	1								
	Punto 6	13-03-24	10:32	AS	1								
	Punto 7	13-03-24	10:55	AS	1								
	Punto de control	13-03-24	11:19	AS	1								

Código de campo	Parámetros Físico - Químicos (4) SST	STD	DBO_5	DQO	Aceites y grasas (MEH)	Metales totales (corrida)	Cromo hexavalente	Nitrógeno total	Nitrógeno amoniacal	Nitratos	Nitritos	Fosfatos	Fosforo total	Cianuro WAD	Fenoles	SAAM-Detergentes	Sulfuros	Fluoruros	Plaguicidas (todos: DS-015-2015-MINAM)			Parámetros Biológicos (4) Coli. termotolerantes	Coliformes totales	Escherichia coli	Enterococos	Huevos de Helmintos			Observaciones
Punto 1						Pb																							
Punto 2						Pb																							
Punto 3						Pb																							
Punto 4						Pb																							
Punto 5						Pb																							
Punto 6						Pb																							
Punto 7						Pb																							
Punto de control						Pb																							

Entregado: Nombre y apellidos	Firma	Institución/empresa	Recibido: Nombre y apellidos	Firma	Institución/empresa	Fecha	Hora
Walter Ticllasuca Riveros	[firma]						

Condición y temperatura de llegada de las muestras: ______ Comentarios: ______

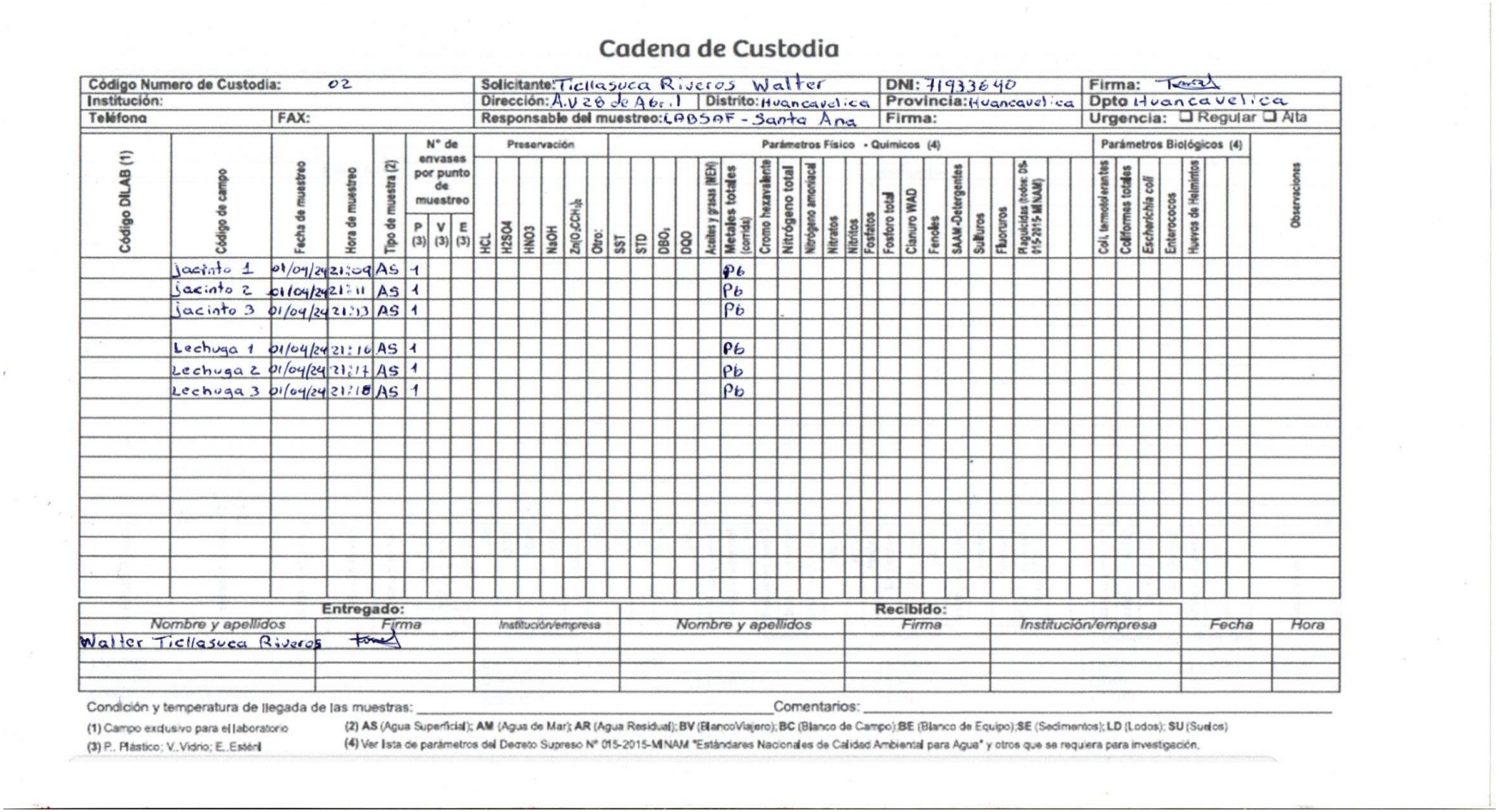
(1) Campo exclusivo para el laboratorio

(2) AS (Agua Superficial); AM (Agua de Mar); AR (Agua Residual); BV (BlancoViajero); BC (Blanco de Campo); BE (Blanco de Equipo); SE (Sedimentos); LD (Lodos); SU (Suelos)

(3) P.. Plástico; V..Vidrio; E..Estéril

(4) Ver lista de parámetros del Decreto Supreso N° 015-2015-MINAM "Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua" y otros que se requiera para investigación.

Anexo 7. Cadena de custodia de los tratamientos con jacinto de agua y lechuga de agua.



Cadena de Custodia

Código Numero de Custodia: 02	Solicitante: Ticllasuca Riveros Walter		DNI: 71933640	Firma:
Institución:	Dirección: A.V 28 de Abril	Distrito: Huancavelica	Provincia: Huancavelica	Dpto Huancavelica
Teléfono FAX:	Responsable del muestreo: LABSAF - Santa Ana		Firma:	Urgencia: ❑ Regular ❑ Alta

Código DILAB (1)	Código de campo	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Tipo de muestra (2)	N° de envases por punto de muestreo P (3)	V (3)	m (3)	Preservación HCL	H2SO4	HNO3	NaOH	Zn(O,CCH3)2	Otro:	Parámetros Físico - Químicos (4) SST	STD	DBO5	DQO	Aceites y grasas (HEM)	Metales totales (corrida)	Cromo hexavalente	Nitrógeno total	Nitrógeno amoniacal	Nitratos	Nitritos	Fosfatos	Fosforo total	Cianuro WAD	Fenoles	SAAM-Detergentes	Sulfuros	Fluoruros	Plaguicidas (todos DS 015-2015-MINAM)	Parámetros Biológicos (4) Coli. termotolerantes	Coliformes totales	Escherichia coli	Enterococos	Huevos de Helmintos	Observaciones
	Jacinto 1	01/04/24	21:09	AS	1														Pb																			
	Jacinto 2	01/04/24	21:11	AS	1														Pb																			
	Jacinto 3	01/04/24	21:13	AS	1														Pb																			
	Lechuga 1	01/04/24	21:16	AS	1														Pb																			
	Lechuga 2	01/04/24	21:17	AS	1														Pb																			
	Lechuga 3	01/04/24	21:18	AS	1														Pb																			

Entregado: Nombre y apellidos	Firma	Institución/empresa	Recibido: Nombre y apellidos	Firma	Institución/empresa	Fecha	Hora
Walter Ticllasuca Riveros							

Condición y temperatura de llegada de las muestras: _____ Comentarios: _____

(1) Campo exclusivo para el laboratorio
(2) **AS** (Agua Superficial); **AM** (Agua de Mar); **AR** (Agua Residual); **BV** (BlancoViajero); **BC** (Blanco de Campo); **BE** (Blanco de Equipo); **SE** (Sedimentos); **LD** (Lodos); **SU** (Suelos)
(3) P.. Plástico; V..Vidrio; E..Estéril
(4) Ver lista de parámetros del Decreto Supreso N° 015-2015-MINAM "Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua" y otros que se requiera para investigación.

Anexo 8. Resultados de la concentración de plomo en la laguna Choclococha.

Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO
N° 030349-24/AG/ LABSAF - SANTA ANA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	:	Walter Ticllasuca Riveros
Propietario / Productor	:	Walter Ticllasuca Riveros
Dirección del cliente	:	Av. 28 De Abril - San Cristobal
Solicitado por	:	Walter Ticllasuca Riveros
Muestreado por	:	Cliente
Número de muestra(s)	:	01 muestra
Producto declarado	:	Agua Superficial
Presentación de las muestras(s)	:	tubos de vidrio
Referencia del muestreo	:	Reservado por el cliente
Procedencia de muestra(s)	:	Huancavelica- Castrovirreyna-Santa Ana
Fecha(s) de muestreo	:	2024-03-13 (*)
Fecha de recepción de muestra(s)	:	2024-03-14
Lugar de ensayo	:	Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliares - LABSAF Santa Ana
Fecha(s) de análisis	:	2024-03-26
Cotización del servicio	:	74-24-SA
Fecha de emisión	:	2024-04-04

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM			1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio			AG0829-SA-24	--	--	--	--	--
Matriz Analizada			Agua Superficial	--	--	--	--	--
Fecha de Muestreo			2024-03-13	--	--	--	--	--
Hora de Inicio de Muestreo (h)			12:23:00	--	--	--	--	--
Condición de la muestra			Conservada	--	--	--	--	--
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente			Choclococha	--	--	--	--	--
Ensayo	**Unidad**	**LC**	**Resultados**					
Plomo (Pb)	mg/L	--	0.0075	--	--	--	--	

Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO
N° 040351-24/AG/ LABSAF - SANTA ANA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	:	Walter Ticllasuca Riveros
Propietario / Productor	:	Walter Ticllasuca Riveros
Dirección del cliente	:	Av. 28 de Abril San Cristobal
Solicitado por	:	Walter Ticllasuca Riveros
Muestreado por	:	Cliente
Número de muestra(s)	:	06 muestras
Producto declarado	:	Agua Superficial
Presentación de las muestras(s)	:	Botellas de Plástico
Referencia del muestreo	:	Reservado por el cliente
Procedencia de muestra(s)	:	Huancavelica-Castrovireyna-Santa Ana
Fecha(s) de muestreo	:	2024-04-01 (*)
Fecha de recepción de muestra(s)	:	2024-04-02
Lugar de ensayo	:	Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliares - LABSAF Santa Ana
Fecha(s) de análisis	:	2024-04-16
Cotización del servicio	:	92-SA-24
Fecha de emisión	:	2024-04-23

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM			1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio			AG1509-SA-24	AG1510-SA-24	AG1511-SA-24	AG1512-SA-24	AG1513-SA-24	AG1514-SA-24
Matriz Analizada			Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial
Fecha de Muestreo			2024-04-01	2024-04-01	2024-04-01	2024-04-01	2024-04-01	2024-04-01
Hora de Inicio de Muestreo (h)			5:01:00	5:03:00	5:04:00	5:10:00	5:13:00	5:17:00
Condición de la muestra			Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente			R1- Lechuga de Agua	R2- Lechuga de Agua	R3- Lechuga de Agua	R1- Jacinto de Agua	R2- Jacinto de Agua	R3- Jacinto de Agua
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
Plomo (Pb)	mg/L	--	0.0020	0.0010	0.0010	0.0000	0.0010	0.0025