



Universidad Nacional Autónoma de Chota
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Unidad de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería
Forestal y Ambiental



RESOLUCIÓN DE COORDINACIÓN N° 251-2025-FCA/UNACH
“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, Director de la Unidad de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, **hace constar** que la tesis de investigación Titulada “**Eficiencia de *Azolla* sp. en la remoción de plomo del agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca 2024**”; ejecutado por el Bachiller **Ronal Elver Saavedra Mejía** de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, **asesorado por el M Sc. Eisner Will Castillo Rojas y coasesorado por la Dra. Azucena Chávez Collantes**; presenta un **ÍNDICE DE SIMILITUD DEL 16%**, sin incluir bibliografía; por lo tanto, cumple con el criterio de evaluación de originalidad establecido en el **REGLAMENTO DE GRADOS Y TÍTULOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA** aprobado mediante **RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N°120-2022-UNACH**.

Se expide la presente, a petición de la parte interesada para los fines que estime conveniente.


Chota, 28 de junio de 2025.


Atentamente


M.Sc. Jim Jairo Villena Velásquez
Unidad de Investigación de EPIFA
UNACH

Ronal Elver Saavedra Mejía

Ronal Elver Saavedra Mejía

 Ronal Elver Saavedra Mejía

 Ronal Elver Saavedra Mejía

 Universidad Nacional Autónoma de Chota

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::1:3286532528

Fecha de entrega

28 jun 2025, 3:43 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

28 jun 2025, 3:53 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

TESIS_SAAVEDRA-MEJIA-RE_docx

Tamaño de archivo

13.2 MB

77 Páginas

12.301 Palabras

69.752 Caracteres




16% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

Fuentes principales

- 14%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 11%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad




N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

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

Fuentes principales

- 14%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 11%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

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

1	Internet	repositorio.unach.edu.pe	3%
2	Internet	hdl.handle.net	3%
3	Internet	www.repositorio.unach.edu.pe	2%
4	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo	<1%
5	Internet	repositorio.undac.edu.pe	<1%
6	Trabajos del estudiante	uncedu	<1%
7	Internet	1library.co	<1%
8	Trabajos del estudiante	Universidad Continental	<1%
9	Internet	alicia.concytec.gob.pe	<1%
10	Internet	repositorio.unitepc.edu.bo	<1%
11	Trabajos del estudiante	espam	<1%

12	Internet	repositorio.unfv.edu.pe	<1%
13	Internet	revistas.ulima.edu.pe	<1%
14	Internet	vip.ucaldas.edu.co	<1%
15	Internet	www.researchgate.net	<1%
16	Trabajos del estudiante	Universidad Popular del César,UPC	<1%
17	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnológica del Peru	<1%
18	Publicación	Sanz, Leticia Berlanga. "Caracterización Fenólica de las Especies Bidens Aurea (Ait...	<1%
19	Internet	docplayer.es	<1%
20	Internet	dspace.esPOCH.edu.ec	<1%
21	Internet	repositorio.uncp.edu.pe	<1%
22	Internet	sidalc.net	<1%
23	Trabajos del estudiante	Universidad Andina del Cusco	<1%
24	Internet	es.slideshare.net	<1%
25	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%

26	Trabajos del estudiante	Universidad de León	<1%
27	Trabajos del estudiante	Universidad de Salamanca	<1%
28	Internet	repositorioacademico.upc.edu.pe	<1%
29	Internet	revistas.ulcb.edu.pe	<1%
30	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional del Centro del Peru	<1%
31	Internet	biblio.unvm.edu.ar	<1%
32	Internet	ciencialatina.org	<1%
33	Internet	dspace.ups.edu.ec	<1%
34	Internet	repositorio.puce.edu.ec	<1%
35	Internet	repositorio.unj.edu.pe	<1%
36	Internet	saludnews.net	<1%
37	Publicación	Daniel Alejandro Mancilla Castro, David Pérez Román. "Rendimiento y valor nutri...	<1%
38	Internet	doaj.org	<1%

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL



Eficiencia de *Azolla* sp. en la remoción de plomo del agua superficial del río Tingo

Maygasbamba, Bambamarca 2024

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL

AUTOR

Bach. Ronal Elver Saavedra Mejía

ASESOR

M. Sc. Eisner Will Castillo Rojas

Ing. Eisner Will Castillo Rojas
CIP N° 214420

COASESOR

Dra. Azucena Chávez Collantes

Dra. Azucena Chávez Collantes
CIP N° 203685

CHOTA – PERÚ

JUNIO, 2025



Anexo 01:

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

REG. N° 028-2025-FCA

Siendo las *15:03* horas, del día *25* de *Junio* de *2025*, los miembros del Jurado de Tesis titulada: “Eficiencia de *Azolla* sp. en la remoción de plomo del agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca 2024”, integrado por:

1. Dr. Alejandro Seminario Cunya (Presidente)
2. Dr. Guillermo A. Chávez Santa Cruz (Secretario)
3. Ing. Dennis A. Cieza Tarrillo (Vocal)

Sustentada de manera presencial por el **Bach. Ronal Elver Saavedra Mejía** asesorado por el **Ing. M. Sc. Eisner Will Castillo Rojas**, y coasesorado por la **Dra. Azucena Chávez Collantes**, con la finalidad de obtener el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental.

Terminada la sustentación, con las preguntas formuladas por los integrantes del Jurado y las respuestas otorgadas por el graduando, luego de deliberar, acuerda...*Aprobar*... la tesis, calificándola con la nota de: *Quince (15)*....., se eleva la presente Acta al Coordinador de la Facultad de Ciencias Agrarias, a fin de que se le declare EXPEDITO para conferirle el correspondiente título profesional.

Colpa Matara, 25 de junio del 2025


.....
Dr. Alejandro Seminario Cunya
Presidente


.....
Dr. Guillermo A. Chávez Santa Cruz
Secretario


.....
Ing. Dennis A. Cieza Tarrillo
Vocal

DEDICATORIA

A mis padres queridos, Marcial e Irma, por ser los pilares fundamentales de mi educación y que, con su esfuerzo, amor y sacrificio han sabido guiarme para llegar a desarrollarme personalmente y convertirme en un destacado profesional.

De igual manera, a todos mis familiares por su apoyo incondicional, por sus consejos, orientaciones y recomendaciones para ser una persona de bien y lograr una meta en la vida: ser un eficiente profesional.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por su infinito amor y misericordia, por darme la vida, la salud para alcanzar cada uno de mis objetivos propuestos, el de ser un profesional eficiente. También, por darme la fuerza espiritual y estar conmigo en cada momento de mi vida.

A mis padres queridos, Marcial e Irma, por ser los pilares fundamentales de mi educación.

A las autoridades, docentes y personal administrativo de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de Chota por haber contribuido, de una u otra forma, en mi formación profesional durante mis cinco años de estudios. Por haber compartido con ellos en las aulas universitarias los conocimientos, habilidades, destrezas, actitudes y valores que debo mostrar y desarrollar en vida práctica, para servir a la comunidad y contribuir con el desarrollo socioeconómico del país.

Al M.Sc. Eisner Will Castillo Rojas y a la Dra. Chávez Collantes Azucena por brindarme todo el tiempo y apoyo necesarios, a fin de cumplir con éxito la ejecución de mi tesis, referida al tema como se expone en el presente informe.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	9
AGRADECIMIENTOS.....	10
RESUMEN.....	18
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	20
1.1. Planteamiento del problema.....	20
1.2. Formulación del problema.....	21
1.3. Justificación.....	21
1.4. Objetivos.....	23
1.4.1. Objetivo general.....	23
1.4.2. Objetivos específicos.....	23
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	24
2.1. Antecedentes del estudio.....	24
2.2. Bases teórico-científicas.....	24
2.2.1. Contaminación por metales.....	26
2.2.2. Efectos.....	26
2.2.3. Fitorremediación.....	27
2.2.4. Técnicas de fitorremediación.....	27
2.2.5. Descripción de la <i>Azolla</i>	29
2.2.6. Distribución.....	30
2.2.7. Mecanismo de fitorremediación más efectivos relacionados a la remoción de plomo.....	31

2.2.8.	Condiciones ambientales para el crecimiento de la <i>Azolla</i> sp.....	32
2.3.	Marco conceptual.....	32
2.3.1.	Agua	32
2.3.2.	Contaminación de agua	33
2.3.3.	Calidad de agua	33
2.3.4.	Plomo.....	33
2.3.5.	Fitorremediación.....	33
2.4.	Hipótesis	34
2.4.1.	Hipótesis alterna (H1):.....	34
2.4.2.	Hipótesis nula (H0):	34
2.5.	Operacionalización de variables	35
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO		36
3.1.	Tipo y nivel de la investigación	36
3.2.	Diseño de la investigación	36
3.3.	Métodos de investigación	37
3.3.1.	Método general	37
3.3.2.	Método específico.....	37
3.3.3.	Metodología.....	37
3.3.4.	Análisis en laboratorio.....	41
3.3.5.	Evaluación de la eficiencia de la <i>Azolla</i> sp. en la remoción de plomo.....	41
3.3.6.	Materiales	42
3.4.	Población, muestra y muestreo	42

3.4.1.	Población	42
3.4.2.	Muestra	42
3.4.3.	Muestreo	42
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	43
3.5.1.	Técnicas de recolección de datos.....	43
3.5.2.	Instrumentos de recolección de datos.....	44
3.6.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	44
3.7.	Aspectos éticos.....	44
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES		46
4.1.	Descripción de resultados	46
4.1.1.	Estimación de la temperatura en el agua superficial del río Tingo Maygasbamba	46
4.1.2.	Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk) para la temperatura.....	46
4.1.3.	Análisis de Varianza (ANOVA) para la temperatura.....	47
4.1.4.	Pruebas de Comparación Múltiple (Tukey) para la temperatura.....	48
4.1.5.	Estimación de la conductividad eléctrica en el agua superficial del río Tingo Maygasbamba.....	49
4.1.6.	Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk) para la Conductividad Eléctrica	49
4.1.7.	Análisis de Varianza (ANOVA) para la conductividad eléctrica.....	50
4.1.8.	Pruebas de Comparación Múltiple (Tukey) para la conductividad eléctrica.....	51
4.1.9.	Estimación del pH en el agua superficial del río Tingo Maygasbamba	52

4.1.10.	Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk) para pH.....	52
4.1.11.	Análisis de Varianza (ANOVA) para pH.....	53
4.1.12.	Pruebas de Comparación Múltiple (Tukey) para pH.....	54
4.1.13.	Concentración de plomo en el agua superficial de río Tingo Maygasbamba, Bambamarca.....	54
4.1.14.	Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk) para la concentración de plomo.....	56
4.1.15.	Correlación de Spearman entre concentración de plomo y tratamientos con <i>Azolla</i> sp.....	57
4.1.16.	Porcentaje de remoción de plomo en el agua superficial del río Tingo Maygasbamba.....	58
4.2.	Contrastación de hipótesis.....	58
4.3.	Discusión de resultados.....	59
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		62
5.1.	Conclusiones.....	62
5.2.	Recomendaciones.....	62
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS.....		64
CAPÍTULO VII. ANEXOS.....		71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación taxonómica de la <i>Azolla</i> sp.	29
Tabla 2 Condiciones ambientales para el crecimiento de la <i>Azolla</i> sp.	32
Tabla 3 Operación de variables.....	35
Tabla 4 Distribución de tratamientos	40
Tabla 5 Técnicas de recolección de datos de laboratorio.....	43
Tabla 6 Estimación de la temperatura en el agua superficial del río Tingo Maygasbamba ...	46
Tabla 7 Pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) para la temperatura.....	47
Tabla 8 Análisis de varianza (ANOVA) para la temperatura por efecto del tiempo de evaluación	47
Tabla 9 Prueba de Tukey para el parámetro temperatura	48
Tabla 10 Estimación de la conductividad eléctrica en el agua superficial del río Tingo Maygasbamba	49
Tabla 11 Pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) para la conductividad eléctrica	50
Tabla 12 Análisis de varianza (ANOVA) para la conductividad eléctrica por efecto de diferentes tratamientos y tiempo de evaluación.....	50
Tabla 13 Prueba de Tukey para el parámetro conductividad eléctrica	51
Tabla 14 Estimación del pH en el agua superficial del río Tingo Maygasbamba	52
Tabla 15 Pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) para pH.....	52
Tabla 16 Análisis de varianza (ANOVA) para el pH por efecto de diferentes tratamientos y tiempo de evaluación	53
Tabla 17 Prueba de Tukey para el parámetro pH.....	54
Tabla 18 Concentración de plomo en el agua superficial del río Tingo, Maygasbamba.....	55
Tabla 19 Pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) para la concentración de plomo	56

Tabla 20 Correlación de Spearman para la concentración de plomo por efecto de diferentes tratamientos.....	57
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Distribución de la <i>Azolla</i>	30
Figura 3 Mapa de ubicación satelital de instalación de experimentos.....	38
Figura 2 Distribución de tratamientos	41
Figura 4 Procedimiento a la toma de muestra de <i>Azolla</i> sp.....	79
Figura 5 Toma de muestras de agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca.	79
Figura 6 Pesado de 40 gramos masa fresca de <i>Azolla</i> sp.....	80
Figura 7 Pesado de 60 gramos masa fresca de <i>Azolla</i> sp.....	80
Figura 8 Instalación de experimentos	81
Figura 9 Medición de los parámetros fisicoquímicos	81
Figura 10 Preparación de muestras después de la fitorremediación para ser enviados a laboratorio	82

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, tuvo por objetivo evaluar la eficiencia de *Azolla* sp. en la remoción de plomo del agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca 2024. El estudio fue cuantitativo, de diseño experimental (Preprueba-Posprueba). La eficiencia del macrófito se estudió en dos tratamientos, el tratamiento T₁ con 40 gramos de *Azolla* sp. y el tratamiento T₂ con 60 gramos de *Azolla* sp., presentando tres repeticiones para cada tratamiento. La concentración inicial de plomo evaluada en el agua superficial fue de 0,012 mg L⁻¹; posteriormente al tratamiento, disminuyó a una concentración menor a 0,004 mg L⁻¹ para ambos tratamientos. En conclusión, los dos tratamientos con *Azolla* sp. removieron significativamente el plomo, en un porcentaje superior al 66, 6% del agua superficial del río Tingo Maygasbamaba después de los 21 días de tratamiento.

Palabras claves: *Azolla* sp., plomo, fitorremediación, agua.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the efficiency of *Azolla* sp. in removing lead from the surface water of the Tingo Maygasbamba River, Bambamarca 2024. The study was quantitative, using an experimental design (pre-test-post-test). The efficiency of the macrophyte was studied in two treatments: treatment T1 with 40 grams of *Azolla* sp. and treatment T2 with 60 grams of *Azolla* sp., with three replicates for each treatment. The initial lead concentration assessed in the surface water was 0.012 mg L⁻¹; after treatment, it decreased to a concentration below 0.004 mg L⁻¹ for both treatments. In conclusion, both treatments with *Azolla* sp. significantly removed lead, in a percentage greater than 66.6% of the surface water of the Tingo Maygasbamba River after 21 days of treatment.

Keywords: *Azolla* sp., lead, phytoremediation, water.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Actualmente la contaminación ambiental con mayor impacto negativo que se presenta es por metales pesados en agua y suelo, obligado a que ocasiona disturbios de intoxicación en plantas, animales y seres humanos; no obstante, dentro de los metales encontramos al plomo, metal tóxico, su fuente de generación es por actividades antropogénicas, el cual está provocando gran contaminación hacia el suelo, agua y aire (Rivera *et al.*, 2021). Así mismo, su gran peligrosidad y toxicidad ha desencadenado mayores enfermedades en los seres vivos, sobre todo perjudicando a la salud humana por la exposición al mismo (Enrique-Ayala *et al.*, 2021).

Según la Organización Mundial de la Salud (2022) afirma que, en la salud humana la exposición al plomo ha ocasionado 21,7 millones de muertes en todo el mundo, siendo el 30% por discapacidad intelectual idiopática, el 4,6% por enfermedades cardiovasculares y un 3% por enfermedades crónicas. Esto se debe a que dicho metal presenta una gran atracción de sus cationes por el azufre, así como por los grupos sulfhídricos, los cuales se encuentran frecuentemente en las enzimas que regulan la rapidez de las reacciones metabólicas (Macías *et al.*, 2017). Por otro lado, la presencia de este elemento tóxico genera grandes consecuencias ambientales, ocasionando la degradación, muerte de animales y plantas; también, el desequilibrio de los ecosistemas paisajísticos acuáticos por estar inmersos a este elemento como es el plomo (Beltrán y Gómez, 2015). Esta contaminación daña grandemente nuestros recursos naturales, por lo que Vera *et al.* (2016) mencionan que uno de los recursos emergentes a tratar es la contaminación de agua por plomo, siendo esta provocada por actividades agrícolas, mineras, metalurgias, industrias y otras actividades ocasionadas por el hombre.

El Perú sobresaliente en minería, es uno de los países que se ubica en el cuarto lugar a nivel mundial por la producción de plomo, este metal, ha provocado en la salud humana efectos dañinos, a niveles de exposición de $5 \mu\text{g dL}^{-1}$, causando enfermedades como “dolor abdominal, náuseas, cefalea, irritabilidad, ataxia, convulsiones, edema cerebral, anemia, insuficiencia renal y hepática”; así mismo, en suelo provoca la baja productividad agrícola, influyendo significativamente en la sangre de la población vulnerable (Avalos, 2023). En los recursos hídricos el plomo acarrea grandes contaminaciones, causando acidificación de las aguas, material particulado y la descarga de lixiviados industriales (Macías *et al.*, 2017). Es por ello, que la presencia del plomo en los sistemas hidrológicos ha ocasionado un desequilibrio desmedido, provocando disminución en la producción agrícola, enfermedades y muertes en el sector ganadero y forestal (Morales *et al.*, 2022).

El río Maygasbamba es uno de los recursos hídricos que beneficia a más de 16 mil pobladores de la ciudad de Bambamarca, el cual es utilizado con fines agrícolas y ganaderos; sin embargo, la contaminación del río es uno de los problemas que se ha generado hace varios años por presentar gran modificación de calidad de agua y afectando negativamente a la población, mencionando que en ninguna ocasión se tomaron medidas de remediación ambiental, en la actualidad mediante las autoridades locales se está pidiendo apoyo al estado para que se desarrolle trabajos que beneficien a los ciudadanos en tener una mejor calidad de agua evitando aumento desmedido en la contaminación (Cerna-Vásquez, 2019).

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la eficiencia de la *Azolla* sp. en la remoción de plomo del agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca 2024?

1.3. Justificación

Para remediar la contaminación de agua por metales pesados como el plomo, existen tecnologías biológicas que ayudan a mejorar dicho recurso, entre las cuales encontramos a la

fitorremediación. Esta biotecnología se fundamenta en emplear plantas que posean la capacidad de reducir, metabolizar, volatilizar y estabilizar contaminantes o sedimentos como metales pesados presentes en el agua, suelo y aire (Ballesteros, 2011).

La existencia e identificación de diversas plantas capaces de almacenar metales pesados en sus tejidos, es una de las tecnologías de fitorremediación bastante favorable para remediar nuestro sistema acuático (Rivera *et al.*, 2021). Dentro de las especies identificadas encontramos a la *Azolla* sp., este helecho acuático por su alta tasa de crecimiento y productividad, suele ser una alternativa prometedora para mejorar la calidad de agua; además, mantiene relación simbiótica con la cianobacteria *Anabaena*, presente en sus cavidades inferiores, también utiliza su propia energía fotosintética para fijar nitrógeno y convertirlo en amonio, remueve el fósforo y atrapa iones metálicos mediante la formación de complejos en la pared celular (Rivera *et al.*, 2017).

Por tal razón, el presente estudio se realizó con la finalidad de evaluar la eficiencia de la *Azolla* sp. en la remoción de plomo en agua y cuantificar el porcentaje de absorción durante el proceso de fitorremediación mediante el helecho acuático.

La realización de este trabajo de investigación fue de suma importancia porque permitió evaluar la capacidad de la *Azolla* sp. en remover el plomo. Además, permitió conocer que es eficiente en tratar efluentes de agua contaminado con metales pesados, mejorar la calidad de agua, mejorar la diversidad biológica y brindar mejor calidad de vida al ser humano.

Por lo tanto, esta biotecnología puede convertirse en una de las alternativas de remediación más factible, puesto que ofrece de manera natural tratar el medio acuático con metales pesados, posibilitando la disminución de precios e incrementando la eficiencia de tratamiento.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Evaluar la eficiencia de *Azolla* sp. en la remoción de plomo del agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca 2024.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración de plomo en el agua superficial del río Tingo Maygasbamba antes y después de ser sometido a sistema de tratamiento con *Azolla* sp.
- Analizar el impacto de los tratamientos con 40 gramos y 60 gramos de *Azolla* sp., en la remoción de plomo del agua superficial del río Tingo Maygasbamba.
- Estimar los parámetros de temperatura, conductividad eléctrica y pH en agua superficial del río Tingo Maygasbamba.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

Soto (2019) determinó la eficiencia de la *Azolla caroliniana* en la remoción de Cd y Pb en aguas de minería, donde evaluó la remoción para el plomo utilizando biomasa de *Azolla caroliniana* a partir de la instalación de una serie de recipientes de 20 L a escala de laboratorio; por consiguiente, los resultados demostraron que la *Azolla caroliniana* alcanzó mayor eficiencia cuando la concentración de plomo es de 0,40 mg L⁻¹ con una remoción de 43% durante 35 días; finalmente, concluyó que mientras menor sea la concentración del contaminante mejor es la eficiencia de remoción.

Romero-Bonilla *et al.* (2022) determinaron la capacidad de adsorción de plomo en agua mediante *Azolla caroliniana*; no obstante, la investigación desarrolló una metodología experimental a escala de laboratorio preparando diferentes concentraciones de plomo; además, para determinar la concentración del metal se utilizaron un espectrómetro de absorción atómica (AAS), mediante la isoterma de Langmuir, donde se pudo apreciar el equilibrio (C_e) y la carga máxima (q) de plomo adsorbido por *A. caroliniana*. Por lo tanto, concluyó que el helecho acuático presentó mayor intensidad de adsorción (n) de plomo en el reactor D de 0, 12.

Cheros y León (2022) realizaron investigaciones de fitorremediación con *Azolla filiculoides* en dos cantidades diferentes de 20 gramos y 30 gramos para remover el plomo en aguas residuales. Los resultados demostraron que la remoción fue más efectiva utilizando 30 gramos de *Azolla filiculoides*, con una remoción del 99% a los 15 días de tratamiento, llegando a la conclusión que la eficiencia es más efectiva a medida que mayor es la cantidad del biorremediador.

Choque (2010) realizó estudios a nivel de laboratorio para cuantificar la remoción de plomo del agua superficial del Lago Titicaca mediante *Azolla filiculoides*; por consiguiente, el

trabajo de investigación tuvo éxito, indicando que el macrófito absorbió el contaminante de plomo en un 28,13% a los 30 días; en definitiva, concluyó que la *Azolla filiculoides* es bastante efectiva en la absorción de metales pesados, incrementando su porcentaje de remoción de acuerdo al aumento y transcurso del tiempo.

Merma (2016) evaluó la remoción de molibdeno y cobalto a través de la utilización de biomasa *Azolla filiculoides* a partir de la instalación de 10 pozos de madera, para ello, agregó 700 gramos de *Azolla* en cada pozo con diferentes concentraciones de molibdeno y cobalto; así mismo, se señala que presentó diferencias estadísticas significativas, teniendo un porcentaje de remoción para el cobalto de 3,36% correspondiente a una concentración de 2 ug L^{-1} , mientras que para el molibdeno fue de 3,21% a una concentración de 5 ug L^{-1} .

Guevara (2021) evaluó la eficiencia de *Azolla filiculoides* en la remoción de cadmio en aguas residuales; así mismo, mencionó que la especie remueve por si sola el metal sin agregar ningún nutriente para el desarrollo de la planta, por lo que esta fitorremediación contribuye una buena estrategia en la solución de problemas en la contaminación de agua; no obstante, el logro exitoso de este trabajo se debió a que los resultados demostraron que la *Azolla filiculoides* alcanzó una cantidad máxima de remoción de 98,10% durante 15 días.

Las diferentes investigaciones demuestran que la *Azolla* tiene la capacidad de tratar aguas contaminadas; a la vez, pretende ser una de las tecnologías más limpias y económica para remediar efluentes con metales pesados en los recursos hídricos. Por lo tanto, la presente investigación y de acuerdo a la información obtenida se realizó una investigación experimental con el uso de *Azolla* sp. para captar plomo del agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca.

2.2. Bases teórico-científicas

2.2.1. Contaminación por metales

Según Encinas (2011) la contaminación es la presencia de sustancia nocivas ya sea de forma sólida, líquida o gaseosa que está presente en el agua, aire y suelo, afectando negativamente la salud humana y el medio ambiente. Por otro lado, Pérez (2021) menciona que la contaminación por metales cada vez es más grave en los distintos espacios de la tierra, causando cambios bruscos del clima, ocasionando tormentas con mayor intensidad, acabando con la flora y fauna; considerando, que el principal causante es el ser humano.

2.2.2. Efectos

2.2.2.1. Efectos ambientales

Palacios y Moreno (2022) mencionan que, en el ambiente la contaminación de cualquier agente físico, químico o biológico afecta tanto al agua, aire y suelo, provocando el cambio climático, extinción de la flora y fauna, destrucción de la capa de ozono, aguas ácidas entre otros; en consecuencia, de las actividades antropogénicas.

2.2.2.2. Efectos hidrológicos

A nivel mundial se estima que dos millones de desechos son tirados diariamente al agua, entre ellos, se encuentran efluentes industriales, efluentes químicos y domésticos; además, fertilizantes y pesticidas, por ende, afecta a las alteraciones en los ciclos hidrológicos, provocando sequías o inundaciones, salinización, eutrofización y cambios en la temperatura del agua oceánica con desequilibrios ecológicos en las especies (Gait y Pierotto, 2010).

2.2.2.3. Efectos en la salud humana

La contaminación ya sea del tipo natural o antropogénico, está acarreado grandes enfermedades en el ser humano como por ejemplo transarnos cerebrales, pulmonares e hígado; Además, “daños en los sistemas cardiovascular, inmunológico y hormonal, así como efectos

reproductivos y teratogénicos, mutaciones y cáncer”, provocando incluso la muerte (Palacios y Moreno, 2022).

2.2.3. Fitorremediación

De acuerdo con Agudelo *et al.* (2005), la palabra fitorremediación proviene de phyto = planta y remediación = mal por corregir; por lo tanto, la fitorremediación es el proceso eficaz para remover contaminantes a través de plantas, contribuyendo como una alternativa de solución de menos costo para remediar daños ambientales y efluentes contaminados sin perturbar los recursos naturales existentes.

Según Rivera *et al.* (2024), un claro ejemplo de fitorremediación que actualmente se está promoviendo en tratar aguas contaminadas es mediante la *Azolla* spp, *Lemna minor* (lenteja de agua) y *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua), puesto que estas especies por su alta tasa de crecimiento tienen la capacidad de atrapar iones metálicos; además, absorben nutrientes como nitrógeno y fósforo fortaleciendo su desarrollo para tratar específicamente ambientes contaminados.

2.2.4. Técnicas de fitorremediación

Considerando la fitorremediación como una de las tecnologías más limpias para eliminar contaminantes y, jugando las plantas un papel muy importante en este proceso de remediación, “dependiendo del tipo de contaminante, condiciones del sitio y nivel de limpieza las tecnologías de fitorremediación pueden utilizarse como un medio de contención” (Delgadillo *et al.*, 2011).

Estas técnicas de fitorremediación se clasifican en:

2.2.4.1. Fito-degradación o fito-transformación

Es un proceso mediante el cual las plantas por medio de sus tejidos realizan actividades enzimáticas para transformar contaminantes orgánicos como hidrocarburos, herbicidas,

tricloroetileno entre otros asimilables por la planta para convertirlos en subproductos menos tóxicos (Núñez *et al.*, 2004).

2.2.4.2. Fito-estimulación o rizo-degradación

Esta tecnología es aplicable para degradar compuestos orgánicos como hidrocarburos derivados del petróleo, compuestos aromáticos y surfactantes, convirtiéndose en sustancias poco tóxicas; además, sirve de alimento a la planta para que a través de sus actividades metabólicas y fisiológicas lo liberan en azúcares simples, aminoácidos y nutrientes, siendo transportados desde la parte superior hasta las raíces (Delgadillo *et al.*, 2011).

2.2.4.3. Fito-volatilización

Consiste en la captación de iones metálicos como mercurio y selenio presentes en el suelo, sedimentos o agua, donde mediante la fotólisis se volatiliza, degrada y transporta desde las raíces de la planta hasta la parte superior, la cual es liberada por medio de la transpiración (Núñez *et al.*, 2004).

2.2.4.4. Fito-estabilización

Este tipo de estrategia hace uso de plantas que realicen un denso sistema radicular para remover contaminantes como metales (plomo, cobre, cadmio, etc.) mediante mecanismos de secuestro, lignificación y humificación, para disminuir la tasa de concentración y limitando la inmovilización vertical de contaminantes hacia mantos freáticos (Arias *et al.*, 2010).

2.2.4.5. Fito-extracción o fito-acumulación

En este sistema se aprovecha plantas metalofitas o hiperacumuladoras que tienen la capacidad de extraer contaminantes principalmente metales y ser acumulados en las raíces, tallos y follaje, siendo una tecnología primordial para tratar suelos, sedimentos y lodos (Núñez *et al.*, 2004).

2.2.4.6. Rizo-filtración

Las plantas hacen uso de las raíces para remediar contaminantes orgánicos e inorgánicos y ser convertidos en sustancias más amigables, siendo ideal para descontaminar aguas subterráneas, superficiales y residuales (Levitus *et al.*, 2010).

2.2.5. Descripción de la Azolla

Según Santos (2019), la *Azolla* sp. se le conoce también como “helecho de agua”, “helecho flotante”, “doradilla” o “yerba de agua”, este helecho tiene gran capacidad de remover contaminantes, puesto que presenta ciertas características que lo hacen única según su clasificación taxonómica como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1

Clasificación taxonómica de la Azolla

Clasificación	taxonómica
Reino	Plantae
División	Pteridophyta
Clase	Pteridopsida
Orden	Salviniales
Familia	Azollaceae / Salviniaceae
Género	<i>Azolla</i>

Nota: La tabla muestra la clasificación taxonómica de la *Azolla* (Santos, 2019).

El macrófito está compuesta por gran cantidad de hojas pequeñas de 2-4 mm de extensión aproximadamente; así mismo, estas hojas presentan colores que oscilan entre rojo y purpura en sol y en sombra un verde pálido o azulado; también, consta con tallos que cuelgan hacia abajo, donde surgen los pelos absorbentes de forma endógena cubiertas por hojas bilobuladas, presentando en sus cavidades el alga *Anabaena*, la cual almacena nitrógeno en una proporción de 155-250 mg m⁻² para producir amonio y fósforo de 60-75 mg m⁻² por día;

además, este helecho puede duplicar su masa durante cuatro días, siendo el fósforo lo más importante para su multiplicación (Méndez *et al.*, 2018).

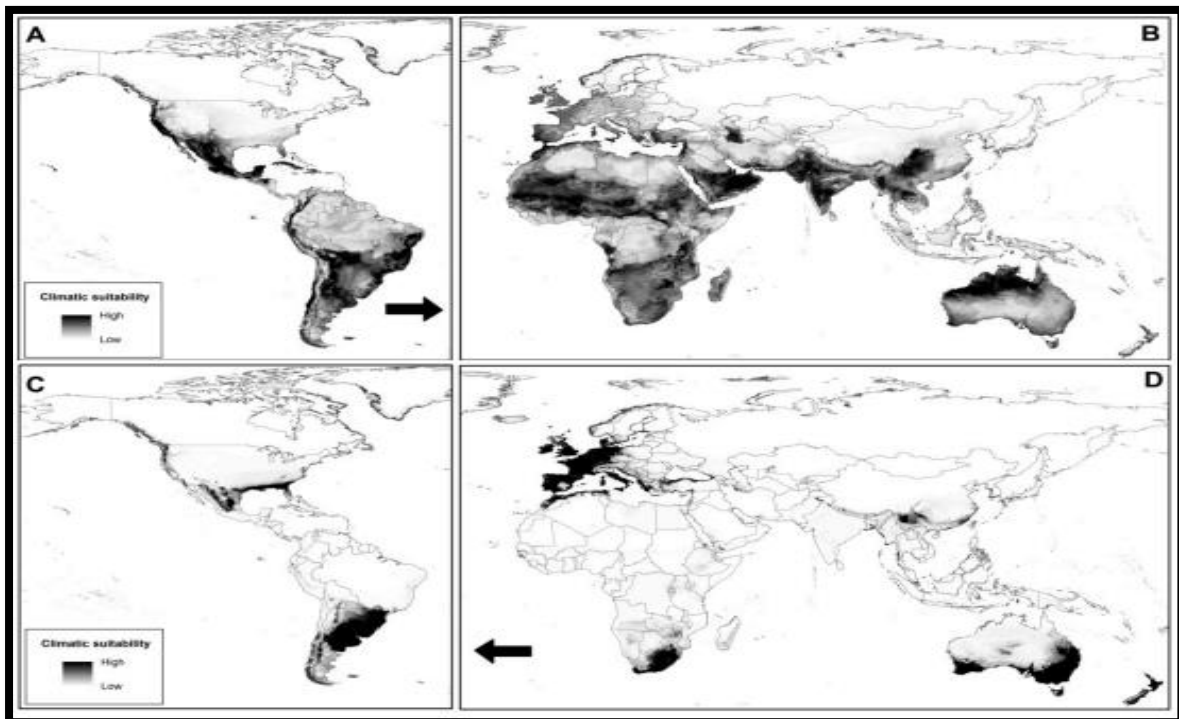
2.2.6. Distribución

La *Azolla* sp. representa a diminutos helechos acuáticos que se encuentran habitando en superficies acuáticas, considerándose nativa de Asia y África, también está distribuida en zonas templadas y tropicales como canales, lagunas y otros cuerpos de agua (Méndez *et al.*, 2018).

Así mismo, Rivera *et al.* (2017) expresan que el género *Azolla* presenta seis especies fundamentales como es: “*A. pinnata* que es la más abundante en Asia, *A. nilotica* (norte de África), *A. filiculoides* (Sudamérica meridional hasta Norteamérica Occidental), *A. caroliniana* (Norteamérica oriental y el Caribe), *A. mexicana* (Sudamérica septentrional hasta Norteamérica occidental) y *A. microphylla* (América tropical y subtropical)”.

Figura 1

Distribución de la Azolla



- **Descripción.** La figura muestra la distribución potencial actual de la *Azolla* basado en modelos recíprocos, donde “(A) Modelo calibrado con presencias nativas y (B) modelo proyectado sobre el área de distribución invasora. (C) Modelo proyectado sobre el área de distribución nativa y (D) modelo calibrado con presencias invasoras”, puesto que los tonos más oscuros indican mayor idoneidad ambiental. (Rodríguez *et al.*, 2019).

2.2.7. Mecanismo de fitorremediación más efectivos relacionados a la remoción de plomo

2.2.7.1. Fito-extracción

Este mecanismo se realiza mediante la utilización de plantas acumuladoras de elementos tóxicos capaces de absorberlos y retenerlos en las partes cosechables (Velásquez y Cobeña, 2022), considerando a las plantas como una de las tecnologías más limpias para remediar contaminantes tóxicos, de acuerdo con Delgadillo *et al.* (2011) “las plantas absorben metales contaminantes mediante las raíces de las plantas y lo acumulan en los tallos y hojas”.

2.2.7.2. Rizo-filtración

Velásquez y Cobeña (2022) mencionan que las plantas hacen uso de las raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua y de otros efluentes acuosos, contaminantes orgánicos e inorgánicos a través de las raíces, de acuerdo a Delgadillo *et al.* (2011), expresa que “los vegetales utilizan sus raíces para eliminar o disminuir contaminantes del medio hídricos”.

En resumen, haciendo uso de estos dos mecanismos las especies consideradas como hiperacumuladoras (*Azolla sp.*) utilizan sus raíces para fijar contaminantes como metales pesados para luego acumularlos en su pared celular de la planta (Rivera *et al.*, 2021).

2.2.8. Condiciones ambientales para el crecimiento de la *Azolla sp*

La *Azolla sp.* es un macrófito que al igual que otras plantas comprende ciertos factores para poder crecer y desarrollarse, la cual comprende ciertas condiciones ambientales para mantener así un sistema simbiótico en buenas condiciones (Cirujano *et al.*, 2015).

Tabla 2

Condiciones ambientales para el crecimiento de la Azolla sp.

PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Temperatura	Crecimiento óptimo	25 °C
Humedad	Factor más afectante para el crecimiento	85%
	Sobrevivencia de la <i>Azolla</i> y crecimiento	3,5-10 y 4,5-7,5
pH	optimo	respectivamente
Luminosidad	Adquiere luz directamente del sol (plantas más vigorosas)	100%
	P, K, Mg y Ca	0,4-0,9; 1,56; 22 y 20 mg L ⁻¹ respectivamente.
		50, 20, 0,3, 30, 20 µg L ⁻¹
Nutrientes	Fe, Mn, Mo, B y Co	respectivamente.

Nota. La tabla muestra las condiciones ambientales que debe tener la *Azolla sp.* para su respectivo desarrollo y crecimiento.

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Agua

Lupi *et al.* (2020) afirman que, el 71 % del planeta tierra es agua, el 2,5% está compuesto por agua dulce, siendo un recurso indispensable para la existencia de los seres vivos, el agua dulce es muy importante para la humanidad, puesto que mediante ello se desarrollan todas las actividades sociales, económicas y ambientales. Sin embargo, la contaminación de

agua suele ser un problema de abastecimiento para el desarrollo sostenible de los recursos ambientales, incluyendo el ser humano (Camargo y Camacho, 2019).

2.3.2. Contaminación de agua

La contaminación del agua es la acción de agregar cualquier material en el agua modificando su composición química, física y biológica; sin embargo, es un problema mundial que todos debemos contribuir al cuidado de este recurso indispensable para la existencia y el desarrollo de nuestras actividades diarias (Guadarrama *et al.*, 2016).

2.3.3. Calidad de agua

De acuerdo a Briñez *et al.* (2012), la calidad del agua es un valor fundamental que contribuye al desarrollo sostenible de la salud humana, el crecimiento económico y el bienestar humano; por lo tanto, proporcionar información sobre el control y la vigilancia de la calidad del agua es importante para evitar molestias y enfermedades que pueden causar al medio ambiente y la salud de las personas.

2.3.4. Plomo

El plomo es un metal bastante tóxico que acarrea grandes problemas ambientales, debido a sus exposiciones puede causar grandes enfermedades o la muerte por el envenenamiento de los animales, plantas incluyendo a la salud humana (Rubio *et al.*, 2004).

2.3.5. Fitorremediación

La fitorremediación es el uso de ciertas plantas que tengan la capacidad de remover ciertos contaminantes presentes en el agua, aire y suelos; también, “es un conjunto de tecnologías que reducen *in situ* o *ex situ* la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas” (Delgadillo *et al.*, 2011).

2.4. Hipótesis

2.4.1. *Hipótesis alterna (H1):*

La *Azolla* sp. es eficiente en la remoción de plomo del agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca 2024.

2.4.2. *Hipótesis nula (H0):*

La *Azolla* sp. no es eficiente en la remoción de plomo del agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca 2024.

2.5. Operacionalización de variables

Tabla 3

Operación de variables

TIPO DE VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	ESCALA DE MEDICIÓN	
Variable independiente	Helecho de agua (<i>Azolla</i> sp.)	El macrófito <i>Azolla</i> sp. es considerada planta acuática que tiene la capacidad de descontaminar el medio acuático con una alta tasa de crecimiento y desarrollo (Ballesteros, 2011).	Cantidad de <i>Azolla</i> sp. utilizada en los experimentos.	Gramos (g) (40 g y 60 g).	Razón proporción
Variable dependiente	Plomo	La presencia del metal en el medio ambiente se produce de forma natural o antropogénica, muy dañina para los seres vivos y ser humano, puesto que no se descomponen fácilmente (Rubio <i>et al.</i> , 2004).	Concentración de plomo absorbida por la <i>Azolla</i> sp. Porcentaje de remoción de plomo en el agua.	mg L ⁻¹ (miligramos por litro). % de remoción.	Razón proporción

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y nivel de la investigación

El tipo de investigación fue cuantitativa, y se clasificó como experimental porque manipuló variables para observar sus efectos, en este caso la capacidad de *Azolla* sp. de remover plomo del agua. También, fue aplicada, puesto que buscó un resultado práctico (eficiencia de la fitorremediación). Además, el nivel de investigación fue explicativo, buscando determinar la relación causal entre la presencia de *Azolla* sp. y la concentración de plomo, evaluando el impacto de un hecho sobre otro (Hernández *et al.*, 2014).

3.2. Diseño de la investigación

De acuerdo a las características de la investigación, fue experimental; por consiguiente, cuantitativa, correlacional y comparativa debido a que permitió determinar la presencia de datos explicándose en una realidad objetiva; así mismo, permitió detallar y vincular los fenómenos que ocurrieron en el experimento respectivamente y discutirlo en comparación de otras revisiones bibliográficas, determinando la eficiencia de la *Azolla* sp. en la remoción de plomo del agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca.

De acuerdo a Hernández *et al.* (2014), la investigación fue del tipo de diseño experimento puro, diseño de preprueba y posprueba; al análisis el plomo en el agua antes de tratamiento se obtuvo como testigo un dato de referencia inicial; por consiguiente, se aplicó la fitorremediación y a los 21 días se constató la eficiencia de la *Azolla* sp. en eliminar el plomo del agua.

E	G ₁	X ₁	O ₁
E	G ₂	X ₂	O ₂
E	G ₃	---	O ₃

Donde:

- E: muestra del volumen de agua.
- G₁: preprueba del agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca.
- X₁: tratamiento con 40 gramos de *Azolla* sp.
- X₂: tratamiento con 60 gramos de *Azolla* sp.
- ---: muestra control.
- O₁: posprueba del agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca después de haber estado 21 días con la *Azolla* sp.

3.3. Métodos de investigación

3.3.1. Método general

El método general de la investigación fue hipotético deductivo-comparativo; es decir, se explicó que si la afirmación de la hipótesis planteada sobre la fitorremediación de *Azolla* sp. es significativo en la remoción de plomo total del agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca; se buscó refutarla o falsearla, de acuerdo a los resultados obtenidas con los datos recolectados en laboratorio (Carrasco, 2008).

3.3.2. Método específico

El método específico empleado para esta investigación fue experimental, puesto que las variables fueron manipuladas: *Azolla* sp. y concentración de plomo, observados mediante experimentos (Carrasco, 2008).

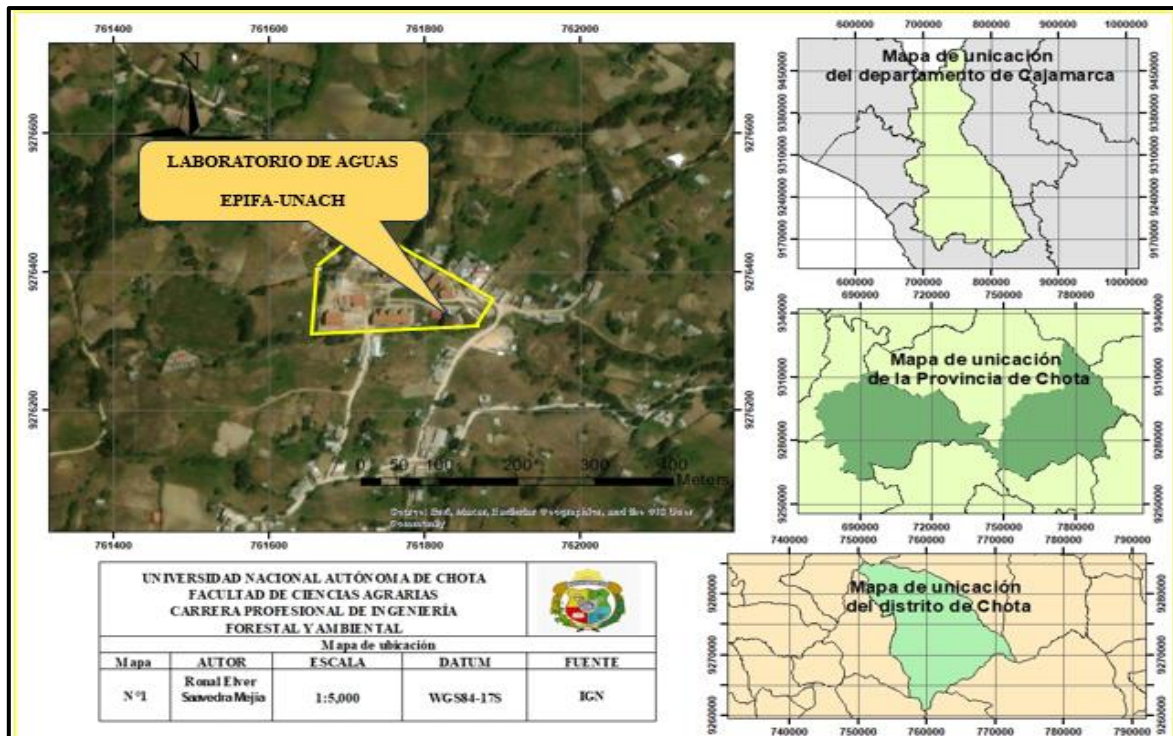
3.3.3. Metodología

3.3.3.1. Ubicación geográfica

La presente investigación se desarrolló y ejecutó en el departamento de Cajamarca, provincia de Chota, distrito Chota, específicamente en el laboratorio de aguas de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental en la Universidad Nacional Autónoma de Chota, ubicado en la comunidad de Colpamatara, a 15 minutos de la ciudad de Chota.

Figura 2

Mapa de ubicación satelital de instalación de experimentos



3.3.3.2. Recolección de la *Azolla* sp

La recolección de la *Azolla* sp. se realizó en el escarpado del valle de Huacapampa perteneciente a la provincia de Celendín con coordenada UTM: Este 818469 y Norte 9232803; así mismo, dichas muestras fueron trasladadas al laboratorio de aguas de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental en la Universidad Nacional Autónoma de Chota. Después de la recepción de *Azolla* sp., se procedió inmediatamente a realizar el lavado para ser aisladas en cada repetición con muestras del agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca.

3.3.3.3. Recolección del agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca

La toma de muestras de agua se llevó a cabo en el río Tingo Maygasbamba, distrito de Bambamarca, Provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca presentando las siguientes coordenadas UTM: Norte: 9262832 m; Este: 773042 m; Altitud: 2585 m.s.n.m.

En la toma de muestra del agua superficial se utilizó un recipiente transparente de 20 litros, guardapolvo y guantes de látex. Para saber la concentración de plomo del agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca antes de ser sometido a tratamiento, se tomó 250 mililitros de agua, del recipiente de 20 litros ya recolectados, luego ser enviado al Laboratorio Regional del Agua, acreditado por el Organismo Peruano de Acreditación (INACAL-DA), con registro N° LE-084, Cajamarca. La muestra fue enviada en un cooler y para el ingreso al laboratorio de análisis estuvo acompañada de la cadena de custodia donde se indicó el metal plomo para su respectivo análisis.

3.3.3.4. Instalación del experimento

El experimento constó de dos tratamientos, cada tratamiento constó de tres repeticiones y cada repetición tuvo 3 litros de agua, lo cual se depositaron en bandejas transparentes; así mismo, a cada repetición se aplicó un estímulo o tratamiento de masa fresca de *Azolla* sp. de la siguiente manera:

En el T₁ se inocularon 40 gramos de *Azolla* sp., a cada una de las repeticiones; el T₂, 60 gramos, a la vez, cada unidad experimental estuvo acondicionado a temperatura y luz de ambiente a escala de laboratorio a condiciones no controladas durante todo el tiempo de investigación teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- **Tiempo:** El tiempo de tratamiento que se utilizó fue de acuerdo al trabajo de investigación de Ballesteros (2011) donde nos indica que, a mayor tiempo de residencia mayor es la absorción, es por ello que se tomó un tiempo representativo de 21 días, indicando que en dicha investigación se logró tener una eficiencia de 85 % durante 15 días de tratamiento.
- **Cantidad de *Azolla* spp:** las diferentes revisiones bibliográficas dieron a conocer que se utilizó las unidades de masa (kg, g y mg). Por tanto, en la presente investigación se utilizó la masa en gramos de *Azolla* sp. en dos cantidades diferentes de 40 gramos y 60

gramos, con la finalidad de ver el comportamiento de la absorción del metal plomo como se dio a conocer en la investigación de Soto (2019).

- **Cantidad de agua.** La cantidad de agua utilizada se basó en el trabajo de Ballesteros (2011), dado que en dicho estudio se emplearon recipientes de vidrio para 1,5 litros de agua. Por lo tanto, se optó por usar volúmenes más reducidos de los que utilizó Soto (2019). El experimento incluyó dos tratamientos, cada uno con tres repeticiones con un total de seis muestras, a cada uno se le añadieron 3 litros de agua, lo que resultó en un total de 18 litros.

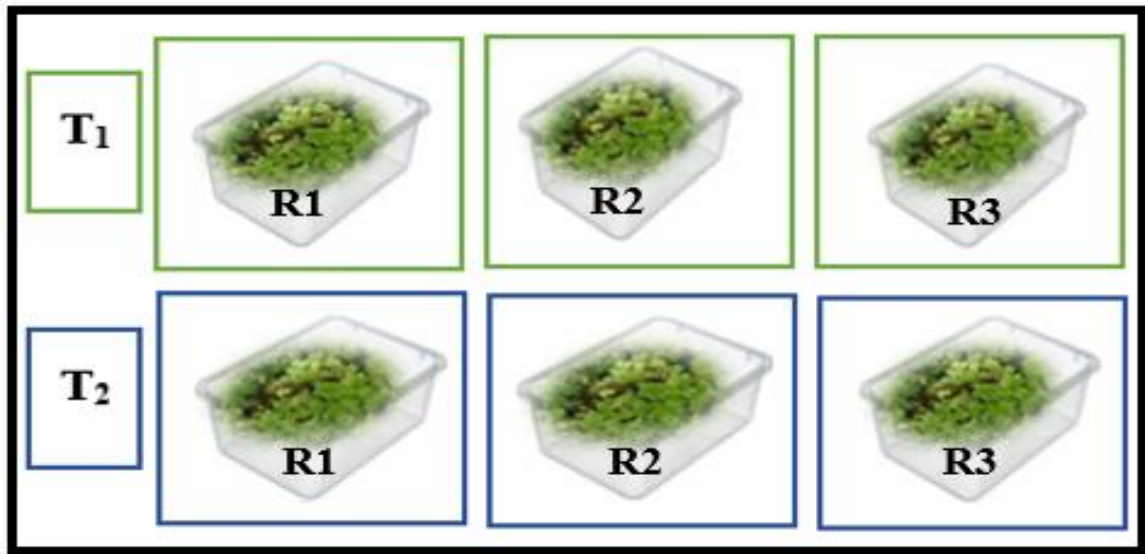
3.3.3.5. Distribución de tratamientos

La tabla 4 de la presente investigación muestra los tratamientos distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 4

Distribución de tratamientos

TRATAMIENTOS		REPETICIONES		
<i>Azolla spp</i>		R₁	R₂	R₃
T₁		40 gramos de <i>Azolla</i> sp. + 3 litros de agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca.	40 gramos de <i>Azolla</i> sp. + 3 litros de agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca.	40 gramos de <i>Azolla</i> sp. + 3 litros de agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca.
T₂		60 gramos de <i>Azolla</i> sp. + 3 litros de agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca.	60 gramos de <i>Azolla</i> sp. + 3 litros de agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca.	60 gramos de <i>Azolla</i> sp. + 3 litros de agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca.

Figura 3*Distribución de tratamientos***3.3.4. Análisis en laboratorio**

El análisis de muestras se realizó a través del método usado por el laboratorio EPA Method 200.7 Rev. 4.4. 1994 (Validado). Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry, autorizado por el Instituto Nacional de Calidad Ambiental, con reconocimiento N° LE-084 del laboratorio Regional de Cajamarca.

3.3.5. Evaluación de la eficiencia de la *Azolla spp.* en la remoción de plomo

Después de haber obtenido la concentración por espectrometría de Absorción Atómica (AA), a los 21 días de fitorremediación se pudo conocer el porcentaje de remoción de plomo del agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca mediante la siguiente fórmula.

$$\% \text{ de eficiencia} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

Donde:

C_i = concentración inicial de plomo en el efluente

C_f = concentración final de plomo en el efluente

3.3.6. Materiales

3.3.6.1. Material biológico

- Material biológico de *Azolla* sp.

3.3.6.2. Materiales y equipos

- Bandejas transparentes
- Agua
- GPS, marca: GARMIN, modelo: GPSmap76CSx (para localización de puntos).
- Laptop.
- Microsoft Word Office 2016.
- Microsoft Excel Office 2016.
- Cámara digital,
- Fichas de campo.
- Materiales de escritorio.

3.4. Población, muestra y muestreo

3.4.1. Población

La población estuvo constituida por el agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca.

3.4.2. Muestra

Para la muestra se estableció un volumen de 20 litros de agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca; seguidamente, fue trasladado al laboratorio de aguas de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental en la Universidad Nacional Autónoma de Chota, donde fue instalado los experimentos.

3.4.3. Muestreo

De acuerdo a Tamara y Manterola (2017), se empleó el muestreo probabilístico aleatorio simple; es decir, se garantizó que todas las repeticiones tengan la oportunidad de ser

analizadas de forma aleatorizada, donde la probabilidad de selección de una repetición fue independiente de la probabilidad que tuvo el resto de repeticiones.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnicas de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos para la presente investigación dependieron específicamente de los análisis en laboratorio, con la fiabilidad de resultados para cada parámetro.

La tabla 5 muestra las diferentes técnicas utilizadas en la recolección de datos para los parámetros de plomo, pH, conductividad eléctrica y temperatura, asimismo presenta su norma de referencia y tipo de matriz en análisis.

Tabla 5

Técnicas de recolección de datos de laboratorio

PARÁMETRO	TÉCNICA/NORMA DE REFERENCIA	TIPO DE MATRIZ
Plomo	EPA 200.7, Rev. 4.4, 1994. (Validado-Modificado). 2020: Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry	Agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca
pH	Instrumental - Potencial de hidrógeno pHmetro	Agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca
Conductividad eléctrica	Instrumental - Conductímetro	Agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca
Temperatura	Termómetro	Agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca

3.5.2. Instrumentos de recolección de datos

3.5.2.1. Ficha de registro

Estuvo especialmente diseñado para registrar detalles importantes como por ejemplo el momento de recojo de cada muestra de agua. También tuvo campos para registrar la fecha, hora de recolección, coordenadas de la ubicación del punto de muestreo (mediante GPS) y resultados de la observación; así mismo, se registró cualquier evento o circunstancia especial en la ficha de registro.

3.5.2.2. Cadena de custodia

La cadena de custodia fue esencial, puesto que mantuvo la validez de las muestras de campo al laboratorio, el plazo de entrega, almacenamiento sin contaminación cruzada, manipulación o pérdida, asegurando las condiciones de entrega; también, este documento permitió que las muestras almacenen y analicen la confiabilidad de los datos verificando la calidad y fiabilidad de los resultados de la investigación.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El manejo y evaluación de los datos recabados en este estudio se realizó a través de técnicas estadísticas descriptivas, que posibilitan una interpretación clara y precisa de las concentraciones de plomo y parámetros fisicoquímicos (Temperatura, Conductividad Eléctrica y pH) evaluados en laboratorio. Para el estudio, exposición y organización de datos, se empleó el programa de cálculo Microsoft Excel Office 2016 (tablas, figuras, porcentajes y cuadros de explicación), mientras que las pruebas de normalidad, ensayos de hipótesis y correlación entre las distintas variables analizadas se empleó el software SPSS.

3.7. Aspectos éticos

En la presente investigación se tuvo en cuenta la originalidad e integridad académica. Se evitó el plagio, adoptando medidas de parafraseo y la citación de fuentes confiables utilizadas; no obstante, en el estudio no solo se cumplió con los estándares éticos de la

investigación, sino que también se promovió la originalidad, calidad y creatividad con sujeción a los principios de honestidad, integridad y transparencia en el desarrollo del trabajo de investigación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Descripción de resultados

4.1.1. Estimación de la temperatura en el agua superficial del río Tingo Maygasbamba

En la presente tabla se muestran los valores de temperatura estimados para el pretratamiento y postratamiento con 40 g y 60 g de *Azolla* sp.

Tabla 6

Estimación de la temperatura en el agua superficial del río Tingo Maygasbamba

VARIABLES	ESTIMACIÓN DE LA TEMPERATURA (°C)			
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio
Pretratamiento	18,6	18,6	18,6	18,6
T₁-40 gramos	16,5	16,7	16,8	16,7
T₂-60 gramos	16,4	16,6	16,7	16,6

Nota. Esta tabla muestra como variaron los valores de temperatura de acuerdo al tiempo de evaluación para el pretratamiento y postratamiento.

4.1.2. Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk) para la temperatura

Se realizó la prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para la temperatura, señalando que los datos son menores a 30, esto se realizó con la finalidad de constatar la distribución normal o no normal de los datos.

➤ Hipótesis

H₀: La distribución de los datos temperatura son normales.

H₁: La distribución de datos temperatura no son normales.

Nivel mínimo de significancia $\alpha = 0,05$.

Tabla 7*Pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) para la temperatura*

VARIABLES	PRUEBAS DE NORMALIDAD (SHAPIRO WILK)		
	Repeticiones	promedio	p-valor
Pretratamiento	3	18,6	sd
T₁-40 gramos	3	16,6	0,637
T₂-60 gramos	3	16,7	0,637

- **Interpretación:** En la Tabla 7, se muestra la prueba de Shapiro-Wilk para el parámetro promedio temperatura, donde el p-valor para los dos tratamientos T₁ y T₂ es mayor al nivel mínimo de significancia (0,05), mientras para el pretratamiento su variable es constante. Por lo tanto, se aceptó H₀ y se rechazó H₁, esto constató que los datos se distribuyen normalmente, en tal sentido se aplicó la prueba paramétrica a través del análisis de varianza ANOVA.

4.1.3. Análisis de Varianza (ANOVA) para la temperatura

➤ **Hipótesis**

H₀: Las temperaturas son iguales (T₁=T₂).

H₁: Las temperaturas son diferentes (T₁≠T₂).

Tabla 8*Análisis de varianza (ANOVA) para la temperatura por efecto del tiempo de evaluación*

PRUEBA DE ANÁLISIS DE VARIANZA					
F.V.	GL	SC	CM	F	P-valor
Tratamientos	2	7,882	3,941	253,357	<0,001*
Error	6	0,093	0,016		
Total	8	7,976			

Nota: * Significativo a 5% de probabilidad según la prueba de F.

- **Interpretación:** En la Tabla 8, se observa que el p-valor de la prueba análisis de varianza ANOVA fue $<0,001$, esto indica que es menor al nivel mínimo de significancia (0,05). Por lo tanto, se rechaza H_0 y se acepta H_1 , lo que indica que los valores de temperatura para los tratamientos se comportaron de manera diferente.

4.1.4. Pruebas de Comparación Múltiple (Tukey) para la temperatura

Tabla 9

Prueba de Tukey para el parámetro temperatura

PRUEBA DE COMPARACIÓN MÚLTIPLE DE TUKEY		
VARIABLES	Promedio de los valores de temperatura	
Pretratamiento	18,6	c
T ₁ -40 gramos	16,7	b
T ₂ -60 gramos	16,6	a

Nota: Letras diferentes en la columna difieren estadísticamente según la prueba de Tukey a 5% de probabilidad.

- **Interpretación:** En la Tabla 9, según la prueba de Tukey podemos afirmar con un nivel de significación 5% para el parámetro promedio temperatura por efecto de diferentes tratamientos y tiempo de evaluación, fue constatado estadísticamente que el T₂, con 60 gramos de *Azolla* sp., con significación “a”, presentó menor disminución de Temperatura, seguido por el T₁ con 40 gramos de *Azolla* sp., con significación “b”, superando estadísticamente en disminución al pretratamiento con significación “c”.

4.1.5. Estimación de la conductividad eléctrica en el agua superficial del río Tingo

Maygasbamba

Tabla 10

Estimación de la conductividad eléctrica en el agua superficial del río Tingo Maygasbamba

VARIABLES	ESTIMACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (uS cm ⁻¹)			
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio
Pretratamiento	908	908	908	908
T1-40 gramos	896	854	835	861,6
T2-60 gramos	824	845	825	831,3

Nota. Esta tabla muestra como varían los valores de conductividad eléctrica de acuerdo al tiempo de evaluación, para el pretratamiento y postratamiento.

4.1.6. Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk) para la conductividad eléctrica

Se realizó la prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para la conductividad eléctrica, señalando que los datos son menores a 30, esto se realizó con la finalidad de constatar la distribución normal o no normal de los datos.

➤ Hipótesis

H₀: La distribución de los datos conductividad eléctrica son normales.

H₁: La distribución de datos conductividad eléctrica no son normales.

Nivel mínimo de significancia $\alpha = 0,05$.

Tabla 11

Pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) para la conductividad eléctrica

VARIABLES	PRUEBAS DE NORMALIDAD (SHAPIRO WILK)		
	Repeticiones	promedio	p-valor
Pretratamiento	3	908	sd
Plomo-T₁	3	861,6	0,591
Plomo-T₂	3	831,3	0,081

- **Interpretación:** En la Tabla 11, se muestra la prueba de Shapiro-Wilk para el parámetro promedio Conductividad Eléctrica, donde el p-valor para los dos tratamientos T₁ y T₂, es mayor al nivel mínimo de significancia (0,05), mientras para el pretratamiento su variable es constante. Por lo tanto, se aceptó H₀ y se rechazó H₁, constatando que la distribución de los datos es normal, en tal sentido se aplicó la prueba paramétrica a través del análisis de varianza ANOVA.

4.1.7. Análisis de Varianza (ANOVA) para la conductividad eléctrica

- **Hipótesis**

H₀: Los datos de conductividad eléctrica son iguales (T₁=T₂).

H₁: Los datos de conductividad eléctrica son diferentes (T₁≠T₂).

Tabla 12

Análisis de varianza (ANOVA) para la conductividad eléctrica por efecto de diferentes tratamientos y tiempo de evaluación

PRUEBA DE ANÁLISIS DE VARIANZA					
F.V.	GL	SC	CM	F	P-valor
Tratamientos	2	8,944,667	4,472,333	12,037	0,008*
error	6	2,229,333	371,556		
Total	8	11,174,000			

Nota: * Significativo a 5% de probabilidad según la prueba de F.

- **Interpretación:** En la Tabla 12, se observa que el p-valor de la prueba análisis de varianza ANOVA fue menor al nivel mínimo de significancia (0,05). Por lo tanto, se rechaza H_0 y se acepta H_1 , lo que indica que los valores de conductividad eléctrica para los tratamientos son diferentes.

4.1.8. Pruebas de Comparación Múltiple (Tukey) para la conductividad eléctrica

Tabla 13

Prueba de Tukey para el parámetro conductividad eléctrica

PRUEBA DE COMPARACIÓN MÚLTIPLE DE TUKEY		
VARIABLES	Promedio de los valores de conductividad eléctrica	
Pretratamiento	908	c
T ₁ -40 gramos	861,6	bc
T ₂ -60 gramos	831,3	a

Nota: Letras diferentes en la columna difieren estadísticamente según la prueba de Tukey a 5% de probabilidad.

- **Interpretación:** En la Tabla 13, según la prueba de Tukey podemos afirmar con un nivel de significación 5% para el parámetro promedio conductividad eléctrica por efecto de diferentes tratamientos y tiempo de evaluación, fue constatado estadísticamente que el T₂, con 60 gramos de *Azolla* sp., con significación “a”, presentó menor disminución de Conductividad, seguido por el T₁, con 40 gramos de *Azolla* sp., con significación “bc”, lo cual indica que estadísticamente es igual al pretratamiento, con significación “c”, pero numéricamente el que presenta menor Conductividad fue el T₂.

4.1.9. Estimación del pH en el agua superficial del río Tingo Maygasbamba

Tabla 14

Estimación del pH en el agua superficial del río Tingo Maygasbamba

VARIABLES	ESTIMACIÓN DEL pH			
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio
Pretratamiento	7,39	7,39	7,39	7,39
T₁-40 gramos	7,47	7,43	7,46	7,45
T₂-60 gramos	7,49	7,64	7,62	7,58

Nota. Esta tabla muestra las variaciones de los valores de pH según al tiempo de evaluación, para el pretratamiento y los dos tratamientos utilizados como fitorremediación.

4.1.10. Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk) para pH

Se realizó la prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para pH, señalando que los datos son menores a 30, esto se realizó con la finalidad de constatar la distribución normal o no normal de los datos.

➤ Hipótesis

H₀: La distribución de los datos pH son normales.

H₁: La distribución de datos pH no son normales.

Nivel mínimo de significancia $\alpha = 0,05$.

Tabla 15

Pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) para pH

VARIABLES	PRUEBAS DE NORMALIDAD (SHAPIRO WILK)		
	Repeticiones	promedio	p-valor
Pretratamiento	3	7,39	sd
T₁-40 gramos	3	7,45	0,463
T₂-60 gramos	3	7,58	0,235

- **Interpretación:** En la Tabla 15, se muestra la prueba de Shapiro-Wilk para el parámetro promedio pH, donde el p-valor para los dos tratamientos T_1 y T_2 , es mayor al nivel mínimo de significancia (0,05), mientras que para el pretratamiento su variable es constante. Por lo tanto, se aceptó H_0 y se rechazó H_1 , constatando que la distribución de los datos es normal, en tal sentido se aplicó la prueba paramétrica a través del análisis de varianza ANOVA.

4.1.11. Análisis de Varianza (ANOVA) para pH

➤ **Hipótesis**

H_0 : Los datos de pH son iguales ($T_1=T_2$).

H_1 : Los datos de pH son diferentes ($T_1 \neq T_2$).

Tabla 16

Análisis de varianza (ANOVA) para el pH por efecto de diferentes tratamientos y tiempo de evaluación

PRUEBA DE ANÁLISIS DE VARIANZA					
F.V.	GL	SC	CM	F	P-valor
Tratamientos error	2	0,058	0,029	12,373	0,007*
	6	0,014	0,002		
Total	8	0,072			

Nota: * Significativo a 5% de probabilidad según la prueba de F.

- **Interpretación:** En la Tabla 16, se observa que el p-valor de la prueba análisis de varianza ANOVA fue menor al nivel mínimo de significancia (0,05). Por lo tanto, se rechaza H_0 y se acepta H_1 , lo que indica que los valores de pH para los tratamientos son diferentes.

4.1.12. Pruebas de Comparación Múltiple (Tukey) para pH

Tabla 17

Prueba de Tukey para el parámetro pH

PRUEBA DE COMPARACIÓN MÚLTIPLE DE TUKEY		
VARIABLES	Promedio de los valores de pH	
Pretratamiento	7,39	c
T ₁ -40 gramos	7,45	b
T ₂ -60 gramos	7,58	a

Nota: Letras diferentes en la columna difieren estadísticamente según la prueba de Tukey a 5% de probabilidad.

- **Interpretación:** En la Tabla 17, según la prueba de Tukey podemos afirmar con un nivel de significación 5% para el parámetro promedio pH por efecto de diferentes tratamientos y tiempo de evaluación, fue constatado estadísticamente que el T₂, con 60 gramos de *Azolla* sp., con significación “a”, presentó mejor aumento de pH, seguido por el T₁ con 40 gramos de *Azolla* sp., con significación “b”, superando estadísticamente al pretratamiento con significación “c”.

4.1.13. Concentración de plomo en el agua superficial de río Tingo Maygasbamba, Bambamarca

Los resultados de concentración de plomo evaluada en el agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca procedió mediante el análisis fisicoquímico del Laboratorio Regional del Agua, Cajamarca durante el periodo de evaluación antes de ser sometido a tratamiento y después de tratamiento.

En la Tabla 18, se observa la concentración de plomo para el pretratamiento con un valor de 0,012 mg L⁻¹, dicho resultado es menor a los Estándares de Calidad Ambiental, específicamente a la Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales estimado por el

Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. En las repeticiones del T₁ con 40 gramos de *Azolla* sp. y el T₂, con 60 gramos, se evidenció a los 21 días de fitorremediación con *Azolla* sp., debido a la disminución de la concentración de 0,012 mg L⁻¹ hasta el valor menor de 0,004 mg L⁻¹ (menor al Límite de Cuantificación del Método estimado por Laboratorio) que la *Azolla* sp. absorbió el plomo del agua superficial del río Tingo Maygasbamba.

Tabla 18

Concentración de plomo en el agua superficial del río Tingo, Maygasbamba

TRATAMIENTO	CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN EL AGUA SUPERFICIAL DEL RÍO TINGO MAYGASBAMBA (mg L ⁻¹)			
	Repeticón 1	Repeticón 2	Repeticón 3	Promedio
(<i>Azolla</i> sp.)				
Pretratamiento	0,0120	0,0120	0,0120	0,0120
T₁-40 gramos	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
T₂-60 gramos	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004

Nota. Esta tabla muestra la variación de concentración de plomo en cada tiempo de evaluación, para el pretratamiento y postratamiento, donde 0,004 mg L⁻¹ es el valor del Límite de Cuantificación del Método (Laboratorio Regional del Agua-Cajamarca, 2024).

En este estudio se evidenció que ambos tratamientos presentaron disminución de plomo con valores menores al Límite de Cuantificación del Método; sin embargo, para realizar el análisis estadístico experimental se justificó tomando el valor del Límite de Cuantificación del Método de 0,004 mg L⁻¹ para ambos tratamientos, siendo los más claros y precisos para su análisis, señalando que no se cuenta con datos específicos para cada tratamiento después de aplicar la técnica de fitorremediación.

4.1.14. Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk) para la concentración de plomo

Se realizó la prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para la concentración de plomo, señalando que los datos son menores a 30, esto se realizó con la finalidad de constatar la distribución normal o no normal de los datos.

➤ Hipótesis

H₀: La distribución de los datos concentración de plomo son normales.

H₁: La distribución de datos concentración de plomo no son normales.

Nivel mínimo de significancia $\alpha = 0,05$.

Tabla 19

Pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) para la concentración de plomo

VARIABLES	PRUEBAS DE NORMALIDAD (SHAPIRO WILK)		
	Repeticiones	promedio	p-valor
Pretratamiento	3	0,012	sd
Plomo-T₁	3	0,004	<0,001
Plomo-T₂	3	0,004	<0,001

➤ **Interpretación:** En la Tabla 19, se muestra la prueba de Shapiro-Wilk para la concentración de plomo, donde el p-valor para los dos tratamientos T₁ y T₂ y pretratamiento son menores al nivel mínimo de significancia (0,05). Por lo tanto, se aceptó H₁ y se rechazó H₀, constatando que los datos no se distribuyen normalmente, en tal sentido se aplicó la prueba de correlación cuantitativa no paramétrica Spearman.

4.1.15. Correlación de Spearman entre concentración de plomo y tratamientos con *Azolla sp*

➤ Hipótesis

H₀: No existe relación significativa entre la concentración de plomo y los dos tratamientos con *Azolla sp*.

H₁: Existe relación significativa entre la concentración de plomo y los dos tratamientos con *Azolla sp*.

Nivel mínimo de significancia $\alpha = 0,05$.

Tabla 20

Correlación de Spearman para la concentración de plomo por efecto de diferentes tratamientos

Correlaciones de Spearman para la concentración de plomo por efecto de diferentes tratamientos			
Correlación	Correlación	Concentración de plomo	Tratamientos
Concentración de plomo	Correlación de Spearman	1	-0,866**
	Sig. (bilateral)		0,003
	N	3	3
Tratamientos	Correlación de Spearman	-0,866**	1
	Sig. (bilateral)	0,003	
	N	3	3

Nota: * Significativo a 5 % de correlación según la prueba B.

- **Interpretación:** La Tabla 20, muestra según la prueba Spearman con un nivel de significancia de 0,05 que si existe correlación negativa muy alta de -0, 866 y significativa entre la concentración de plomo y los dos tratamientos con *Azolla sp*.; es decir, que estadísticamente se presencié la disminución de la concentración inicial de plomo. Concluyendo, que la *Azolla sp*. absorbió de manera significativa el plomo de manera similar en ambos tratamientos.

4.1.16. Porcentaje de remoción de plomo en el agua superficial del río Tingo Maygasbamba

Para hallar la remoción de plomo mediante la *Azolla* sp. en el agua superficial del río Tingo Maygasbamba en ambos tratamientos, se tomó el Límite de Cuantificación del Método cuyo valor es 0,004 mg L⁻¹ (Laboratorio Regional del Agua-Cajamarca, 2024) mediante la siguiente fórmula.

$$\% \text{ remoción} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

Donde:

C_i = concentración inicial de plomo en el efluente

C_f = concentración final de plomo en el efluente

- Porcentaje de remoción de plomo total para el tratamiento T₁

$$\% \text{ remoción} = \frac{0,012 - 0,004}{0,012} \times 100 = 66,6 \%$$

- Porcentaje de remoción de plomo total para el tratamiento T₂

$$\% \text{ remoción} = \frac{0,012 - 0,004}{0,012} \times 100 = 66,6 \%$$

Se observó que para ambos tratamientos (T₁ con 40 gramos de *Azolla* sp. y T₂ con 60 gramos de *Azolla* sp.) la eficiencia es 66,6 %. Por tanto, la *Azolla* sp. resultó ser un excelente Fito remediador para remover plomo en agua, constatando que ambos tratamientos se comportaron de manera similar.

4.2. Contrastación de hipótesis

En los resultados obtenidos, se logró observar que la *Azolla* sp. removió significativamente el plomo, presentando el T₁ y T₂ una eficiencia de 66,6 % después de los 21 días de tratamiento. Por lo tanto, se constató que se acepta (H1) y se rechaza (H0), puesto que la eficiencia de remoción de plomo superó a valor estimado en el presente estudio.

4.3. Discusión de resultados

El presente trabajo de investigación permitió conocer que la fitorremediación con *Azolla* sp. reduce de manera significativa los niveles de plomo del agua superficial del río Tingo Maygasbamba. La eficiencia de la *Azolla* sp. en remover el plomo del agua superficial es significativo, demostrando ambos tratamientos la disminución de plomo en un 66,6%, a una concentración de 0,012 mg L⁻¹ en un periodo de 21 días, lo que asegura que dicha especie es eficaz en remover plomo. Este estudio coincide con lo señalado por Ballesteros (2011) y Soto (2019) quienes indican que la *Azolla* sp. remueve en un 86,67 % a una concentración de 3 ppm y 43 % a una concentración de 0,40 mg L⁻¹ en un periodo de 15 y 35 días respectivamente, pero a diferencia del presente estudio, estos trabajaron con concentraciones mayores; así mismo, Cheros y León (2022) indican que 30 gramos de *Azolla* remueve el plomo en un 99% durante 15 días de tratamiento, lo cual puede emplearse como instrumento Fito médico para remediar metales pesados. Del mismo modo, guarda relación con Romero *et al.* (2022) y Rivera *et al.* (2021) quienes señalan que 24 y 100 gramos de *Azolla* sp. a una concentración de 30 ppm y 50 ppm, remueve en un 99.6 % y 100 % en un periodo de 2,5 horas y 15 días respectivamente. Incrementando su porcentaje de remoción con relación al tiempo la *Azolla* sp. es bastante eficiente en la remoción de plomo, en un 28,13% a un periodo de 15 días (Choque, 2010) y 98,10 % durante 30 días de tratamiento (Guevara, 2021).

Por otro lado, las estimaciones de los parámetros fisicoquímicos (temperatura, conductividad eléctrica y pH) fueron las siguientes: el caso de la temperatura osciló entre 18 °C para el pretratamiento, evaluado en el lugar de recolección de la muestra de agua del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca y 16 °C para ambos tratamientos, evaluados en laboratorio, esto indica que el cambio de ambiente difirió los datos para este parámetro, guardando relación con la investigación de Cheros y León (2022) quienes indican que la temperatura oscila entre 24, 8 °C para el pretratamiento y 21°C después de tratamiento, evaluado dicho parámetro en

distintos puntos de monitoreo a condiciones ambientales; sin embargo, otras investigaciones demuestran que a condiciones controladas la temperatura oscila entre 20 °C y 25 °C (Ballesteros, 2011). La temperatura afecta directamente a la rapidez de las reacciones químicas y solubilidad de los metales, lo que puede conducir a un incremento de la descomposición de la materia orgánica y la posterior liberación de metales, en este caso la temperatura fue adecuada para que la *Azolla* sp. remueva el plomo (Benavente *et al.*, 2022).

Los valores de conductividad eléctrica oscilaron entre 908 uS cm⁻¹ para el pretratamiento y 861,6 uS cm⁻¹ para el T₁ y 831 uS cm⁻¹ para el T₂, cumpliendo con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y siendo recomendables y aceptables en cuerpos de agua no mayores de 1000 uS cm⁻¹ (Quispe *et al.*, 2021). En la investigación de Aguilar (2019) los valores fueron de 3816,67 uS cm⁻¹ y 1827,67 uS cm⁻¹, no concordando con lo estudiado, por lo cual se necesita un postratamiento para concordar con lo recomendado por Quispe *et al.* (2021); sin embargo, concuerda con la investigación de Sandoval (2019) quien indica que los rangos de la conductividad eléctrica oscilan entre 340 uS cm⁻¹ y 400,1 uS cm⁻¹. La variación se produce con el aumento o disminución de iones metálicos presentes en el agua, indicando que el aumento de conductividad eléctrica sugiere mayor concentración de metales disueltos atentando contra la vida acuática (Pérez, 2024).

Finalmente, el pH de los tratamientos se encuentra en rangos de a 7,58 unidades de pH y para el pretratamiento 7,39 unidades de pH, presentando alcalinidad en función a la concentración de plomo. Estos resultados guardan relación con la investigación de Ortega y Sánchez (2019) quienes señalan que el pH oscila entre 6,03 y 6,97 unidades de pH, siendo favorables para que la especie *Azolla* sp. remueva dicho metal; no obstante, en el estudio de Romero-Bonilla *et al.* (2022) los rangos son de 2,47 y 2,96 unidades de pH, no concordando con lo estudiado, pero demuestra la gran importancia de remediar ecosistemas hidrológicos bastante ácidos. El pH es un factor bastante crítico, donde un pH reducido señala un entorno

ácido, lo que incrementa la disolución de metales pesados en el agua, favorece la asimilación y la muerte de especies acuáticas, mientras que un pH elevado provoca la sedimentación de los metales (Cirujano *et al.*, 2015).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La *Azolla* sp. fue eficiente en remover el plomo del agua superficial del río Tingo Maygasbamba, indicando que ambos tratamientos con 40 gramos y 60 gramos de *Azolla* sp. se comportaron de manera similar en un 66,6 % de remoción a los 21 días de tratamiento.
- La concentración inicial para el pretratamiento fue 0,012 mg L⁻¹ de plomo total, posteriormente al aplicar los tratamientos disminuyó a un valor menor de 0,004 mg L⁻¹ a los 21 días de fitorremediación.
- La estimación de los parámetros fisicoquímicos presentó variaciones, indicando que la temperatura para el pretratamiento y postratamiento osciló entre 18 °C y 16 °C; así mismo, la conductividad eléctrica para el pretratamiento y postratamiento osciló entre 908 uS cm⁻¹ y 861 uS cm⁻¹; por último, el pH se encontró en rangos de 7,39 y 7,58 indicando alcalinidad estimada.

5.2. Recomendaciones

- Por lo estudiado, se ha demostrado que la *Azolla* sp. es eficiente en la remoción de plomo, por lo que se recomienda implementar un sistema de tratamiento a concentraciones mayores del metal y ser llevada a un sistema de recuperación de metales para luego realizar su manejo adecuado de disposición del residuo.
- Se recomienda hacer estudios para otros metales pesados con la *Azolla* sp., con la finalidad de comprobar la capacidad del macrófito, puesto que a través de esta investigación resultó bastante eficiente.

- Se recomienda realizar investigaciones con la *Azolla* sp., con la finalidad de evaluar la concentración de metales en la parte aérea o radicular del macrófito.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS

- Agudelo, L. M., Macias, K. I. y Suárez, A. J. (2005). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1), 57–60. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69520110>
- Aguilar, H. B. (2019) *Remoción de CD, CR ZN y PH mediante sistema batch con presencia Cajanus cajan (L.) Huth (frijol palo) a nivel de laboratorio* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María - Perú]. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1628>
- Arias, S. A., Betancur, F. M., Gómez, G., Salazar, J. P. y Hernández, M. L. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Informador Técnico*, 74, 12–22. <https://doi.org/10.23850/22565035.5>
- Avalos-Ramírez, Y. J. (2023). Contaminación por plomo en suelo, agua, alimentos y sus efectos en los seres humanos. *Revista de Investigaciones de la Universidad de Cordon Bleu*, 10(2), 59-68. <https://doi.org/10.36955/RIULCB.2023v10n2.006>
- Ballesteros, J. L. (2011) *Determinación de la eficacia de la Azolla caroliniana como matriz de hiperacomulación de metales pesados cuantificados* [Tesis para optar el título de ingeniero en biotecnología de los recursos naturales, Universidad Politécnica Salesiana sede Quito]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5046>
- Beltrán, M. E. y Gómez, A. M. (2015). Metales pesados (Cd, Cr y Hg): su impacto en el ambiente y posibles estrategias biotecnológicas para su remediación. *Facultad de Ciencias e Ingeniería*, 2(2), 82–112. <https://doi.org/https://doi.org/10.24267/23462329.113>
- Benavente, S. L., Chui, H. N., Roque, E. O., Huarcaya, R. D., Pérez, K. y Guillen, N. (2022). Metales pesados en las aguas provenientes de la Rampa San Marcelo, CIA de Minas

- Sillustani S.A. *Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias ALFA*, 6(18), 516-523. <http://www.scielo.org.bo/pdf/arca/v6n18/a13-516-523.pdf>
- Briñez, K. J., Guarnizo, J. C. y Arias, S. A. (2012). Calidad del agua para consumo humano en el departamento del Tolima. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 30(2), 175–182. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-386X2012000200006&lng=en&tlng=es.
- Camargo, A. y Camacho, J. (2019). Convivir con el agua. *Revista Colombiana de Antropología*, 55(1), 7–25. <https://doi.org/https://doi.org/10.22380/2539472X.567>
- Carrasco, S. (2008). *Metodología de la investigación científica. Pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación*. Lima: Editorial San Marcos E.I.R.L., 2019. 476 pp. ISBN: 978-9972-38-344-1. <https://drive.google.com/file/d/1GTWMTyAZDmzE0hJbUKSxsRQJWsYugBV/view>
- Cerna-Vásquez, W. (2019) “*Determinación de la dosis óptima de harina de cáscara de banano para adsorber plomo de agua del río Tingo Maygasbamba*” [Tesis para optar el título profesional de ingeniero ambiental, Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/37375>
- Cheros, Y. E. y León, B. M. (2022) *Fitorremediación utilizando Azolla filiculoides para la remoción de plomo en aguas residuales de la acequia Cois, Chiclayo* [Tesis para optar el título profesional de ingeniero ambiental, Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/114232>
- Choque, M. (2010) *Cuantificación de la remoción de Pb y Cd mediante la lenteja de agua Lemna gibba y Azolla fuliculoides de las aguas de la bahía interior de Puno* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Altiplano-Puno]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/362>

- Cirujano, S., García, P., Fernández, R., Espinar, J. M., Rubio, Á., Meco, A., López, I., Sánchez, R., Sánchez, S., Moreno, M. y Sousa, A. (2015). La Invasión Del Helecho Acuático *Azolla Filiculoides* En La Marisma Del Parque Nacional De Doñana En 2005-2008 (05/03/2015). <https://bibdigital.rjb.csic.es/idurl/1/16349>
- Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R. y Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 597–612. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-04622011000200002&script=sci_abstract&tlng=pt
- Encinas, M. D. (2011). Medio ambiente y contaminación. principios básicos. <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16784/Medio%20Ambiente%20y%20Contaminaci%C3%B3n.%20Principios%20b%C3%A1sicos.pdf?sequence=6>
- Enrique-Ayala, E., Gavidia, C., Carriazo, A. y Changanqui, D. (2021). Evaluación de la calidad del agua en los canales de la Zona de Reglamentación Especial de Los Pantanos de Villa (Lima, Perú). *South Sustainability*, 2(2), 1–10. <https://doi.org/10.21142/SS-0202-2021-e002>
- Gait, N. y Pierotto, M. (2010). Contaminación y contaminantes del agua. <https://bancos.salud.gob.ar/sites/default/files/2018-10/0000000271cnt-s12-manual-universitario-salud-ambiental-infantil.pdf#page=49>
- Guadarrama-Tejas, R., Kido-Miranda, J., Roldan-Antúnez, G. y Salas-Salgado, M. (2016). Contaminación del agua. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(5), 1–10. www.ecorfan.org/spain
- Guevara, J. R. (2021). *Revisión sistemática sobre la fitorremediación de cadmio en aguas residuales mediante Azolla (Azolla filiculoides) y Jacinto de agua (Eichhornia*

- crassipes*) [Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/90066>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. del P. (2014). Metodología de la investigación (Sexta edición). <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Levitus, G., Echenique, V., Rubinstein, C., Hopp, E. y Mroginski, L. (2010). Biotecnología y Mejoramiento Vegetal II (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Ed.). <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/111945>
- Lupi, O. D., Zaradnik, I. J. y Canziani, B. (2020). Estado del arte de los sistemas de monitoreo de calidad de agua. *Revista Digital Del Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas de La Universidad Nacional de La Matanza*, 5(2), 1–8. <http://reddi.unlam.edu.ar>Pág:1Artículooriginal
- Macías C. S., García, M. y Chaparros S, P. (2017). Determinación electroquímica de plomo y cadmio en aguas superficiales. *Revista Luna Azul*, 44, 27–38. <https://doi.org/https://doi.org/10.17151/luaz.2017.44.3>
- Méndez-Martínez, Y., Pérez-Tamames, Y., Reyes-Pérez, J. J. y Puente-Jiménez, V. D. (2018). *Azolla sp.*, un alimento de alto valor nutricional para la acuicultura. *Revista de Ciencias Biológicas y de La Salud*, 20(1), 32–40. <https://doi.org/https://doi.org/10.18633/biotecnia.v20i1.527>
- Merma, F. (2016) *Influencia del molibdeno y cobalto en el crecimiento y fijación biológica de nitrógeno en Azolla filiculoides Lam.* [Tesis para optar el título profesional de biólogo, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/1829>
- Ministerio del Ambiente (2017). Estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecer disposiciones complementarias. <https://acortar.link/4AQO3t>.

- Morales, E., Bustos, M. D. P., Pinglo, F. D. L. M., Cueva, E. y Díaz, E. A. (2022). Estudios recientes de metales pesados en peces: Una revisión bibliográfica con énfasis en Perú. *Revista Científica Dékamu Agropec*, 3(1), 10–19. <https://doi.org/10.55996/dekamuagropec.v3i1.68>
- Núñez, R. A., Meas, Y., Ortega, R. y Olguín, E. J. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Revistas de Investigación Científica y Social*, 69–83. <https://biblat.unam.mx/es/revista/ciencia-academia-mexicana-de-ciencias/articulo/fitorremediacion-fundamentos-y-aplicaciones>
- Organización Mundial de la Salud. (2022). Intoxicación por plomo y salud. Organización Mundial de La Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>
- Ortega, S. M. y Sánchez, D. (2019). Evaluación de la capacidad de remoción de cromo de *Eichhornia crassipes* Y *Azolla* sp. con miras a su aplicación como tratamiento complementario de aguas residuales de la industria galvanotécnica. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1137
- Palacios, Í. D. C. y Moreno, D. W. (2022). Contaminación ambiental. *Revista Científica Mundo de La Investigación y El Conocimiento*, 6(2), 93–103. [https://doi.org/10.26820/recimundo/6.\(2\).abr.2022.93-103](https://doi.org/10.26820/recimundo/6.(2).abr.2022.93-103)
- Pérez, K. (2024). Características fisicoquímicas de las aguas termales de Phutina, Puno, Perú. *Revista Boliviana de Química*, 1(41), 1-5. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.41.1.1>
- Pérez, Y. (2021). la contaminación del medio ambiente. *Artículo de Opinión, Universidad Privada San Juan Bautista, Escuela de Contabilidad.*, 1–4. https://www.researchgate.net/publication/353140767_ARTICULO_DE_OPINION_CONTAMINACION_AMBIENTAL

- Quispe, K. L., Guadalupe, N. K., Diaz, H., & Diaz, H. G. (2021). Utilización de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* en la remoción de nitrógeno y fósforo de las aguas residuales de la laguna de oxidación de la ciudad de Pucallpa, Perú. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(3), 2813-2827. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.491
- Rivera, L. M., Rivera, H. R., y Rodríguez, I. (2024). Estudio Descriptivo del Potencial Fitorremediador de *Azolla*, *Lemna Minor* Y *Eichhornia Crassipes* en Ambientes Contaminados. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(3), 10303-10314. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.12182
- Rivera, L. M., Rodríguez, I., Castillo, S. E., Romero, H. I. y Conde, J. L. (2021). Eficiencia fitorremediadora de *Azolla* spp. bajo diferentes concentraciones de plomo en agua. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(1), 145-151. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/459>
- Rivera, L., Vargas, O., Cun, M. y Rodríguez, I. (2017). Comportamiento de la azolla (*Azolla* spp.) bajo diferentes condiciones ambientales y de manejo. *Revista Cumbres*, 3(2), 95–105. <https://doi.org/10.48190/cumbres.v3n2a9>
- Rodríguez-Merino, A., Fernández-Zamudio, R., García-Murillo, P. y Muñoz J. (2019). Cambio de nicho climático durante la invasión de *Azolla filiculoides* y su distribución potencial en escenarios futuros. *Plantas*, 8(10):424. <https://doi.org/10.3390/plants8100424>
- Romero-Bonilla, H., Luque, J. C., Castillo, A., Espinoza, W. y Olivera, L. (2022). Comparación de modelos cinéticos isotérmicos durante la adsorción de plomo mediante *Azolla caroliniana*. *Ingeniería Industrial*, 42, 99–114. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2022.n42.5792>
- Rubio, C., Gutiérrez, A. J., Martín-Izquierdo, R. E., Revert, C., Lozano, G. y Hardisson, A. (2004). El plomo como contaminante alimentario. *Revista de Toxicología*, 21(2–3), 72–80. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91921303>

- Sandoval, J. D. (2019) *Eficiencia del jacinto de agua eichhornia crassipes y lenteja de agua lemna minor l. en la remoción de cadmio en aguas residuales* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional Federico Villareal]. <https://hdl.handle.net/20.500.13084/3256>
- Santos, B. E. (2019) *Uso de la planta acuática flotante azolla sp. como suplemento alimenticio de consumo directo en el cultivo de cyprinus carpio.* [tesis para optar el título de ingeniero acuicultor, Universidad Técnica de Machala]. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/14669>
- Solano, A. L. (2019) “Comparación de la eficiencia de *Pistia stratiotes* y *Azolla filiculoides* para mejorar la calidad del agua residual del dren 4000” [Tesis para optar el título profesional de ingeniero ambiental, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/35251>
- Soto, W. Y. (2019) Implementación de un sistema fitorremediador de Cd y Pb en aguas de minería con *Azolla caroliniana* [Tesis de maestría, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia]. <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/3677>
- Tamara, O. y Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227-232. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Velásquez, J. J. y Cobeña, H. M. (2022). Fitorremediación como alternativa en remoción de metales pesados del suelo: *Una revisión teórica. Tecnología y Negocios*, 9(2), 15. https://revistas.up.ac.pa/index.php/revista_colon_ctn/article/view/3104
- Vera, L. M., Uguña, R. M. F., Garcia, N. B., Flores, M. E. y Vázquez Freire, V. E. (2016). Eliminación de los metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como biosorbente. *Revista de Química Teórica y Aplicada.*, 73(573), 43–49. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5467346>

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1

Cadena de custodia para el pretratamiento



CADENA DE CUSTODIA

SGC - LRA
P-20-F01, Ver. 02

Nº CC - 1302 - 2024

DATOS DEL CLIENTE					PARAMETROS																														
Nombre: <u>Seaveria Mejia Penal Curi</u>		Solicitud de Cotización: <u>SC-1484</u>			Químicos											Biológicos										Campo		Muestras Observadas (**)							
Teléfono:		Comprobante Pago: <u>0002-0938</u>			pH, Conductividad, Turbidez, Color, Oloro, Sabor, Cloro residual, Cloro Total, IDS, TSS, TS, SS, SF, SV, Alcalinidad, Carbonatos, Bicarbonatos, Salinidad, Acidez, Aniones, Metales Totales, Metales Disueltos, Mercurio Disuelto, Mercurio Total, Dureza Total, Dureza Cálcica, Dureza Magnésica, Calcio Total, Calcio WAD, Calcio Libre, Calcio Carbonato, Sulfuro Sulfuro Sulfuro, N. Ammoniacal, Ammonio, N. Total, DBO ₅ , DBO, DCO, Cromo VI, Materia Orgánica, Aceites y Grasas, Oxígeno Disuelto, TPH, Detergentes, Fenoles, B. Heterotrofos, Coliformes Totales, Coliformes Termot., E. Coli, Guardia Dicotilomatales, E. coli, O.V.L., H.Y.L.H., Formas Parasitarias, P. Aeruginosa, Vibrio Cholerae, Salmonella, pH, Oxígeno Disuelto, Temperatura, Conductividad, Cloro Residual											pH, Oxígeno Disuelto, Temperatura, Conductividad, Cloro Residual																			
e-mail:					Formato Informe: <u>vi. f01</u>																														
Procedencia de la muestra: <u>Bambamarca</u>																																			
ITEM	CODIGO DE MUESTRA	UBICACIÓN DE LA MUESTRA	HORA	MATRIZ (*)																															
01	Testigo	Bambamarca	13:25	RMS-K																															

DATOS DE MUESTREO		RECEPCIÓN DE LA MUESTRA (**)		CONFORMIDAD DE LA MUESTRA	
Toma de muestra realizada por	Cliente <input checked="" type="checkbox"/> Laboratorio	Temperatura de recepción (1)	4.1	Conforme	
Nombre de quien toma la muestra	Penal Curi Seaveria Mejia	Recipiente apropiado (2)	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	Las muestras cumplen con todos los requisitos establecidos por el método de ensayo	
Fecha de muestreo	24.11.2024	Dentro del tiempo establecido (3)	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	Nombre y firma del que entrega la muestra	
Firma de la persona que toma la muestra	R.E.S.H	Correctamente preservadas (4)	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	f. 01-01-2010 20/11/24	
		Cumplen con el volumen (5)	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	No Conforme	
		Nombre del receptionista	Hora	Nombre y firma del que entrega la muestra	
		Firma	23-11-24 10:32		

OBSERVACIONES:

(*) Revisar en la cara posterior la Tabla N°02: NTP 214.042 2012 Calidad del Agua- Clasificación de Matriz Agua para Ensayos de Laboratorio
 (***) Revisar en la cara posterior la Tabla N°01: Requerimientos especiales para la toma y conservación de las muestras
 Este Documento no debe ser reproducido, distribuido, corregido o prestado, total o parcialmente, sin la previa autorización del Responsable del Laboratorio.

Anexo 3

Resultados de laboratorio para la concentración inicial de plomo del agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 11241302

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **SAAVEDRA MEJIA RONAL ELVER**
Dirección **AV CATALINO TERAN 532 - BAMBAMARCA**
Persona de contacto **SAAVEDRA MEJIA RONAL ELVER** Correo electrónico saavedramejiafonalver@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **24.11.24** Hora de Muestreo **13:25**
Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° **-**
Procedimiento de Muestreo **-**
Tipo de Muestreo **Puntual**
Número de puntos de muestreo **01**
Ensayos solicitados **Químicos Instrumentales**
Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación**
Referencia de la Muestra: **Bambamarca**
Observaciones: **-**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-1484** Cadena de Custodia **CC - 1302 - 24**
Fecha y Hora de Recepción **25.11.24 10:32** Inicio de Ensayo **28.11.24 10:00**
Reporte Resultado **04.12.24 15:07** Lugar de ejecución de ensayos **Laboratorio Regional del Agua (LRA)- Cajamarca**

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA



Firmado digitalmente por NEYRA JAICO
Edder Miguel PAU 20453741188.pdf
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 05/12/2024 08:32 a. m.

Escanear Código QR



Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Cajamarca, 04 de Diciembre de 2024



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 11241302

ENSAYOS			Químicos Instrumentales					
Código de la Muestra	Testigo		-	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	11241302-01		-	-	-	-	-	-
Matriz	Natural		-	-	-	-	-	-
Descripción	Superficial- Río		-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	Bambamarca		-	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales					
Plata (Ag)	mg/L	0.019	<LCM	-	-	-	-	-
Aluminio (Al)	mg/L	0.023	2.433	-	-	-	-	-
Arsénico (As)	mg/L	0.005	<LCM	-	-	-	-	-
Boro (B)	mg/L	0.026	0.052	-	-	-	-	-
Bario (Ba)	mg/L	0.004	0.641	-	-	-	-	-
Berilio (Be)	mg/L	0.003	<LCM	-	-	-	-	-
Bismuto (Bi)	mg/L	0.016	<LCM	-	-	-	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	0.124	116.400	-	-	-	-	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	<LCM	-	-	-	-	-
Ceño (Ce)	mg/L	0.004	<LCM	-	-	-	-	-
Cobalto (Co)	mg/L	0.002	<LCM	-	-	-	-	-
Cromo (Cr)	mg/L	0.003	0.005	-	-	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.018	0.464	-	-	-	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.023	10.260	-	-	-	-	-
Potasio (K)	mg/L	0.051	18.430	-	-	-	-	-
Litio (Li)	mg/L	0.005	0.015	-	-	-	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.019	10.150	-	-	-	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.003	0.142	-	-	-	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	<LCM	-	-	-	-	-
Sodio (Na)	mg/L	0.026	43.080	-	-	-	-	-
Niquel (Ni)	mg/L	0.006	0.135	-	-	-	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0.024	0.419	-	-	-	-	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.004	0.012	-	-	-	-	-
Azufre (S)	mg/L	0.091	59.180	-	-	-	-	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.005	0.009	-	-	-	-	-
Selenio (Se)	mg/L	0.007	<LCM	-	-	-	-	-
Silicio (Si)	mg/L	0.104	6.729	-	-	-	-	-
Estaño (Sn)	mg/L	0.007	0.043	-	-	-	-	-
Estroncio (Sr)	mg/L	0.003	0.603	-	-	-	-	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.004	0.011	-	-	-	-	-
Talio (Tl)	mg/L	0.003	<LCM	-	-	-	-	-
Uranio (U)	mg/L	0.004	<LCM	-	-	-	-	-
Vanadio (V)	mg/L	0.004	0.007	-	-	-	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	0.018	8.645	-	-	-	-	-
Silice (SiO ₂)	mg/L	0.223	14.393	-	-	-	-	-
Mercurio (Hg)	mg/L	0.003	<LCM	-	-	-	-	-

Legenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.



Firmado digitalmente por
LOPEZ LEON Freddy Humberto
FAU 20453744198 soft
Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 04/12/2024 04:03 p. m.

Cajamarca, 04 de Diciembre de 2024

JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URU. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
e-mail: laboratorio@regio.cajamarca.gob.pe / laboratorio@regio.cajamarca.gob.pe FON: 076 600040 anexo 1140

Página: 2 de 3



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 11241302

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Metales Disueltos y Totales por ICP-OES (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Hg, K, Li, Na, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, SiO ₂ , Sn, Sr, Ti, Tl, U, V, Zn)	mg/L	EPA Method 200.7 Rev. 4.4, 1994. (Validado-Modificado) 2020. Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry

NOTAS FINALES

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.

(**) Los Resultados son referenciales, ya que, las muestra no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.

✓ Los resultados indicados en este informe corresponden única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua, según cotización y cadena de custodia.

✓ Cuando la muestra es tomada por el cliente: El Laboratorio Regional del Agua no se responsabiliza por la exactitud o la verificación de la información sobre la muestra. Los resultados del ensayo están basados en la muestra tal como fue recibida y en los datos proporcionados por el cliente.

✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.

✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservarán en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días después de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.

✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

✓ El código QR permitirá la visualización y descarga del documento (según oficio múltiple N° 027-2024-INACAL/DA), por lo que, una vez emitido el informe de ensayo, queda bajo responsabilidad del cliente a quien le da acceso dicho código; además, el link vinculado al código QR también se proporcionará al repositorio del INACAL (según oficio múltiple N° 020-2024-INACAL/DA) para consultas sobre autenticaciones, falsificaciones o adulteraciones del presente documento.

✓ LRA-GRC ASEGURA LA CONFIABILIDAD Y CONFIDENCIALIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO.

✓ **"Le recordamos que dispone de 30 días calendario desde la fecha de emisión de este informe para presentar cualquier reclamo o solicitar correcciones. Pasado este plazo, no se aceptarán modificaciones ni reclamaciones asociadas al presente informe".**

--- Fin del documento ---

Código del Formato: P-23-F01 Ver: 03 Fecha: 25/07/2024

Cajamarca, 04 de Diciembre de 2024

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**



Firmado digitalmente por
COLINA VENTAS Juan Jose
FAU 20453744168 508
Motivo: Voto en señal de
conformidad
Fecha: 04/12/2024 06:11 p. m.

Anexo 4

Resultados de laboratorio para la concentración de plomo del agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca después de ser sometido a tratamiento para el T_1 y T_2



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 12241353

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre	SAAVEDRA MEJIA RONAL ELVER		
Dirección	AV CATALINO TERAN 532 - BAMBAMARCA		
Persona de contacto	SANCHEZ PEÑA MARCO ALFREDO	Correo electrónico	saavedramejiaonalelver@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo	11.12.24	Hora de Muestreo	14:33 a 15:05
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	-		
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de puntos de muestreo	06		
Ensayos solicitados	Químicos Instrumentales		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación		
Referencia de la Muestra:	Bambamarca		
Observaciones:	-		

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato	SC-1484	Cadena de Custodia	CC - 1353 - 24
Fecha y Hora de Recepción	12.12.24	07:45	Inicio de Ensayo 16.12.24 15:30
Reporte Resultado	26.12.24	14:40	Lugar de ejecución de ensayos Laboratorio Regional del Agua (LRA)- Cajamarca

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA



Firmado digitalmente por MEYRA JAICO
Edder Miguel PAU 20453744168.ssh
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 26/12/2024 08:44 p. m.

Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Escanear Código QR



Cajamarca, 26 de Diciembre de 2024

INFORME DE ENSAYO N° IE 12241353

ENSAYOS			Químicos Instrumentales					
Código de la Muestra	Tritamiento 1 Repetición 1	Tritamiento 1 Repetición 2	Tritamiento 1 Repetición 3	Tritamiento 2 Repetición 1	Tritamiento 2 Repetición 2	Tritamiento 2 Repetición 3		
Código Laboratorio	12241353-01	12241353-02	12241353-03	12241353-04	12241353-05	12241353-06		
Matriz	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural		
Descripción	Superficial- Río	Superficial- Río	Superficial- Río	Superficial- Río	Superficial- Río	Superficial- Río		
Localización de la Muestra	Bambamarca	Bambamarca	Bambamarca	Bambamarca	Bambamarca	Bambamarca		
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales					
Plata (Ag)	mg/L	0.019	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Aluminio (Al)	mg/L	0.023	0.072	0.086	0.090	0.046	0.084	
Arsénico (As)	mg/L	0.005	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Boro (B)	mg/L	0.026	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Bario (Ba)	mg/L	0.004	0.032	0.028	0.033	0.026	0.024	
Berilio (Be)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Bismuto (Bi)	mg/L	0.016	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Calcio (Ca)	mg/L	0.124	90.300	80.380	90.970	79.290	67.810	
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Cerio (Ce)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Cobalto (Co)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Cromo (Cr)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Cobre (Cu)	mg/L	0.018	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Hierro (Fe)	mg/L	0.023	0.167	0.210	0.114	0.044	0.150	
Potasio (K)	mg/L	0.051	23.510	29.130	29.600	11.260	9.772	
Litio (Li)	mg/L	0.005	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Magnesio (Mg)	mg/L	0.019	7.840	8.535	9.733	4.589	3.943	
Manganeso (Mn)	mg/L	0.003	0.042	0.052	0.032	0.009	0.038	
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Sodio (Na)	mg/L	0.026	14.720	15.060	16.530	8.687	7.394	
Niquel (Ni)	mg/L	0.006	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Fósforo (P)	mg/L	0.024	0.172	0.285	0.225	0.114	0.127	
Plomo (Pb)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Azufre (S)	mg/L	0.091	58.080	56.740	63.150	44.540	37.990	
Antimonio (Sb)	mg/L	0.005	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Selenio (Se)	mg/L	0.007	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Silicio (Si)	mg/L	0.104	4.844	4.664	5.147	3.018	2.638	
Estaño (Sn)	mg/L	0.007	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Estroncio (Sr)	mg/L	0.003	0.448	0.475	0.546	0.270	0.232	
Titanio (Ti)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Talio (Tl)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Uranio (U)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Vanadio (V)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Zinc (Zn)	mg/L	0.018	0.049	0.031	<LCM	<LCM	<LCM	
Silice (SiO ₂)	mg/L	0.223	10.361	9.976	11.009	6.456	5.643	
Mercurio (Hg)-ICP	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	

Legenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.



Firmado digitalmente por
LOPEZ LEON Freddy Humberto
FAU 2583746188 out
Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 26/12/2024 05:40 p. m.

Cajamarca, 26 de Diciembre de 2024

Figura 4

Procedimiento a la toma de muestra de Azolla sp.

**Figura 5**

Toma de muestras de agua superficial del río Tingo Maygasbamba, Bambamarca



Figura 6

Pesado de 40 gramos masa fresca de Azolla sp.

**Figura 7**

Pesado de 60 gramos masa fresca de Azolla sp.



Figura 8

Instalación de experimentos

**Figura 9**

Medición de los parámetros fisicoquímicos



Figura 10

Preparación de muestras después de la fitorremediación para ser enviados a laboratorio

