



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Fitorremediación utilizando *Azolla filiculoides* para la remoción de plomo en aguas residuales de la acequia Cois, Chiclayo

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Ambiental

AUTORAS:

Cheros Garcia, Yanali Eshkeni (orcid.org/0000-0003-2934-1776)

Leon Huaman, Betty Melissa (orcid.org/0000-0002-0194-8413)

ASESOR:

Dr. Monteza Arbulú, César Augusto (orcid.org/0000-0003-2052-6707)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y gestión de los recursos naturales

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático.

CHICLAYO - PERÚ

2022

Dedicatoria

El trabajo aquí expuesto está dedicado en primer lugar a Dios, por darnos la salud vital y la oportunidad a diario para demostrar la relevancia de nuestra carrera, ampliando conocimientos a través de la investigación.

A nuestros Padres, quienes son un pilar fundamental en nuestra vida para seguir desarrollando tanto en el ámbito personal, como el profesional, ya que ellos merecen un reconocimiento por nuestros logros y esfuerzo continuo.

A nuestra familia, quienes nos brindan su apoyo constante, y nos permite a través de la constancia lograr nuestras metas.

Agradecimiento

A nuestros padres y familiares quienes con sus experiencias, conocimientos y consejos nos guiaron en la vida universitaria, dándonos aliento y esperanza para no rendirnos.

A nuestro asesor y guía por su apoyo incondicional en el desarrollo de este trabajo de investigación, ya que sin su experiencia no hubiera sido posible. De igual manera, un agradecimiento a nuestros compañeros de Metodología de la Investigación Científica 2021-II por todo su aporte y esfuerzo constante en el trabajo realizado.

A nuestra Universidad César Vallejo - Filial Chiclayo, por brindarnos la oportunidad de llevar a cabo el desarrollo del presente trabajo, ofreciendo un servicio de enseñanza de calidad, a través de esta modalidad virtual.

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	16
3.1. Tipo y diseño de investigación	16
3.2. Variables y operacionalización	17
3.3. Población y Muestra	17
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	17
3.5. Procedimiento	18
3.6. Método de análisis de datos	20
3.7. Aspectos éticos	20
IV. RESULTADOS	21
V. DISCUSIÓN	28
VI. CONCLUSIONES	31
VII. RECOMENDACIONES	32
REFERENCIAS	33
ANEXOS	41

Índice de tablas

Tabla 1: <i>Clasificación taxonómica de la Azolla filiculoides</i>	13
Tabla 2: <i>Resultados de características físico químicas del agua residual - pre test</i>	21
Tabla 3: <i>Resultados de metales pesados del agua residual - pre test</i>	21
Tabla 4: <i>Resultados de características físico químicas del agua residual con 20G de Azolla filiculoides – postest fitorremediación</i>	22
Tabla 5: <i>Resultados de metales pesados del agua residual con 20G de Azolla filiculoides – postest fitorremediación</i>	23
Tabla 6: <i>Resultados de características físico químicas del agua residual con 30G de Azolla filiculoides – postest fitorremediación</i>	24
Tabla 7: <i>Resultados de metales pesados del agua residual con 30G de Azolla filiculoides – postest fitorremediación</i>	25
Tabla 8: <i>Resultados del impacto en la remoción de plomo del agua residual con 20G de Azolla filiculoides – postest fitorremediación</i>	26
Tabla 9: <i>Resultados del impacto en la remoción de plomo del agua residual con 30G de Azolla filiculoides – postest fitorremediación</i>	27

Índice de figuras

<i>Figura 1:</i> Azolla filiculoides	12
<i>Figura 2:</i> Recolección de A. filiculoides.....	18
<i>Figura 3:</i> Ubicación de las aguas residuales en la Acequia Cois Av. Augusto Bernardino Leguía, Urb San Lorenzo, José Leonardo Ortiz, Chiclayo.	19
<i>Figura 4:</i> Acequia Cois Av. Augusto Bernardino Leguía, Urb San Lorenzo, José Leonardo Ortiz, Chiclayo.	19
<i>Figura 5:</i> Resultados de impacto en la remoción de plomo del agua residual con 20G de Azolla filiculoides – postest fitorremediación	26
<i>Figura 6:</i> Resultados del impacto en la remoción de plomo del agua residual con 30G de Azolla filiculoides – postest fitorremediación	27

Resumen

Esta investigación tuvo como propósito principal evaluar el tratamiento de fitorremediación utilizando *Azolla filiculoides* para la remoción de plomo en aguas residuales de la acequia Cois, Chiclayo. El estudio fue de enfoque cuantitativo, de diseño cuasi experimental. La población fue las aguas residuales de la acequia de Cois, y la muestra de 42 litros. La técnica empleada fue la observación, y el instrumento una guía de observación. Los resultados demostraron que antes del tratamiento el plomo total fue de 5.698 mg/L. Posterior al tratamiento y respecto a la muestra 20G el plomo total, fue de 0.32464 mg/L en el día 5, 0.09450 mg/L en el día 10 y 0.05709 mg/L en el día 15. Respecto a la muestra 30G la temperatura (C°) el plomo total fue 0.31586 mg/L en el día 5, 0.17741 mg/L en el día 10 y 0.00272 mg/L en el día 15. Se concluyó que el tratamiento de fitorremediación con *Azolla filiculoides* impactó significativamente en la remoción de plomo en aguas residuales de la acequia de Cois.

Palabras clave: Fitorremediación, aguas residuales, *Azolla filiculoides*

Abstract

The main purpose of this research was to evaluate the phytoremediation treatment using *Azolla filiculoides* for the removal of lead in wastewater from the Cois irrigation ditch, Chiclayo. The study was of quantitative approach, quasi-experimental design. The population was the wastewater from the Cois ditch, and the sample was 42 liters. The technique used was observation, and the instrument was an observation guide. The results showed that before treatment, the total lead was 5,698 mg/L. After treatment and with respect to the 20G sample, the total lead was 0.32464 mg/L on day 5, 0.09450 mg/L on day 10 and 0.05709 mg/L on day 15. 31586 mg/L on day 5, 0.17741 mg/L on day 10 and 0.00272 mg/L on day 15. It was concluded that the phytoremediation treatment with *Azolla filiculoides* had a significant impact on the removal of lead in wastewater from the Cois ditch.

Keywords: Phytoremediation, wastewater, *Azolla filiculoides*

I. INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas y las rápidas expansiones industriales han provocado que los cuerpos de agua se enfrenten a la contaminación por metales pesados. A nivel mundial, el agua residual está contaminada por una gran variedad de desechos químicos y se convierte en la principal preocupación para la población (Yursa, et al. 2019, p.175), esta contaminación es un problema global que está escalando tanto en países desarrollados como en los países en desarrollo, socavando el crecimiento económico y la salud física y ambiental de miles de millones de personas (Sagasta Marjani, 2017, p.4), en ese sentido la contaminación de este tipo se genera por cationes de metales pesados, hidrocarburos, pesticidas, compuestos nitrogenados, residuos farmacéuticos, detergentes y fósforo (Agoro, et al. 2020, p.3).

De acuerdo a la Asociación Internacional del Agua (2018, p.3) las aguas residuales son un problema mundial. En la actualidad, alrededor del 80% de las aguas residuales se vierten sin ser tratadas a ríos, lagos y océanos, creando grandes peligros para la salud y el medio ambiente, contribuyendo con las emisiones de gases de efecto invernadero, como el óxido nitroso y el metano. Estas emisiones son tres veces mayores que las producidas por las actividades convencionales de tratamiento de aguas residuales, ante esta situación se prevé un aumento de más de 2.100 millones de personas en las ciudades para 2030, lo cual producirían alrededor de 330 km³ de aguas residuales en el mundo cada año (Tariq, et al. 2018, p.10).

Por otro lado, la contaminación del agua residual por metales se ha generado producto de las continuas actividades industriales lo cual son motivo de gran preocupación, ya que algunos de estos metales son tóxicos y persistentes incluso en bajas concentraciones (Danjuma Y Abdulkair, 2018, p.1). La presencia de estos metales ha generado que la contaminación del agua residual sea mayor, aumentando de manera progresiva la propagación de enfermedades en la población (KUMAR, et al. 2019, p.4), esta toxicidad es motivo de gran preocupación ambiental debido a su bioacumulación y no biodegradabilidad en la naturaleza lo

cual supone de nuevas estrategias para resarcir esta problemática que se viene atravesando (Igiri, et al. 2018, p.3).

A raíz de la contaminación del agua residual por plomo se plantea el uso de la *Azolla filiculoides*, una especie de macrófita flotante de gran importancia económica en el mundo acuático, que se caracteriza por su rápido crecimiento y puede alcanzar tasas de crecimiento muy altas, permitiendo recuperar aguas contaminadas por elevados niveles de contaminación (Pouil et al.2020,p.3) en ese contexto utilizar la *Azolla filiculoides* es una buena alternativa fitorremediadora que permite recuperar aguas con altos índices de contaminación de plomo, es por ello que se debe priorizar el uso de esta especie acuática para reducir en gran magnitud la contaminación acuática (Vries et al. 2018, p.2538).

Las aguas residuales siguen siendo un problema importante en Perú, con casi 2,2 millones de metros cúbicos de aguas residuales reportadas, solo el 32% se tratan adecuadamente, y el resto de las aguas contaminadas se descarga directamente en los cuerpos de aguas naturales.(Organismo de evaluación y fiscalización ambiental, 2014, p.2), ante esta situación se han visto afectadas diversas especies de flora y fauna lo que ha provocado un desequilibrio ecológico en el ambiente (Yarlaque, 2018, p.1), es por ello que, frente a esta problemática la población Peruana se ha visto en la obligación de tomar nuevas medidas que permitan erradicar esta situación, donde una de las alternativas más eficientes resulta ser la fitorremediación por medio de la *Azolla filiculoides*, esto con el fin de reducir las concentraciones de plomo presente en las aguas residuales.

Por lo tanto la problemática del presente estudio se centra en la incidencia de las aguas residuales contaminadas por metales pesados como Plomo, esta contaminación surge a consecuencia de diversas actividades antropogénicas entre las que podemos destacar la metalurgia, minería, curtiembres entre otras, a raíz de este tipo de problemas ha generado el aumento de las aguas residuales lo cual han puesto en riesgo a las diversas especies que habitan dentro del entorno acuático, en ese contexto con la presente investigación se busca generar mayor conocimiento en torno la fitorremediación con la *Azolla filiculoides* y de esta manera se logre reducir el desconocimiento a esta temática.

Para dar sustento a lo anteriormente descrito se plantea el siguiente problema general: ¿Es posible realizar fitorremediación utilizando *Azolla filiculoides* para la remoción de plomo en aguas residuales de la acequia Cois, Chiclayo? mientras que los problemas específicos: ¿Cuáles son las características físico químicas de las aguas residuales de la acequia de Cois antes y después de aplicar la fitorremediación con la *Azolla filiculoides*?, ¿Cuáles son las concentraciones de plomo antes y después de la fitorremediación con la *Azolla filiculoides*?, y ¿Cuál es el impacto de la *Azolla filiculoides* en la remoción de plomo en aguas residuales de la acequia de Cois?

El motivo que induce a realizar la presente investigación se justifica desde la parte teórica, económica y ambiental, respecto a la parte teórica la investigación es de gran relevancia porque permitirá generar mayor conocimiento en torno a la fitorremediación de plomo haciendo uso de la *Azolla filiculoides*, en ese sentido con los resultados obtenidos del estudio se profundizaron los conocimientos existentes y conllevarán a un mejor entendimiento de la temática, en relación a la parte económica la investigación es importante porque con la aplicación de *la Azolla filiculoides* resulta ser una alternativa de bajo costo ,que permite modificar los parámetros fisicoquímicos del agua convirtiendo este procedimiento en una alternativa fácil debido a que el desarrollo, diseño y el mantenimiento es más fácil que los tratamientos convencionales, en lo concerniente a la parte ambiental el estudio es importante porque permitirá reducir los niveles de concentración de plomo, esto será beneficioso para el ambiente porque se reducirán los niveles de contaminación lo cual permitirán generar un mejor equilibrio ecológico dentro de los ecosistemas.

El objetivo general de la investigación: evaluar la técnica de fitorremediación utilizando *Azolla filiculoides* para la remoción de plomo en aguas residuales de la acequia Cois, Chiclayo, mientras que los objetivos específicos: Determinar las características físico químicas de las aguas residuales de la acequia de Cois antes y después de aplicar la fitorremediación con la *Azolla filiculoides*; determinar las concentraciones de plomo antes y después de la fitorremediación con la *Azolla filiculoides* y determinar el impacto de la *Azolla filiculoides* en la remoción de plomo en aguas residuales de la acequia de Cois.

II. MARCO TEÓRICO

La fitorremediación ha sido un tema estudiado por diferentes autores, es por eso, que para reforzar esta investigación sobre este tema se ha reunido los siguientes estudios a nivel internacional:

Hassanzadeh, et al. (2021), Rezoqi et al. (2019), evaluaron el grado de acumulación de metales de la especie *Azolla filiculoides*, quienes realizaron muestreos de manera aleatoria, para el análisis de diferentes metales, tales como Ni, Pb, Cr, Hg, Co, Cu, Zn y Ti en el cuerpo de agua; uno de ellos empleó el método ICP OES para medir la concentración de los metales. Los resultados mostraron todos los metales examinados en *A. filiculoides* tenían una alta concentración o acumulación, en el caso del plomo una acumulación del 65%. Concluyeron que las especies *Azolla filiculoides* pueden adsorber con eficacia elevadas cantidades de metales pesados acumulados en las aguas residuales, de modo que pueda utilizarse como una especie valiosa para la biorremediación y la eliminación de metales pesados del humedal.

Taranath et al. (2018) y Kösesakal y Seyhan (2022), evaluaron la capacidad de acumulación de metales pesados de la especie *Azolla filiculoides*, sometido a otras sustancias como fitotoxinas y al estrés del fenantreno, tomaron muestras en diferentes concentraciones de agua residuales para luego inocularlas distintas dosis fenantreno (0, 1, 5 y 10 mg/L), donde demostraron que a 10 mg/L de fenantreno provocó una reducción del 42 % en el crecimiento de *Azolla filiculoides*; que la acumulación de metales pesados en planta varía con la concentración de aguas residuales y la duración de la exposición. Concluyó que la *Azolla filiculoides* Lam, se puede utilizar como fitoherramienta para la remediación de metales pesados de aguas residuales, resaltando que es altamente efectivo en la fitorremediación de bajas concentraciones de contaminación en corto tiempo.

Naghypour et al. (2018), Romero et al. (2022), evaluaron la fitorremediación de aguas contaminadas por metales pesados por *Azolla filiculoides*. Cada autor recolectó plantas de lagos en donde la *Azolla filiculoides* crecía naturalmente; estas plantas fueron cultivadas en soluciones contaminadas a 0, 5, 15, 20 y 30 ppm de Pb; emplearon la metodología ICP-OES y espectrofotometría de absorción atómica

para determinar la concentración de plomo. Los resultados mostraron que la eficiencia de eliminación aumentó del 40 % al 70 % a los 10 días al aumentar el tiempo de contacto hasta 10 días. Concluyeron que *Azolla filiculoides* tiene un alto potencial para la remoción de metales pesados de los recursos hídricos y puede ser utilizada en la fitorremediación de metales pesados en proyectos de refinamiento ambiental.

López y Barrera (2021), Ayala et al. (2021), Ayme y Ramos (2020), evaluaron la calidad del agua con el empleo de especies de macrófitas para mejorar la calidad del agua residual; analizaron los parámetros físicos-químicos y microbiológicos en 3 a 6 puntos de muestreo; demostraron que las especies vegetales logran una eficiencia de 83.7% en DBO5, 84.9% en DQO, 81.4% en nitrógeno total, 83.3% en oxígeno disuelto, 86.5% en SST y 81.2% en turbidez y microbiológicos mediante un sistema de aireación; y que la especie *Azolla filiculoides* puede llegar a tener una eficiencia de absorción del 72 %.

De La Cruz (2021) y Solano (2019), evaluaron la eficiencia de las especies *Polylepis sp*, *Pistia stratiotes* y *Azolla filiculoides* en la adsorción de contaminantes, la mejora de la calidad del agua y su distribución en las especies; demostraron que 109,89 ppm se acumulan contaminantes en las hojas; 43,33 ppm en el tallo; 158,18 ppm en las raíces de la especie *Polylepis sp*, que la especie *Pistia stratiotes* tiene mayor eficiencia que la *Azolla filiculoides*; presentando 2.80 NTU de turbidez a los 14 días, 198 mg/L de DQO, 95 mg/L de DBO5 a los 21 días. Concluyeron que la especie *Polylepis sp*, tiene gran capacidad de absorción de metales pesados que supera largamente la capacidad de otras especies forestales; y que las. Especies *Pistia stratiotes* y *Azolla filiculoides* ofrecen una mejora de la calidad del agua residual, cumpliendo con los límites máximos permisibles de efluentes para vertidos a cuerpos de agua.

Mohd (2022) y Elfu (2018), investigaron la remoción de contaminantes mediante tratamientos de aguas residuales domésticas en presencia de las plantas flotantes *Azolla filiculoides* y *Lemna minor*; cada investigación tuvo un proceso de 49 días y 28 días del período de detención respectivamente. La primera obtuvo que la eficiencia de remoción de DBO fue 49,64%, DQO en 93,18%, NH3-N en 97,56% y

PO43- en 97,37% con *Azolla filiculoides*. Mientras que la segunda encontró una eliminación de DQO por parte de *A. filiculoides* (96%) fue ligeramente superior a la de *L. minor* (92%), pero la eliminación de DBO por parte de *L. minor* (92%) fue significativamente mayor que la de *A. filiculoides* (90%).

Golzary (2018), Elisabetta et al. (2020), Ayu y Hanafiah (2018), y evaluaron la eficiencia de especies vegetales en el tratamiento de aguas residuales industriales como refinerías de petróleo, farmacéuticas y ganaderas. Se demostró una eficiencia de remoción de DQO en un 98,8% con *Azolla*, asimismo la *A. filiculoides* mostró el mejor desempeño de remoción de 92%, 96% y 60% en Fe, Al y levofloxacino respectivamente, mientras que para Cr y diclofenac la remoción siempre fue menor al 10%. Por otro lado, el nitrógeno amoniacal se redujo a 51,93 mg/L y 43. 93 mg/L usando *Azolla filiculoides* y *Lemna minor*, respectivamente. La demanda química de oxígeno se redujo a 680 mg/L y 820 mg/L utilizando *Azolla filiculoides* y *Lemna minor*, respectivamente.

Romero (2010), en su investigación realizada identificó los impactos ambientales generados por las acequias Cois, Pulen y Yortuque, de la ciudad de Chiclayo, por ello se fijó 12 estaciones de muestreo, Para la valoración cualitativa de los impactos se usó una Matriz tipo Leopold, lo cual los resultados mostraron que la concentración de plomo en el agua de las tres acequias fué superior al valor de 0.01 mg/l, establecido por el DS 002-2008-MINAM de Estándares de calidad del agua , por lo que se concluye que: El agua de las acequias Cois, Pulen y Yortuque evidenciaron altos niveles de DBO, metales como plomo y cadmio, coliformes totales y coliformes termotolerantes, lo que las hace inadecuada para el riego de cultivos, actividades recreativas y consumo de agua para los animales.

Seguidamente se procedió a dar sustento teórico a la presente investigación, donde se detalla las teorías relacionadas la tema y las definiciones conceptuales en relación a la fitorremediación utilizando el helecho de agua (*Azolla filiculoides*) para la remoción de plomo en aguas residuales

Las aguas residuales son el material de desecho transportado por el agua de una comunidad que incluye todos los desechos normales de las actividades humanas, así como muchas formas de desechos de diversas industrias o negocios

comerciales. Estos compuestos pueden ingresar a la corriente de agua de muchas maneras, incluida la contaminación de las aguas superficiales, subterráneas y pluviales (Cao, et al. 2020, p. 299).

Las aguas residuales al ser tratadas se pueden reutilizar para múltiples propósitos, como sectores industriales, fines agrícolas, riego, reposición de aguas subterráneas y, mediante la mejora de la calidad de los efluentes, también se pueden usar para uso doméstico, protección contra incendios, lavado de autos y descarga de inodoros (Jodar, et al. 2019, p. 1551).

En general, las aguas residuales se han clasificado en dos grandes tipos: aguas residuales de alcantarillado y aguas residuales que no son de alcantarillado. Las aguas residuales producidas en lugares como casas, escuelas, hospitales, baños públicos, que contienen desechos corporales se incluyen en las aguas residuales. Todos los demás tipos de aguas residuales producidas por actividades comerciales, como las generadas por fábricas y plantas industriales, se denominan aguas residuales no residuales (Yin, et al. 2019, p.128).

Las aguas residuales de escorrentía: Son el agua de fuertes lluvias, tormentas o inundaciones que no se empapa en el suelo y fluye por encima de la calle o superficies abiertas. Es una de las principales fuentes de contaminación del agua, ya que muchos contaminantes tóxicos como plásticos, pesticidas, herbicidas, aceites, productos químicos, metales pesados e incluso varios patógenos son arrastrados a la escorrentía de aguas pluviales de las calles, sitios industriales, sitios de construcción y varios otros lugares (Evans et al. 2019, p. 23).

Aguas residuales domésticas: Producidas por las actividades domésticas humanas, la fuente principal consta de dos flujos: los desechos liberados de instalaciones sanitarias y las generadas debido a otras actividades domésticas, como cocinar, estas a su vez se clasifican en tres subtipos diferentes: aguas residuales negras, grises y amarillas (Evans, et al. 2019, p. 25).

Aguas residuales agrícolas: Se considera una fuente importante de contaminación del agua en muchas cuencas hidrográficas. Las aguas residuales agrícolas a veces

también se denominan aguas residuales de riego cuando el exceso de agua se escurre de los campos durante el riego superficial (Azimi, et al. 2017, p. 40).

Aguas residuales industriales: Se denomina al agua con sustancias disueltas y suspendidas descargadas de varios procesos industriales, como el agua liberada durante la fabricación, limpieza y otras actividades comerciales. La naturaleza de los contaminantes presentes en las aguas residuales industriales depende del tipo de fábrica y de la industria. Los diversos contaminantes que se encuentran comúnmente en las salidas de agua industrial son productos químicos, metales pesados, aceites, pesticidas, sedimentos, productos farmacéuticos y otros subproductos industriales (Azimi, et al. 2017, p. 42).

Acequia cois: Durante la mayor parte del recorrido se encontró, talleres de repuestos para automóviles y motocicletas, a ambos lados de la acequia, Talleres móvil de remodelación y reparación de baterías de automóviles, lavado de piezas, descarga en zanjas la cual tiene una apariencia desagradable debido a la gran cantidad de desechos sólidos dentro y alrededor de la zanja.

La técnica de fitorremediación utiliza plantas para remediar los medios contaminados, incluidos el suelo y el agua, es una técnica económica y ambientalmente favorable, ya que utiliza plantas verdes para contener, secuestrar o desintoxicar los contaminantes del suelo y el agua contaminados (Ashraf, et al. 2019, p. 715), esta utiliza muchas técnicas que incluyen degradación (rizodegradación, fitodegradación), acumulación (Fitoextracción, rizofiltración), disipación (fitovolatilización) e inmovilización (control hidráulico y fitoestabilización) para degradar, eliminar o inmovilizar los contaminantes. Dependiendo de los contaminantes, las plantas utilizan uno o más de estos mecanismos para reducir las concentraciones en el suelo y el agua. Por ejemplo, las plantas absorben y acumulan en sus tejidos y degradan los contaminantes orgánicos, reduciendo su toxicidad del suelo y los recursos hídricos (Saleem, et al. 2020, p. 258).

Las variedades de plantas ideales para la fitorremediación deben ser tolerantes, con alta biomasa, resistentes a los efectos tóxicos de metales y contaminantes, fáciles de cultivar y con alta capacidad de absorción. En muchos casos, las especies de plantas no pueden funcionar bien y necesitan ayudas para mejorar la

fitorremediación (Mahar, et al. 2016, p. 112). Tales ayudas incluyen enmiendas del suelo como biocarbón, ácido etilendiaminotetraacético, bacterias endófitas o incluso plantas transgénicas. Promueven el proceso de fitorremediación ya sea reduciendo la toxicidad de los contaminantes o aumentando la disponibilidad de los contaminantes o promoviendo el crecimiento de las plantas (Mahar, et al. 2016, p 114).

En los tipos de fitorremediación encontramos

Fitoextracción: Implica la absorción de metales tóxicos por las raíces de las plantas, que luego se transfieren a los brotes y se depositan en vacuolas, paredes celulares, membranas celulares y otras partes metabólicamente inactivas de los tejidos vegetales. Las plantas hiperacumuladoras, acumulan una mayor concentración de metales tóxicos en los tejidos de sus raíces y brotes (Lajayer, et al., 2019, p. 8470). Por lo tanto, una especie de fitorremediación más adecuada no solo necesita tolerar y absorber eficazmente, sino también crecer rápidamente con una alta producción de biomasa y proporcionar beneficios económicos. En consecuencia, ciertas especies de plantas son más adecuadas para utilizar el proceso de fitoextracción durante la fitorremediación de ciertos metales (Guarino, et al., 2020, p. 130).

Fitoestabilización: Esto se logra neutralizando o inmovilizando sustancias nocivas o impurezas en las raíces o en la rizosfera. La actividad estabilizadora de las raíces de las plantas limita la movilidad y la biodisponibilidad de los contaminantes, lo que da como resultado efectos tóxicos reducidos. Algunas plantas forman residuos ligados de contaminantes tóxicos que ya no están disponibles en forma venenosa o que no pueden liberarse de la matriz sólida después de la acumulación. Por ejemplo, la planta de Ryegrass puede absorber el herbicida trifluralin y transformarlo en un residuo ligado. Los contaminantes pueden quedar paralizados en la rizosfera por secreciones fitoquímicas, o quedar atrapados en la superficie de la raíz por proteínas portadoras, o permanecer dentro de las vacuolas de las células de la raíz debido a la presencia de fitoquímicos. (Hammond, et al., 2018, p. 1161).

Rizofiltración: es la eliminación de sustancias tóxicas por las raíces de las plantas en la zona de saturación para purificar el agua contaminada de las aguas residuales, aguas subterráneas o superficiales por adsorción, concentración y

depósito en las raíces de las plantas u otros órganos sumergidos de las plantas acuáticas tolerantes a los metales. En esta técnica, las raíces de las plantas absorben los contaminantes y limpian los recursos hídricos superficiales. Generalmente las plantas acuáticas están involucradas en la fitorremediación a través de la rizofiltración. Este método es principalmente efectivo para la remediación de suelos y aguas altamente contaminadas con nutrientes como nitrógeno y fósforo. La nitrificación de la rizosfera por las raíces de las plantas seguida de la desnitrificación puede eliminar el amoníaco en medios acuosos (Sikhosana, et al., 2020, p. 135).

Fitovolatilización: se implica a través de una serie de pasos, donde primero, las plantas absorben los contaminantes del suelo y convierten los productos químicos menos volátiles en formas más volátiles, y los contaminantes se liberan a la atmósfera a través de la evaporación. Este método funciona bien cuando los contaminantes volátiles son menos tóxicos que cuando se liberan del suelo a la atmósfera. Esta técnica funciona bien cuando los contaminantes volatilizados tienen efectos menos tóxicos cuando se separan del suelo a la atmósfera. Mientras que algunos compuestos pueden volatilizarse directamente del tallo y las hojas, algunos compuestos pueden volatilizarse debido a la interacción raíz-suelo. Varias plantas son capaces de volatilizar los contaminantes orgánicos tóxicos a través del mecanismo de volatilización y liberarlos a la atmósfera en forma benigna (Limmer y Burken, 2016, p. 6638).

Fitodegradación: las plantas pueden metabolizar y destruir los contaminantes dentro de los tejidos vegetales a través del proceso conocido como fitodegradación. Los contaminantes orgánicos, como los pesticidas, pueden remediarse mediante la degradación o transformación de varias partes de la planta. En la fitodegradación, las partes de la planta pueden jugar un papel crucial directa o indirectamente. En el proceso directo las plantas absorben los contaminantes y los convierten o descomponen en compuestos más pequeños y menos dañinos y los distribuyen por los tejidos de la planta. Dado que las plantas no contienen portadores activos, estos contaminantes orgánicos se absorben pasivamente. (He, et al., 2017, p. 4582).

Fitodesalinización: algunas plantas tolerantes a la sal pueden extraer cantidades significativas de sales del suelo y recuperar el suelo salino para aumentar la productividad, mediante un proceso llamado fitodesalinización, el suelo salino disminuye el potencial de reducción que conduce a la deshidratación y altera la fisiología de la planta, la exposición excesiva a la salinidad también es dañina para los organismos del suelo y las plantas que son susceptibles al estrés salino. Como enfoque biológico y limpio, las plantas halófilas se utilizan para fines de desalinización. Las plantas halófilas toleran un mayor nivel de halógeno en su entorno de crecimiento, es decir, suelo o agua subterránea, debido a su adaptación filogenética (Arif, et al., p. 71).

Por otro lado, las plantas macrófitas son uno de los elementos biológicos para evaluar el estado ecológico de los ríos, además como principales productores primarios, juegan un papel crucial en la estructura trófica de los ecosistemas fluviales, interactuando con los niveles tróficos superiores proporcionando alimento y refugio para macroinvertebrados y peces, también afectan la calidad del agua, a través de su participación en el ciclo de nutrientes y la resuspensión de sedimentos (Elosegi, et al, 2018, p. 185).

Las plantas macrófitas en plantas macrófitas sumergidas: Se encuentra en diversas fuentes donde la luz solar puede incluirse sin problema, sobreviviendo a profundidades de más de 10 metros, siendo conformada por musgos, helechos, entre otros; las plantas macrófitas flotantes libres: Alcanzan un gran tamaño y cuentan con hojas aéreas; las plantas macrófitas emergentes: Habitan los suelos inundados temporalmente, aunque en ocasiones lo hacen de manera permanente, contando con sistemas reproductores aéreos; y las plantas macrófitas de hojas flotantes: Cuentan con órganos reproductores aéreos y flotantes, habitando suelos anegados.

Las plantas macrófitas han sido ampliamente utilizados como agentes en el tratamiento de aguas residuales, la participación de las plantas en el tratamiento de aguas residuales no puede separarse de la utilización de los humedales, estos exhiben un gran desempeño, especialmente en la remoción de nutrientes de las aguas residuales antes de la descarga final, ello implica el uso de plantas y, en

consecuencia, produce biomasa vegetal como subproductos del tratamiento, logrando ampliar la superficie para una mayor posibilidad de la filtración de sólidos en suspensión y el crecimiento bacteriano (Vásquez, et al., 2022, p. 492)

Las plantas acuáticas, son muy susceptibles a los cambios en su medio de vida (salinidad, pH, turbidez, nutrientes, etc.), por lo que pueden utilizarse como indicadores biológicos de la calidad ambiental de los ecosistemas marinos. (García et al, 2012, p. 15 y 16).

Azolla filiculoides o helecho de agua, es una planta acuática flotante con pequeñas hojas y numerosas raíces. Ayuda al desarrollo vegetativo y tiene efecto sobre la floración y fructificación de las plantas, se pone sobre las hojas para mejorar así la introducción en la solución. (Capdevilla y Zilletti, 2006, p. 25 - 28)



Figura 1: Azolla filiculoides

Fuente: Wikimedia commons.

Tabla 1: *Clasificación taxonómica de la Azolla filiculoides*

Dominio	Eucariota
Reino	Plantae
División	Pteridophyta
Clase	Polypodopsida
Orden	Salviniales
Familia	Azollaceae
Género	Azolla

Fuente: Elaboración propia a partir de la revisión bibliográfica del autor Bailey et al. (2018)

Tiene las siguientes características: Vive en lagunas, lagos, etc. Como humedales artificiales, resistente al frío del invierno, se reproduce asexualmente por división y se reproduce rápidamente, a partir de fragmentos de tallos o brotando en la superficie del agua.

La *Azolla filiculoides* tiene una amplia gama de adaptaciones. Crece en el norte de Europa donde las temperaturas oscilan desde los -5° C y regiones más cálidas donde las temperaturas superan los 35° C. El desarrollo óptimo se produce entre los 18 y los 28°. Se encuentra en altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 3.000 m.

El factor más importante que afecta el crecimiento de la *A. filiculoides* es la humedad ambiental en la que crece. La actividad de fijación de nitrógeno atmosférico se reduce a menos de la mitad cuando el contenido de humedad en el tejido se encuentra por debajo del 80%. (HECHELER & DAWSON, 1995)

Los procesos de eliminación de contaminantes por macrófitos se llevan a cabo a través de tres mecanismos principales: agregar nutrientes a las plantas para la posterior cosecha, sedimentar los sólidos y la implicancia de la filtración y degradar

mediante microorganismos facultativos aunados a las raíces de plantas, sobre expuestos por materia orgánica (Opitz, et al. 2021, p. 601).

Entre los parámetros físicos de las aguas residuales que se investigaron encontramos: La temperatura, es básicamente importante por su efecto sobre otras propiedades de las aguas residuales. La liberación de aguas residuales a alta temperatura en cuerpos de agua puede acelerar algunas reacciones en el cuerpo de agua. También reducirá la solubilidad del oxígeno y el olor amplificado debido a la reacción anaeróbica (menos oxígeno); Cuando medimos la temperatura del agua, obtenemos uno de los resultados más importantes, porque el proceso es fundamental, ya que a medida que aumenta, cambia la solubilidad de todas sus sustancias, aumentando la cantidad de sustancias en suspensión y reduciendo la cantidad de gases. (Jiménez y Barba, 2008).

Los parámetros químicos son regidos mediante un análisis de laboratorio, observando las causas y consecuencias que originan a los cuerpos sobre aguas residuales, entre los cuales podemos mencionar: el hidrógeno potencial (pH), se refiere al valor que rige si la sustancia asignada es base, neutra y ácida, a través del cálculo de ion hidrógeno que existen. El límite de tolerancia de pH debe variar de 6,0 a 9,0 para las aguas residuales y en el manejo de ellas; el oxígeno disuelto, es una medida del grado de contaminación por materia orgánica y de destrucción de sustancias orgánicas, así como de la capacidad de autodepuración de la masa de agua; Demanda biológica de oxígeno (DBO), que es una medida de la cantidad de oxígeno que consumen los microorganismos en el proceso de descomposición de la materia orgánica y la demanda química de oxígeno (DQO), es el requerimiento de oxígeno de una muestra para la oxidación de materia orgánica e inorgánica (Ma, et al., 2020, p. 9).

Los metales pesados son definidos como metales pesados por su alto peso atómico o por su alta densidad, en la actualidad son descritos como elementos químicos metálicos y metaloides que son tóxicos para el medio ambiente y los seres humanos. Algunos metaloides y también metales más ligeros como el selenio, el arsénico y el aluminio son tóxicos (Joseph, et al., 2019, p. 147).

El plomo es un contaminante ambiental dañino que tiene altos efectos tóxicos para muchos órganos del cuerpo, este se libera a la atmósfera a partir de procesos industriales y de los escapes de los vehículos, por lo tanto, puede ingresar al suelo y fluir hacia cuerpos de agua que pueden ser absorbidos por las plantas, diversos alimentos o el agua potable (Balali, et al, 2021, p. 715).

Los niveles de plomo (Pb) en el medio ambiente han aumentado rápidamente en los últimos años debido a diversas actividades antropogénicas, como la fundición, la minería, la producción de pintura, la combustión de gasolina y el reciclaje de baterías ácidas. (Cala V, et al., 2003, pág. 110). Asimismo, en la producción de baterías de ácido, el plomo es la principal materia prima para su elaboración. Como resultado de esta última actividad, se observaron altas concentraciones de este metal en los recursos vivos y no vivos del entorno de estas instalaciones como consecuencia de la mala gestión de las emisiones generadas.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación.

La reciente investigación realizada es aplicada ya que, de acuerdo con Tamayo y Tamayo (2006) menciona que: se le designa dinámica o activa, puesto que depende de hallazgos; es la aplicación de la investigación a problemas o características específicas, así esta investigación está dirigida a su aplicación inmediata más que al desarrollo de suposiciones.

De igual forma, esta investigación es también de tipo experimental debido a que “los investigadores tomaran una acción seria sobre el objeto de estudio, en tanto que los objetivos de estos estudios son determinar los efectos de la conducta producida por los propios investigadores como mecanismos o técnicas para evidenciar sus hipótesis” (Bernal, 2010 p. 117). A través de la manipulación a la variable independiente, este estudio busca evidenciar la hipótesis.

Diseño de investigación:

Esta investigación es de diseño experimental, cuasi experimental (Carrasco, 2005) debido a que los resultados obtenidos ayudaron a expandir los conocimientos científicos y profundizar la teoría, y porque hay un control mínimo sobre las variables, trabajamos con un grupo de control. El diagrama es el siguiente:

El diagrama elegido es el pre-test/post-test con un grupo de control

GE: O1 ----- X ----- O2

Dónde:

GE = Grupo experimental

O1: Evaluación del agua antes de adaptar la actividad fitorremediadora

X: Aplicación del tratamiento fitorremediadora de la *Azolla filiculoides*.

O2: Análisis del agua periódicamente durante el proceso de la fitorremediación.

3.2. Variables y operacionalización

Las variables del siguiente trabajo de investigación son las siguientes:

Variable dependiente: Remoción de plomo en aguas residuales

Variable independiente: Biomasa de la *Azolla Filiculoides*

Operacionalización

En el siguiente cuadro se mostrará la operacionalización de las variables de la siguiente investigación.

3.3. Población y Muestra.

La población: Se trabajó con las aguas residuales de la acequia de Cois contaminadas por plomo.

La muestra: Fueron 42 litros de agua contaminada.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnica de Gabinete

La técnica consiste en recopilar información de fuentes bibliográficas como textos, Internet, artículos científicos entre otras que ayuden a desarrollar marcos teóricos. Se utilizó el fichaje de texto, esto incluye la copia textual del código fuente en el libro. También se consideraron registros bibliográficos y registros de revisión.

Técnica de campo

Para la técnica de campo, los investigadores utilizaron la recopilación de información que refleje el estado actual del problema relacionado con el agua

contaminada por plomo en la acequia Cois, para ello se utilizaron análisis de laboratorio.

Análisis de laboratorio: Se realizó teniendo en cuenta el diseño del estudio, es decir se hizo un análisis inicial del agua de la acequia Cois, Chiclayo de la muestra escogida. Luego se aplicó la *Azolla Filiculoides* en 2 recipientes de 14 litros y un recipiente de testigo con el agua residual contaminada por plomo de la acequia Cois.

3.5. Procedimiento

Recolección de *A. filiculoides*. Se inició a recoger la suficiente biomasa de *A. filiculoides* en frascos adecuados para su almacenamiento. Las cuales se trabajó en un ambiente controlado, Se adquirió 50 gramos con características saludables y sin presencia de marchitez.



Figura 2:Recolección de *A. filiculoides*.

Fuente: Elaboración propia.

Obtención de las aguas residuales: se coordinó la fecha y hora para realizar la extracción de muestras de agua ubicada en la Acequia Cois Av. Augusto Bernardino Leguía, Urb San lorenzo, José Leonardo Ortiz, Chiclayo. Una vez obtenidas las muestras de agua fueron colocadas en un recipiente para luego colocar la *A. filiculoides*, los tiempos estimados de monitoreo fueron 5, 10 y 15 días, en los cuales se evaluaron la temperatura y el pH.



Figura 3: Ubicación de las aguas residuales en la Acequia Cois Av. Augusto Bernardino Leguía, Urb San Lorenzo, José Leonardo Ortiz, Chiclayo.

Fuente: Elaboración de google earth.

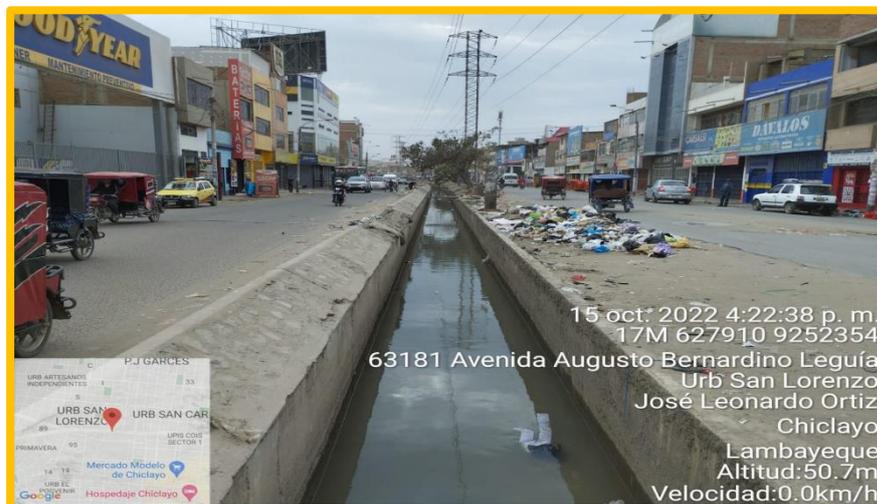


Figura 4: Acequia Cois Av. Augusto Bernardino Leguía, Urb San Lorenzo, José Leonardo Ortiz, Chiclayo.

Fuente: Elaboración propia.

Condiciones del lugar. El experimento se realizó en un área con adecuada ventilación y luz solar a condiciones ambientales de la ciudad de Piura.

Análisis de laboratorio. Se uso el laboratorio de Ingeniería del Agua y Servicios SAC, donde se realizó las concentraciones de plomo antes y después de la fitorremediación para evaluación de la eficiencia de la *A. filiculoides*.

3.6. Método de análisis de datos

En esta investigación se utilizó el programa Microsoft Excel. El estudio de la información se realizó mediante el análisis cuantitativo a través de los trabajos estadísticos. Asimismo, se tomaron en cuenta figuras y tablas estadísticas para expresar los datos obtenidos mediante la aplicación de las herramientas de recopilación.

3.7. Aspectos éticos

La investigación cumple con el código de ética propuesto por la Universidad César Vallejo (2017). Para llevar a cabo esta investigación se consideró los principios éticos más pertinentes para nuestro estudio; haciendo lustre la autonomía; la privacidad y los derechos de autor. La información ha sido usada sólo para fines de aprendizaje, citando conforme la regla actual, de forma auténtica, manteniendo la línea de respeto hacia los diferentes autores e impidiendo que se logre mancillar el contenido recopilado

IV. RESULTADOS

Determinar las características físico químicas de las aguas residuales de la acequia de Cois antes y después de aplicar la fitorremediación con la *Azolla filiculoides*.

Tabla 2: Resultados de características físico químicas del agua residual - pre test

Muestra	Parámetros fisicoquímicos	
	Temperatura (C°)	pH
Testigo	24.8	6.4

Fuente: Elaboración propia.

INTERPRETACIÓN:

La Tabla 2 indica los resultados fisicoquímicos antes de la aplicación de la técnica de fitorremediación con *Azolla filiculoides*. La temperatura (C°) de la muestra testigo fue de 24.8° y el nivel de pH fue de 6.4. Respecto al plomo total, el valor obtenido en la muestra testigo fue de 5.698 mg/L.

Tabla 3: Resultados de metales pesados del agua residual - pre test

Muestra	Plomo total (mg/L)
Testigo	5.698

Fuente: Elaboración propia.

INTERPRETACIÓN:

La Tabla 3 muestra el nivel de plomo total en el agua residual, siendo el valor obtenido en la muestra testigo de 5.698 mg/L.

Determinar las concentraciones de plomo antes y después de la fitorremediación con la *Azolla filiculoides*.

Tabla 4: Resultados de características físico químicas del agua residual con 20G de *Azolla filiculoides* – postest fitorremediación

Muestra	Tiempo (día)	Parámetros fisicoquímicos	
		Temperatura (C°)	pH
20G	5	23.2	8.10
	10	25.0	8.30
	15	21.0	8.70

Fuente: Elaboración propia.

INTERPRETACIÓN:

La Tabla 4 muestra los resultados respecto a la muestra 20G los valores de temperatura (C°) variaron dependiendo del tiempo de contacto, siendo de 23.2° para el día 5, 25.0° para el día 10 y de 21.0° para el día 15; los valores de pH fueron de 8.10 en el día 5, 8.30 en el día 10 y 8.70 en el día 15.

Tabla 5: *Resultados de metales pesados del agua residual con 20G de Azolla filiculoides – postest fitorremediación*

Muestra	Tiempo (día)	Plomo total (mg/L)
	5	0.32464
20G	10	0.09450
	15	0.05709

Fuente: Elaboración propia.

INTERPRETACIÓN:

La Tabla 5 muestra los resultados de valores de plomo total, los cuáles fueron de 0.32464 mg/L en el día 5, 0.09450 mg/L en el día 10 y 0.05709 mg/L en el día 15.

Tabla 6: Resultados de características físico químicas del agua residual con 30G de *Azolla filiculoides* – postest fitorremediación

Muestra	Tiempo (día)	Parámetros fisicoquímicos	
		Temperatura (C°)	pH
30G	5	24.8	8.10
	10	24.1	8.30
	15	20.8	8.50

Fuente: Elaboración propia.

INTERPRETACIÓN:

La Tabla 6 muestra los resultados respecto a la muestra 30G y para los diferentes tiempos de contacto, la temperatura (C°) fue de 24.8 en el día 5, 24.1 en el día 10 y 20.8 en el día 15; el pH fue de 8.10 en el día 5, 8.30 en el día 10 y 8.50 en el día 15.

Tabla 7: Resultados de metales pesados del agua residual con 30G de *Azolla filiculoides* – postest fitorremediación

Muestra	Tiempo (día)	Plomo total (mg/L)
	5	0.31586
30G	10	0.17741
	15	0.00272

Fuente: Elaboración propia.

INTERPRETACIÓN:

La Tabla 7. muestra los resultados en cuanto al plomo total, se obtuvo 0.31586 mg/L en el día 5, 0.17741 mg/L en el día 10 y 0.00272 mg/L en el día 15.

Determinar el impacto de la *Azolla filiculoides* en la remoción de plomo en aguas residuales de la acequia de Cois.

Tabla 8: Resultados del impacto en la remoción de plomo del agua residual con 20G de *Azolla filiculoides* – postest fitorremediación

Muestra	Tiempo (día)	Plomo total (mg/L)
Testigo	0	5.698
	5	0.32464
20G	10	0.09450
	15	0.05709

Fuente: Elaboración propia.

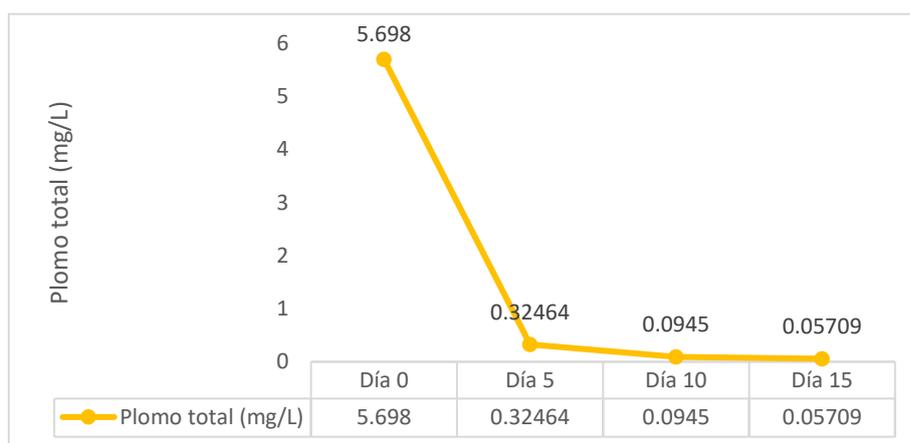


Figura 5: Resultados de impacto en la remoción de plomo del agua residual con 20G de *Azolla filiculoides* – postest fitorremediación

Fuente: Elaboración propia.

INTERPRETACIÓN:

En la Tabla 8 y figura 5 se puede ver un descenso en los valores de plomo total del agua residual de la Muestra 20G, observándose una disminución de 5.3734 mg/L en el día 5, 5.6035 mg/L en el día 10 y 5.6409 mg/L en el día 15.

Tabla 9: Resultados del impacto en la remoción de plomo del agua residual con 30G de *Azolla filiculoides* – postest fitorremediación

Muestra	Tiempo (día)	Plomo total (mg/L)
Testigo	0	5.698
	5	0.31586
30G	10	0.17741
	15	0.00272

Fuente: Elaboración propia.

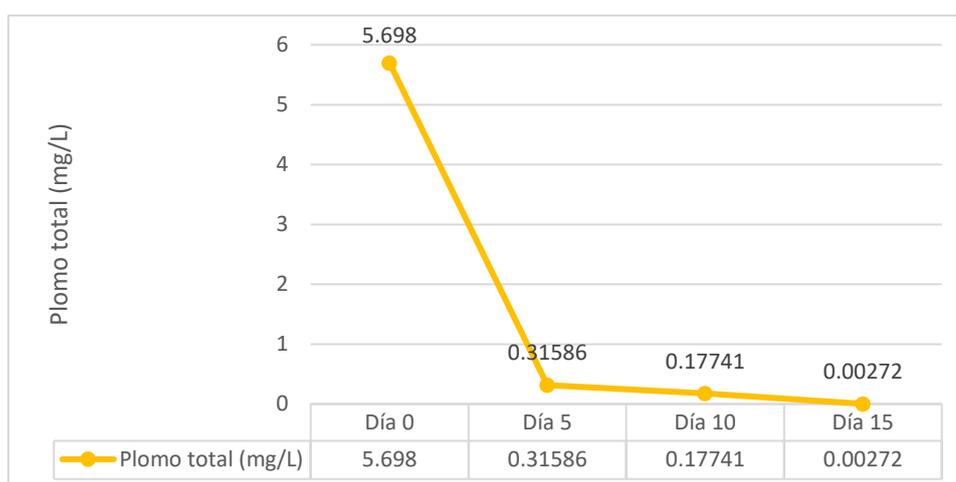


Figura 6: Resultados del impacto en la remoción de plomo del agua residual con 30G de *Azolla filiculoides* – postest fitorremediación.

Fuente: Elaboración propia.

INTERPRETACIÓN:

La Tabla 9 y Figura 6 muestran cómo los valores de plomo han descendido en el ensayo con la muestra 30G, disminuyendo 5.3821 en el día 5, 5.5206 en el día 10 y 5.6953 en el día 15.

V. DISCUSIÓN

Con este estudio se logró conocer cómo es que el tratamiento de fitorremediación con *Azolla filiculoides* puede reducir de manera significativa los niveles de plomo existentes en aguas residuales. El procedimiento de evaluación consistió principalmente en realizar un análisis a las muestras antes del tratamiento y después del tratamiento, permitiendo así que los resultados puedan mostrar una variación en los valores originales de Temperatura (C°), pH y plomo total, de acuerdo a diferentes concentraciones de *Azolla filiculoides* y diferentes tipos de exposición, que en este caso fueron utilizados intervalos de cada 5 días, precisamente se evaluaron al quinto (5), décimo (10) y quinceavo (15) día.

Los valores fisicoquímicos tuvieron variaciones respecto a la muestra sin tratamiento con las muestras tratadas con *Azolla filiculoides*. Inicialmente la temperatura (C°) de la muestra testigo fue de 24.8° y el nivel de pH fue de 6.4. Con el tratamiento a 20 G estos valores variaron su temperatura a 23.2° para el día 5, 25.0° para el día 10 y de 21.0° para el día 15; y su pH aumentó a 8.10 en el día 5, 8.30 en el día 10 y 8.70 en el día 15. En el caso del 30 G los resultados fueron similares, encontrándose una variación de la temperatura (C°) de 24.8 en el día 5, 24.1 en el día 10 y 20.8 en el día 15 y en el caso del pH fue de 8.10 en el día 5, 8.30 en el día 10 y 8.50 en el día 15. La presencia de esta especie mejora las propiedades de pH, haciendo que el agua sea más alcalina.

Del análisis a la muestra de agua residual sin tratamiento, se pudo evidenciar que la concentración de plomo fue de 5.698 mg/L, y que después de los tratamientos aplicados y ensayados en laboratorio, este nivel disminuyó considerablemente. En el caso de la muestra 20 G, los niveles de plomo total bajaron a medida que fueron pasando los días, obteniéndose 0.32464 mg/L en el día 5, 0.09450 mg/L en el día 10 y 0.05709 mg/L en el día 15. Del mismo modo ocurre con la muestra 30G, la cual después de los ensayos realizados dio como resultado 0.31586 mg/L en el día 5, 0.17741 mg/L en el día 10 y 0.00272 mg/L en el día 15.

Lo mencionado en el párrafo anterior demuestra las cualidades de fitorremediación que posee la *Azolla filiculoides*, coincidiendo con lo evidenciado en otros estudios como el de Hassanzadeh, et al. (2021), Rezooqi et al. (2019) quienes afirmaron que las especies *Azolla filiculoides* pueden adsorber con eficacia elevadas cantidades de metales pesados acumulados en las aguas residuales, incluyendo el plomo. También Naghipour et al. (2018), Romero et al. (2022) resaltaron el alto potencial que tiene la especie *Azolla filiculoides* para la remoción de metales pesados de los recursos hídricos, indicando que puede ser utilizada en la fitorremediación de metales pesados en proyectos de refinamiento ambiental.

La rapidez con la que esta especie reduce los niveles de plomo es sorprendente. Se pudo observar que en solo 5 días los niveles de plomo disminuyeron notablemente tanto para la muestra 20G y para la muestra 30 G, de un valor de plomo total de 5.698 mg/L se redujo a 0.32464 mg/L y a 0.31586 mg/L respectivamente, lo que afirma que la especie *Azolla filiculoides* es muy eficaz para la absorción de plomo, coincidiendo con lo mencionado por Taranath et al. (2018) y Kösesakal y Seyhan (2022) quienes indicaron que la *Azolla filiculoides* Lam., se puede utilizar como fitoherramienta para la remediación de metales pesados de aguas residuales y que es altamente efectivo en la fitorremediación de bajas concentraciones de contaminación en corto tiempo.

Las limitaciones de este estudio se enfocaron principalmente a la cantidad de ensayos realizados a las muestras de agua residual recolectadas; puesto que solo se ha concentrado en evaluar cómo es que la *Azolla filiculoides* afecta a los niveles de temperatura (C°), pH y metales pesados como el plomo; dejando de lado otros parámetros como nitratos, nitritos, DBO, DQO e inclusive parámetros parasitológicos, a diferencia del estudio realizado por Golzary (2018), Elisabetta et al. (2020), Ayu y Hanafiah (2018) quienes determinaron que la especie estudiada puede reducir los niveles de DQO, de igual modo que López y Barrera (2021), Ayala et al. (2021), Ayme y Ramos (2020) quienes demostraron que la especie *Azolla filiculoides* puede llegar a tener una eficiencia de absorción del 72 %.

Finalmente, luego del análisis de los resultados se ha llegado a demostrar que la especie *Azolla filiculoides* es altamente efectiva para la disminución de plomo total

(mg/L), confirmando así lo hallado en los estudios De La Cruz (2021) y Solano (2019) quienes demostraron que la especie *Azolla filiculoides* ofrecen una mejora de la calidad del agua residual.

VI. CONCLUSIONES

1. Antes de la aplicación de la técnica de fitorremediación con *Azolla filiculoides*, la temperatura (C°) de la muestra testigo fue de 24.8° y el nivel de pH fue de 6.4. Respecto al plomo total, el valor obtenido en la muestra testigo fue de 5.698 mg/L.
2. Posterior a la aplicación de la técnica de fitorremediación con *Azolla filiculoides*, respecto a la muestra 20G los valores de temperatura (C°) variaron dependiendo del tiempo de contacto, siendo de 23.2° para el día 5, 25.0° para el día 10 y de 21.0° para el día 15; los valores de pH fueron de 8.10 en el día 5, 8.30 en el día 10 y 8.70 en el día 15; y los valores de plomo total, fueron de 0.32464 mg/L en el día 5, 0.09450 mg/L en el día 10 y 0.05709 mg/L en el día 15. Respecto a la muestra 30G y para los diferentes tiempos de contacto, la temperatura (C°) fue de 24.8 en el día 5, 24.1 en el día 10 y 20.8 en el día 15; el pH fue de 8.10 en el día 5, 8.30 en el día 10 y 8.50 en el día 15; y en cuanto al plomo total se obtuvo 0.31586 mg/L en el día 5, 0.17741 mg/L en el día 10 y 0.00272 mg/L en el día 15.
3. El tratamiento de fitorremediación con *Azolla filiculoides* impactó significativamente en la remoción de plomo en aguas residuales de la acequia de Cois, reduciendo su concentración considerablemente a medida que transcurre el tiempo de contacto.

VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la aplicación de la técnica de fitorremediación utilizando *Azolla filiculoides* para reducir el nivel de plomo total del agua residual, ya que se ha demostrado un impacto significativo.
2. Se recomienda a futuros investigadores realizar estudios sobre fitorremediación utilizando *Azolla filiculoides* empleando diferentes fuentes de agua residual que provengan de otros usos, como industrial o comercial, con la finalidad de conocer la efectividad sobre sus parámetros fisicoquímicos y de concentración de otros tipos de metales pesados.
3. Se recomienda a la comunidad científica realizar estudios sobre fitorremediación utilizando *Azolla filiculoides*, pero en concentraciones diferentes a las empleadas en este estudio, y utilizando tiempos de exposición más prolongados para conocer los efectos que se tendrán sobre el nivel de plomo total en aguas residuales.

REFERENCIAS

Abdullahi, I., Abubakar, A., & Titus, E. (2020). Determination of levels of heavy metals and physicochemical parameters in waste water of Kasuwan shanu abattoir, Maiduguri". *Journal of Chemistry Letters*, 1(2), 84-88. doi:10.22034/jchemlett.2020.256531.1010

AGORO, M., ADENIJI, A., ADEFISOYE, M., OKOH, & Omobola. (2020). Heavy Metals in Wastewater and Sewage Sludge from Selected Municipal Treatment Plants in Eastern Cape Province, South Africa. *Water*, 12(10), 1-19. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/10/2746>

Arif, Y., Singh, P., Siddiqui, H., Bajguz, A., & Hayat, S. (2020). Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. *Plant Physiol. Biochem.*, 156(1), 64-77. doi:10.1016/j.plaphy.2020.08.042

Ashraf, S., Ali, Q., Zahir, Z., Ashraf, S., & Asghar, H. (2019). Phytoremediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 174, 714-727. doi:10.1016/j.ecoenv.2019.02.068

Asociación Internacional del agua. (2018). Wastewater Report 2018: The reuse opportunity. China: Wastewater report. Obtenido de <https://reliefweb.int/report/world/wastewater-report-2018-reuse-opportunity>

Ayala, E., Gavidia, C., Garriazo, A., & Changanqui, D. (2021). Evaluation of the water quality in the channels within the Special Regulation Zone of Los Pantanos de Villa wetland (Lima, Peru). *South Sustainability*, 2(2). Obtenido de <https://revistas.cientifica.edu.pe/index.php/southsustainability/article/view/1057>

Ayme, M., & Ramos, M. (2020). Eichhornia crassipes, Lemna minor y Pistia stratiotes como sorbentes de plomo, cobre y zinc en el tratamiento de aguas residuales,. Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/62605/Ayme_EMV-Ramos_PMC-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ayu, N. I., & Hanafiah, M. M. (2018). Phytoremediation of Livestock Wastewater Using *Azolla Filiculoides* and *Lemna Minor*. *Environment & Ecosystem Science (EES)*, 2(1). Obtenido de <https://ideas.repec.org/a/zib/zbnees/v2y2018i1p13-16.html>

Azimi, A., Azari, A., Rezakazemi, M., & Ansarpour, M. (2017). Removal of heavy metals from industrial wastewaters: a review. *ChemBioEng Rev.*, 4(1), 37-59. doi:10.1002/cben.201600010

Cala V & Kunimine Y, (2003); Distribución de plomo en suelos contaminados en el entorno de una planta de reciclaje de baterías ácidas. Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid, España. Disponible en [file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/23751-Texto%20del%20art%C3%ADculo-40999-1-10-20110130%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/23751-Texto%20del%20art%C3%ADculo-40999-1-10-20110130%20(1).pdf)

Cao, K., Zhi, R., & Zhang, G. (2020). Photosynthetic bacteria wastewater treatment with the production of value-added products: a review *Bioresour. Technol*, 299. doi:10.1016/j.biortech.2019.122648

CAPDEVILLA y ZILLETI. Las 20 especies exóticas invasoras más dañinas presentes en España. España: GEIB Grupo Especialista en Invasiones Biológicas, 2006, Serie Técnica Vol. 2

DANJUMA, M., & ABDULKAIR, B. (2018). An overview of heavy metal contamination of water and its effect on human health. *UJMR*, 3(2), 1-7. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/338068228_AN_OVERVIEW_OF_HEAVY_METAL_CONTAMINATION_OF_WATER_AND_ITS_EFFECT_ON_HUMAN_HEALTH

De La Cruz, C. (2021). Niveles de contenido de Plomo y Zinc en órganos no reproductivos de *Polylepis* sp. en tres localidades de Pasco. Universidad Nacional del Centro del Perú. Obtenido de <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7671>

Elfu Amare, F. K. (2018). Wastewater treatment by *Lemna minor* and *Azolla filiculoides* in tropical semi-arid regions of Ethiopia. *Ecological Engineering*, 120. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.07.005>

Elisabetta Bianchi, A. B. (2020). Improving the efficiency of wastewater treatment plants: Bio-removal of heavy-metals and pharmaceuticals by *Azolla filiculoides* and *Lemna minuta*. *Science of The Total Environment*, 76. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141219>

Elosegi, A., Nicolás, A., & Richardson, J. (2018). Priming of leaf litter decomposition by algae seems of minor importance in natural streams during autumn. *PLoS ONE*, 13(9), 180-200. doi: 10.1371/journal.pone.0200180

Evans, A., Mateo-Sagasta, J., Qadir, M., Boelee, E., & Ippolito, A. (2019). Agricultural water pollution: key knowledge gaps and research needs. *Curr. Opin. Environ. Sustainability.*, 36, 20-27. doi: 10.1016/j.cosust.2018.10.003

GARCIA, Zarela. Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Tesis. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima: s.n., 2012. pág. 282

Golzary, A., Tavakoli, O., Rezaei, Y., & Karbassi, A. R. (2018). Wastewater Treatment by *Azolla Filiculoides*: Study of Color, Odor, COD, Nitrate and Phosphate Removal. *Pollution*, 4(1). doi:10.22059/poll.2017.236692.290

Guarino, F., Miranda, A., Castiglione, S., & Cikatelli, A. (2020). Arsenic phytovolatilization and epigenetic modifications in *Arundo donax* L. assisted by a PGPR consortium. *Chemosphere*, 251(1), 126-310. doi:10.1016/j.chemosphere.2020.126310

Hammond, C., Root, R., Maier, R., & Chorover, J. (2018). Mechanisms of arsenic sequestration by *Prosopis juliflora* during the phytostabilization of metalliferous mine tailings. *Environ. Sci. Technol.*, 52(1), 1156-1164. doi:10.1021/acs.est.7b04363

Hassanzadeh, M., Zarkami, R., & Sadeghi, R. (2021). Uptake and accumulation of heavy metals by water body and *Azolla filiculoides* in the Anzali wetland. *Applied Water Science*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-021-01428-y>

He, Y., Langenhoff, A., Sutton, N., Rijnaarts, H., Blokland, M., Chen, F., . . . Schröder, P. (2017). Metabolism of ibuprofen by *Phragmites australis*: uptake and phytodegradation. *Environ. Sci. Technol.*, 51(8), 4576-4584. doi:10.1021/acs.est.7b00458

IGIRI, B., OKODUWA, S., IDOKO, G., AKABUOGU, E., ADEYI, A., & EJIOGU, I. (2018). Toxicity and Bioremediation of Heavy Metals Contaminated Ecosystem from Tannery Wastewater: A Review. *Journal of toxicology*, 2018(1), 1-20. Obtenido de <https://www.hindawi.com/journals/jt/2018/2568038/>

JIMÉNEZ, Antonio y BARBA, Álvaro. Determinación de los parámetros fisicoquímicos de calidad de las aguas. Universidad Carlos III, Madrid, 2008. Disponible en <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otrosrecursos-1/OR-F-001.pdf>

Jodar, A., López, M., & Melgarejo, J. (2019). Wastewater treatment and water reuse in Spain. *Curr. Situat. Persp. Water*, 11(8), 1551. doi:10.3390/w11081551

Joseph, L., Jun, B., Flora, J., Park, C., & Yoon, Y. (2019). Removal of heavy metals from water sources in the developing world using low-cost materials: a review. *Chemosphere*, 229(1), 142 - 159. doi:10.1016/j.chemosphere.2019.04.198

Kösesakal, T., & Seyhan, M. (2022). Phenanthrene stress response and phytoremediation potential of free-floating fern *Azolla filiculoides* Lam. *International Journal of Phytoremediation*. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/citedby/10.1080/15226514.2022.2069224?scroll=top&needAccess=true>

KUMAR, M., GOSWANI, L., KUMAR, A., & SIKANDAR, M. (2019). Valorization of coal fired-fly ash for potential heavy metal removal from the single and multi-

contaminated system. *Heliyon*, 5(1). Obtenido de [https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440\(19\)36222-X.pdf](https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440(19)36222-X.pdf)

Lajayer, A., Moghadam, N., Maghsoodi, M., Ghorbanpour, M., & Kariman, K. (2019). Phytoextraction of heavy metals from contaminated soil, water and atmosphere using ornamental plants: mechanisms and efficiency improvement strategies. *Environ. Sci. Pollut. Res*, 26(1), 8468-8484. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-019-04241-y>

Limmer, M., & Burken, J. (2016). Phytovolatilization of organic contaminants. *Environ. Sci. Technol.*, 50(13), 6632-6643. doi:10.1021/acs.est.5b04113

Lopez, J., & Barrera, J. (2021). Fitodepuración con cuatro especies de macrófitas flotantes mediante el sistema de aireación a escala piloto de la laguna “mansión” de la Universidad Peruana Unión. Universidad Peruana Unión. Obtenido de <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4967>

Ma, J., Wu, S., Shekhar, N., Biswas, S., & Sahu, A. (2020). Determination of Physicochemical Parameters and Levels of Heavy Metals in Food Waste Water with Environmental Effects. *Bioinorganic chemistry and applications*, 9. doi:10.1155/2020/8886093

Mahar, A., Wang, P., Ali, A., Awasthi, M., Lahori, A., Wang, Q., . . . Zhang, Z. (2016). Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 126, 111-121. doi:10.1016/j.ecoenv.2015.12.023.

Mohd Rosdi, R. A. (2022). Phytoremediation of domestic wastewater by azolla in a constructed wetland. Tesis de maestría. Universiti Malaya. Obtenido de <http://studentsrepo.um.edu.my/13620/>

Naghipour, D., Ashrafi, S., Gholamzadeh, M., Taghavi, K., & Naimi, M. (2018). Phytoremediation of heavy metals (Ni, Cd, Pb) by *Azolla filiculoides* from aqueous solution: A dataset. *Data in Brief*, 21, 1409 - 1414. Obtenido de <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85056459919&origin=resultslist&sort=plf->

f&src=s&st1=Phytoremediation%2c+Azolla+filiculoides%2c+lead+removal&sid=9998932a6db891473ecf5ea0742b2975&sot=b&sdt=b&sl=66&s=TITLE-ABS-KEY%28Phytoremediation%2c+A

Neethu, P., & Chinnamma, M. A. (2017). Natural Adsorbents for Agricultural Waste Water Treatment. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science*, 3(4).

Opitz, J., Alte, M., Bauer, M., & Peiffer, S. (2021). The Role of Macrophytes in Constructed Surface-flow Wetlands for Mine Water Treatment: A Review. . *Mine Water Environ* , 40(1), 587–605. doi:10.1007/s10230-021-00779-x

Organismo de evaluacion y fiscalizacion ambiental. (2014). Fiscalizacion ambiental en aguas residuales. Lima: Ministerio del ambiente. Obtenido de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

POUIL, S., SAMSUDIN, R., SLEMBROUCK, J., SIHABUDDIN, A., SUNDARI, G., KHAZADIAN, K., & KRISTANTO, B. (2020). Effects of shading, fertilization and snail grazing on the productivity of the water fern *Azolla filiculoides* fortropical freshwater aquaculture. *Botanica acuatica*, 160(1), 1-10. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030437701930213X>

Rezoogi, A., Atiyah, A., Mugheir, H., & Mouhamad, R. (2019). Bioaccumulation of (Ni, Cd, Pb, Cr, Hg, and Co) from Al-Rustomia wastewater using *A. filiculoids*. *Journal of Physics: Conference Series*, 1853. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1853/1/012019/meta>

Romero, H., Luque, J., Castillo, A., Espinoza, W., & Olivera, L. (2022). Comparación de modelos cinéticos isotérmicos durante la adsorción de plomo mediante *Azolla caroliniana*. *Ingeniería Industrial*(42), 99-114. Obtenido de https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Ingenieria_industrial/article/view/5792

SAGASTA, M., & MARJANI, S. (2017). Water pollution from agriculture: a global review. Estados Unidos: Food and agriculture organization of the united nations. Obtenido de <https://www.fao.org/3/i7754e/i7754e.pdf>

Saleem, M., Ali, S., Rehman, M., Hasanuzzaman, M., Rizwan, M., Irshad, S., . . . Qari, S. (2020). Jute: A Potential Candidate for Phytoremediation of Metals-A Review. *Plants*, 9(2), 258. doi:10.3390/plants9020258

Sikhosana, M., Botha, A., Mpenyane-Monyatsi, A., & Coetzee, M. (2020). Evaluating the effect of seasonal temperature changes on the efficiency of a rhizofiltration system in nitrogen removal from urban runoff. *J. Environ. Manage.*, 274(1), 111-192. doi:10.1016/j.jenvman.2020.111192

Solano, A. (2019). Comparación de la eficiencia de *Pistia stratiotes* y *Azolla filiculoides* para mejorar la calidad del agua residual del dren 4000. Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_83fa951f056e32078b559dfcfd2535a

Tamayo y Tamayo M. (2009). El proceso de la investigación científica, México, Limusa. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/227860/El_proceso__de_la_investigaci_n_cient_fica_Mario_Tamayo.pdf

Taranath, T., Kakkalameli, S., Daphedar, A., Hulakoti, N., & Patil, B. (2018). *Azolla filiculoides* lam as a phytotool for remediation of heavy metals from sewage. *IJPCBS*, 8(3), 282-287. Obtenido de <https://www.ijpcbs.com/articles/azolla-filiculoides-lam-as-a-phytotoolfor-remediation-of-heavy-metals-from-sewage.pdf>

TARIQ, W., SAIFULLAH, M., ANJUM, T., JAVED, M., TAYYAB, N., & SHOUKAT, I. (2018). Removal of heavy metals form chemical industrial wastewater using agro based bio- sorbets. *Acta chemica Malasia*, 2(2), 9-14. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Waheed-Tariq-4/publication/335692175_REMOVAL_OF_HEAVY_METALS_FROM_CHEMICAL_INDUSTRIAL_WASTEWATER_USING_AGRO_BASED_BIO-SORBENTS/links/5d762e8792851cacdb2c282b/REMOVAL-OF-HEAVY-METALS-FROM-CHEMICAL-INDUSTRIAL-WASTEWATER-

Universidad Cesar Vallejo. (2017). Código de ética en investigación. Trujillo. [https://www.ucv.edu.pe/datafiles/C%C3%93DIGO%20DE%20%C3%89TIC A.pdf](https://www.ucv.edu.pe/datafiles/C%C3%93DIGO%20DE%20%C3%89TIC%20A.pdf)

Vásquez, L., García, F., Méndez, J., Lass-man, A., & Sánchez, E. (2022). Artificial wetlands and floating islands: Use of macrophytes. *South Florida Journal of Development*, 3(1), 476-498. doi:10.46932/sfjdv3n1-036

VRIES, S., VRIES, J., TESCHKE, H., VON, D., & GOULD, S. (2018). Jasmonic and salicylic acid response in the fern *Azolla filiculoides* and its cyanobiont. *Plant, cell & environment*, 41(11), 2530-2548. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/pce.13131>

YARLAQUE, P. (2018). Tratamiento de aguas residuales para el caserío Villa Palambra. Piura: Universidad de Piura. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3636/ING_605.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Yin, H., Xie, M., Zhang, L., Huang, J., Xu, Z., Li, H., . . . Zeng, X. (2019). Identification of sewage markers to indicate sources of contamination: Low cost options for misconnected non-stormwater source tracking in stormwater systems. *Sci. Total Environ*, 648, 125-134. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.07.448.

YUSRA, m., YASARA, A., GUIJIANB, Liu, YOUSAFB, B., TAYYAB, M., . . . KHANA, M. (2019). An assessment of wastewater pollution, treatment efficiency and management in a semi-arid urban area of Pakistan. *Desalination and water treatment*, 177(1), 167-175. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Muhammad-Tayyab-Sohail/publication/336134424_An_assessment_of_wastewater_pollution_treatment_efficiency_and_management_in_a_semi-arid_urban_area_of_Pakistan/links/5e520252299bf1cdb94010b8/An-assessment-of-wastewater-poll

ANEXOS

Anexo 1. Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
VI: Biomasa de la <i>Azolla</i> <i>Filiculoides</i>	utiliza plantas para remediar los medios contaminados, incluidos el suelo y el agua, es una técnica económica y ambientalmente favorable, ya que utiliza plantas verdes para contener, secuestrar o desintoxicar los contaminantes del suelo y el agua contaminados (Ashraf, et al. 2019, p. 715)	- Se realizará un análisis inicial del agua de la acequia Cois, Chiclayo de la muestra escogida. Luego se aplicará la <i>Azolla Filiculoides</i> en 3 estanques de 14 litros, un recipiente de testigo y 2 con el agua residual contaminada por plomo de la acequia Cois.	Cantidad de Biomasa	Razón

VD: remoción de plomo en aguas residuales	producidas en lugares como casas, escuelas, hospitales, baños públicos, que contienen desechos corporales se incluyen en las aguas residuales. Todos los demás tipos de aguas residuales producidas por actividades comerciales, como las generadas por fábricas y plantas industriales, se denominan aguas residuales no residuales (Yin, et al. 2019, p.128).	Se medirá la concentración de plomo antes y después del tratamiento para evaluar la eficiencia de la <i>Azolla filiculoides</i>	Razón Concentración de plomo al ser extraída la planta pH Temperatura
---	---	---	--

Anexo. Resultados del laboratorio



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-099



INFORME DE ENSAYO N° 000101635

CLIENTE: CHEROS GARCIA YANALI ESHKENI
DOMICILIO LEGAL: ()
REFERENCIA CLIENTE: CANAL COIS
CÓDIGO TYPASA: 000093004
MATRIZ: Agua residual. Doméstica
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: Cotización N°00020009400
DESCRIPCIÓN PROCEDIMIENTO TOMA DE MUESTRA: Aproximadamente 100ml (Agua Residual Doméstica)
Tomada por el cliente
CONDICIONES AMBIENTALES EN LA TOMA DE MUESTRAS:
DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO: N:9252340 / E:0627936
FECHA DE TOMA: 17/10/2022 04:45:00 p.m.
FECHA DE RECEPCIÓN: 18/10/2022
FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 18/10/2022 - 4/11/2022

RESULTADOS ANALÍTICOS IN SITU					
Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Técnica Empleada	L.D.
*pH "in situ"	ud. pH	6.40	Datos facilitados por el cliente		
*Temperatura del agua "in situ"	°C	24.8	Datos facilitados por el cliente		

RESULTADOS ANALÍTICOS METALES PESADOS					
Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Técnica Empleada	L.D.
Plomo total	mg/L	5.698	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3030 K, 3125 B, 23rd Ed. 2017	Preliminary Treatment of Samples. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) Method	0.00005

Callao, 4 de Noviembre de 2022



Fdo. Vanessa León Legua
Jefe de Laboratorio General y Espectroscopía
CQP N° 927

L.C. Límite de cuantificación/L.D. Límite de detección

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

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de TYPASA, S.A. Sucursal del Perú. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario después de la recepción de la muestra en el laboratorio. Resultados válidos para la muestra referida en el presente informe.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce

LABORATORIO TYPASA PERÚ, Urb. Parque Industrial Callao, C/ Delta, 269. Callao. Telf 511-711-9736/711-9753 E-mail: labperu@typsa.com

INFORME DE ENSAYO N° 000103004

CLIENTE: CHEROS GARCIA YANALI ESHKENI
 DOMICILIO LEGAL: ()
 REFERENCIA CLIENTE: MUESTRA 20G - DIA 5
 CÓDIGO TYPSA: 000094835
 MATRIZ: Agua residual, Doméstica
 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: Cotización N° 00020009400
 Aproximadamente 100ml (Agua Residual Doméstica)
 DESCRIPCIÓN PROCEDIMIENTO TOMA DE MUESTRA: Tomada por el cliente
 CONDICIONES AMBIENTALES EN LA TOMA DE MUESTRAS:
 DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO:
 FECHA DE TOMA: 05/11/2022 02:00:00 p.m.
 FECHA DE RECEPCIÓN: 16/11/2022
 FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 16/11/2022 - 24/11/2022

RESULTADOS ANALÍTICOS IN SITU					
Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Técnica Empleada	L.D.
*pH "in situ"	ud. pH	8.10	Datos facilitados por el cliente		
*Temperatura del agua "in situ"	°C	23.2	Datos facilitados por el cliente		

RESULTADOS ANALÍTICOS METALES PESADOS					
Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Técnica Empleada	L.D.
Plomo total	mg/L	0.32464	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3030 K, 3125 B, 23rd Ed. 2017	Preliminary Treatment of Samples. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) Method	0.00005

Callao, 24 de Noviembre de 2022



Fdo. Vanessa León Legua
 Jefe de Laboratorio General y Espectroscopía
 CQP N° 927

L.C. Límite de cuantificación/L.D. Límite de detección

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

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de TYPSA, S.A. Sucursal del Perú. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendarios después de la recepción de la muestra en el laboratorio. Resultados válidos para la muestra referida en el presente informe.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce
 LABORATORIO TYPSA PERÚ, Urb. Parque Industrial Callao, C/ Delta, 269, Callao. Telf 511-711-9736/711-9755 E-mail: labperu@typsa.com

INFORME DE ENSAYO N° 000103005

CLIENTE: CHEROS GARCIA YANALI ESHKENI
 DOMICILIO LEGAL: ()
 REFERENCIA CLIENTE: MUESTRA 20G - DIA 10
 CÓDIGO TYPSA: 000094837
 MATRIZ: Agua residual, Doméstica
 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: Cotización N° 00020009400
 Aproximadamente 100ml (Agua Residual Doméstica)
 DESCRIPCIÓN PROCEDIMIENTO TOMA DE MUESTRA: Tomada por el cliente
 CONDICIONES AMBIENTALES EN LA TOMA DE MUESTRAS:
 DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO:
 FECHA DE TOMA: 10/11/2022 02:00:00 p.m.
 FECHA DE RECEPCIÓN: 16/11/2022
 FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 16/11/2022 - 24/11/2022

RESULTADOS ANALÍTICOS IN SITU					
Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Técnica Empleada	L.D.
*pH "in situ"	ud. pH	8.30	Datos facilitados por el cliente		
*Temperatura del agua "in situ"	°C	25.0	Datos facilitados por el cliente		

RESULTADOS ANALÍTICOS METALES PESADOS					
Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Técnica Empleada	L.D.
Plomo total	mg/L	0.09450	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3030 K, 3125 B, 23rd Ed. 2017	Preliminary Treatment of Samples. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) Method	0.00005

Callao, 24 de Noviembre de 2022



Fdo. Vanessa León Legua
 Jefe de Laboratorio General y Espectroscopía
 CQP N° 927

L.C. Límite de cuantificación/L.D. Límite de detección

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

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de TYPSA, S.A. Sucursal del Perú. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario después de la recepción de la muestra en el laboratorio. Resultados válidos para la muestra referida en el presente informe.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce
 LABORATORIO TYPSA PERÚ, Urb. Parque Industrial Callao, C/ Delta, 269. Callao. Telf 511-711-9736/711-9755 E-mail: labperu@typsa.com

INFORME DE ENSAYO N° 000103006

CLIENTE: CHEROS GARCIA YANALI ESHKENI
 DOMICILIO LEGAL: ()
 REFERENCIA CLIENTE: MUESTRA 20G - DIA 15
 CÓDIGO TYPSA: 000094838
 MATRIZ: Agua residual, Doméstica
 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: Cotización N° 00020009400
 Aproximadamente 100ml (Agua Residual Doméstica)
 DESCRIPCIÓN PROCEDIMIENTO TOMA DE MUESTRA: Tomada por el cliente
 CONDICIONES AMBIENTALES EN LA TOMA DE MUESTRAS:
 DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO:
 FECHA DE TOMA: 15/11/2022 02:00:00 p.m.
 FECHA DE RECEPCIÓN: 16/11/2022
 FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 16/11/2022 - 24/11/2022

RESULTADOS ANALÍTICOS IN SITU					
Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Técnica Empleada	L.D.
*pH "in situ"	ud. pH	8.70	Datos facilitados por el cliente		
*Temperatura del agua "in situ"	°C	21.0	Datos facilitados por el cliente		

RESULTADOS ANALÍTICOS METALES PESADOS					
Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Técnica Empleada	L.D.
Plomo total	mg/L	0.05709	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3030 K, 3125 B, 23rd Ed. 2017	Preliminary Treatment of Samples. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) Method	0.00005

Callao, 24 de Noviembre de 2022



Fdo. Vanessa León Legua
 Jefe de Laboratorio General y Espectroscopía
 CQP N° 927

L.C. Límite de cuantificación/L.D. Límite de detección

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

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de TYPSA, S.A. Sucursal del Perú. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendarios después de la recepción de la muestra en el laboratorio. Resultados válidos para la muestra referida en el presente informe.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce

LABORATORIO TYPSA PERÚ, Urb. Parque Industrial Callao, C/ Delta, 269, Callao. Telf 511-711-9736/711-9755 E-mail: labperu@typsa.com

INFORME DE ENSAYO N° 000103007

CLIENTE: CHEROS GARCIA YANALI ESHKENI
 DOMICILIO LEGAL: ()
 REFERENCIA CLIENTE: MUESTRA 30G - DIA 5
 CÓDIGO TYPSA: 000094839
 MATRIZ: Agua residual, Doméstica
 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: Cotización N° 00020009400
 Aproximadamente 100ml (Agua Residual Doméstica)
 DESCRIPCIÓN PROCEDIMIENTO TOMA DE MUESTRA: Tomada por el cliente
 CONDICIONES AMBIENTALES EN LA TOMA DE MUESTRAS:
 DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO:
 FECHA DE TOMA: 05/11/2022 02:00:00 p.m.
 FECHA DE RECEPCIÓN: 16/11/2022
 FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 16/11/2022 - 24/11/2022

RESULTADOS ANALÍTICOS IN SITU					
Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Técnica Empleada	L.D.
*pH "in situ"	ud. pH	8.10	Datos facilitados por el cliente		
*Temperatura del agua "in situ"	°C	24.8	Datos facilitados por el cliente		

RESULTADOS ANALÍTICOS METALES PESADOS					
Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Técnica Empleada	L.D.
Plomo total	mg/L	0.31586	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3030 K, 3125 B, 23rd Ed. 2017	Preliminary Treatment of Samples. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) Method	0.00005

Callao, 24 de Noviembre de 2022



Fdo. Vanessa León Legua
 Jefe de Laboratorio General y Espectroscopía
 CQP N° 927

L.C. Límite de cuantificación/L.D. Límite de detección

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

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de TYPSA, S.A. Sucursal del Perú. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario después de la recepción de la muestra en el laboratorio. Resultados válidos para la muestra referida en el presente informe.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce

LABORATORIO TYPSA PERÚ, Urb. Parque Industrial Callao, C/ Delta, 269, Callao. Telf 511-711-9736/711-9755 E-mail: labperu@typsa.com

INFORME DE ENSAYO N° 000103008

CLIENTE: CHEROS GARCIA YANALI ESHKENI
 DOMICILIO LEGAL: ()
 REFERENCIA CLIENTE: MUESTRA 30G - DIA 10
 CÓDIGO TYPSA: 000094840
 MATRIZ: Agua residual, Doméstica
 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: Cotización N° 00020009400
 Aproximadamente 100ml (Agua Residual Doméstica)
 DESCRIPCIÓN PROCEDIMIENTO TOMA DE MUESTRA: Tomada por el cliente
 CONDICIONES AMBIENTALES EN LA TOMA DE MUESTRAS:
 DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO:
 FECHA DE TOMA: 10/11/2022 02:00:00 p.m.
 FECHA DE RECEPCIÓN: 16/11/2022
 FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 16/11/2022 - 24/11/2022

RESULTADOS ANALÍTICOS IN SITU					
Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Técnica Empleada	L.D.
*pH "in situ"	ud. pH	8.30	Datos facilitados por el cliente		
*Temperatura del agua "in situ"	°C	24.1	Datos facilitados por el cliente		

RESULTADOS ANALÍTICOS METALES PESADOS					
Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Técnica Empleada	L.D.
Plomo total	mg/L	0.17741	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3030 K, 3125 B, 23rd Ed. 2017	Preliminary Treatment of Samples. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) Method	0.00005

Callao, 24 de Noviembre de 2022



Fdo. Vanessa León Legua
 Jefe de Laboratorio General y Espectroscopía
 CQP N° 927

L.C. Límite de cuantificación/L.D. Límite de detección

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

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de TYPSA, S.A. Sucursal del Perú. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario después de la recepción de la muestra en el laboratorio. Resultados válidos para la muestra referida en el presente informe.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce
 LABORATORIO TYPSA PERÚ, Urb. Parque Industrial Callao, C/ Delta, 269, Callao. Telf 511-711-9736/711-9755 E-mail: labperu@typsa.com

INFORME DE ENSAYO N° 000103009

CLIENTE: CHEROS GARCIA YANALI ESHKENI
 DOMICILIO LEGAL: ()
 REFERENCIA CLIENTE: MUESTRA 30G - DIA 15
 CÓDIGO TYPSA: 000094841
 MATRIZ: Agua residual, Doméstica
 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: Cotización N° 00020009400
 Aproximadamente 100ml (Agua Residual Doméstica)
 DESCRIPCIÓN PROCEDIMIENTO TOMA DE MUESTRA: Tomada por el cliente
 CONDICIONES AMBIENTALES EN LA TOMA DE MUESTRAS:
 DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO:
 FECHA DE TOMA: 15/11/2022 02:00:00 p.m.
 FECHA DE RECEPCIÓN: 15/11/2022
 FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 15/11/2022 - 24/11/2022

RESULTADOS ANALÍTICOS IN SITU					
Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Técnica Empleada	L.D.
*pH "in situ"	ud. pH	8.50	Datos facilitados por el cliente		
*Temperatura del agua "in situ"	°C	20.8	Datos facilitados por el cliente		

RESULTADOS ANALÍTICOS METALES PESADOS					
Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Técnica Empleada	L.D.
Plomo total	mg/L	0.00272	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3030 K, 3125 B, 23rd Ed. 2017	Preliminary Treatment of Samples. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) Method	0.00005

Callao, 24 de Noviembre de 2022



Fdo. Vanessa León Legua
Jefe de Laboratorio General y Espectroscopía
CQP N° 927

L.C. Límite de cuantificación/L.D. Límite de detección

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

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de TYPSA, S.A. Sucursal del Perú. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario después de la recepción de la muestra en el laboratorio. Resultados válidos para la muestra referida en el presente informe.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce

LABORATORIO TYPSA PERÚ, Urb. Parque Industrial Callao, C/ Delta, 269, Callao. Telf 511-711-9736/711-9755 E-mail: labperu@typsa.com

Anexo. Proceso del desarrollo del trabajo de investigación.

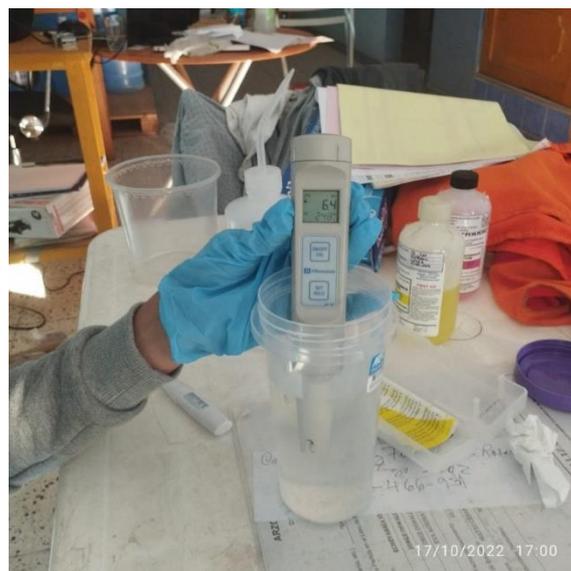
Fotografía 1

Recolectando las muestras de agua en la acequia de Cois, Chiclayo.



Fotografía 2

Analizando las características fisicoquímicas del agua residual.



Fotografía 3

Lugar donde se encontró la *Azolla Filiculoides*.



Fotografía 4

Adaptación de la *Azolla filiculoides* en diferentes cantidades de biomásas en los estanques del agua residual.



Fotografía 5

Expansión de la *Azolla filiculoides* en el día 5 del experimento.



Fotografía 6

Monitoreo de la temperatura a la muestra de 20g de *Azolla filiculoides* a los 5 días del tratamiento.



Fotografía 7

Monitoreo del pH a la muestra de 20g de *Azolla filiculoides* a los 5 días del tratamiento.



Fotografía 8

Monitoreo de la temperatura a la muestra de 30g de *Azolla filiculoides* a los 5 días del tratamiento



Fotografía 9

Monitoreo del pH a la muestra de 30g de *Azolla filiculoides* a los 5 días del tratamiento.



Fotografía 10

Monitoreo de la temperatura al testigo sin *Azolla filiculoides* a los 5 días del tratamiento.



Fotografía 11

Muestras del agua residual con la *Azolla Filiculoides* a los 5 días del inicio del tratamiento.



Fotografía 12

Monitoreo de la temperatura a la muestra de 20g de *Azolla filiculoides* a los 10 días del tratamiento.



Fotografía 13

Monitoreo del pH a la muestra de 20g de *Azolla filiculoides* a los 10 días del tratamiento.



Fotografía 14

Monitoreo de la temperatura a la muestra de 30g de *Azolla filiculoides* a los 10 días del tratamiento.



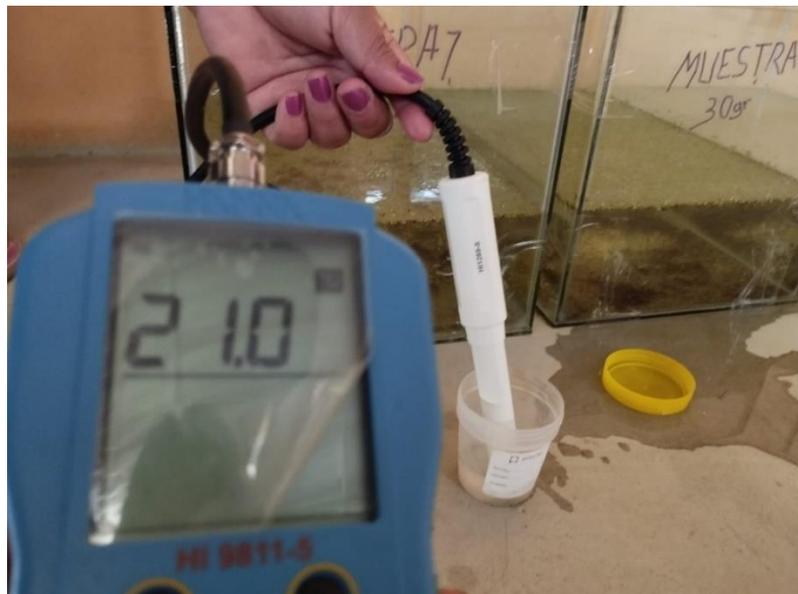
Fotografía 15

Muestras del agua residual con la *Azolla Filiculoides* a los 10 días del inicio del tratamiento.



Fotografía 16

Monitoreo de la temperatura a la muestra de 20g de *Azolla filiculoides* a los 15 días del tratamiento.



Fotografía 17

Monitoreo del pH a la muestra de 20g de *Azolla filiculoides* a los 15 días del tratamiento.



Fotografía 18

Monitoreo de la temperatura a la muestra de 30g de *Azolla filiculoides* a los 15 días del tratamiento.



Fotografía 19

Monitoreo del pH a la muestra de 30g de *Azolla filiculoides* a los 15 días del tratamiento.



Fotografía 20

Muestras del agua residual con la *Azolla Filiculoides* a los 15 días del inicio del tratamiento.





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, MONTEZA ARBULÚ CÉSAR AUGUSTO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Tesis titulada: "Fitorremediación utilizando Azolla filiculoides para la remoción de plomo en aguas residuales de la acequia Cois, Chiclayo.", cuyos autores son LEON HUAMAN BETTY MELISSA, CHEROS GARCIA YANALI ESHKENI, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 17.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

CHICLAYO, 10 de Noviembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
MONTEZA ARBULÚ CÉSAR AUGUSTO DNI: 16681280 ORCID: 0000-0003-2052-6707	Firmado electrónicamente por: MARBULUCA el 12- 12-2022 09:52:24

Código documento Trilce: TRI - 0438595