



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Vea una copia de esta licencia en <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECOLOGÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Tesis

Plantas macrófitas (*Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*) como depurador de metales pesados en aguas residuales domésticas del río Shilcayo

Para optar el grado académico de Maestro en Gestión Ambiental

Autor:

Andi Lozano Chung

<http://orcid.org/0000-0002-2794-1535>

Asesor:

Lic. Dr. Fabián Centurión Tapia

<https://orcid.org/0000-0003-2213-1856>

Tarapoto, Perú

2023



ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECOLOGÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Tesis

Plantas macrófitas (*Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*) como depurador de metales pesados en aguas residuales domésticas del río Shilcayo

Para optar el grado académico de Maestro en Gestión Ambiental

Autor:

Andi Lozano Chung

<http://orcid.org/0000-0002-2794-1535>

Asesor:

Lic. Dr. Fabián Centurión Tapia

<https://orcid.org/0000-0003-2213-1856>

Tarapoto, Perú

2023



ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECOLOGÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Tesis

Plantas macrófitas (*Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*) como depurador de metales pesados en aguas residuales domésticas del río Shilcayo

Para optar el grado académico de Maestro en Gestión Ambiental

Autor:

Andi Lozano Chung

Sustentado y aprobado el 15 de diciembre de 2023, ante el honorable jurado:

Presidente de Jurado:

Ing. M. Sc. Alfonso Rojas Bardalez

Secretario de jurado:

Blgo. M. Sc. Alfredo Iban Díaz
Visitación

Miembro de Jurado:

Blgo. Mg. Heriberto Arévalo
Ramírez

Asesor:

Lic. Dr. Fabián Centurión Tapia

Tarapoto, Perú

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN

Escuela de Posgrado



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para estudiar y escuchar la sustentación y defensa del Trabajo de Tesis, modo presencial, presentado por:

Bach. Andi Lozano Chung

Con el asesoramiento del Lic. Dr. Fabián Centurión Tapia.

"Plantas macrófitas (Eichhornia crassipes y Pistia stratiotes), como depurador de metales pesados en aguas residuales domésticas del río Shilcayo"

Teniendo en consideración los méritos del referido trabajo, así como los conocimientos demostrados por el sustentante, lo declaramos:

APROBARO

Con el calificativo (*)

VEICISIEVE (17)

En consecuencia, queda en condición de ser considerado APTO por el Consejo Universitario y recibir el Grado Académico de Maestro, de conformidad con lo estipulado en el Artículo 30° del Reglamento de Tesis de la Escuela de Posgrado de la UNSM.

Tarapoto, 15 de diciembre de 2023.

Ing. M.Sc. Alfonso Rojas Bardalez
Presidente

Blgo. Mg. Heriberto Arévalo Ramírez
Miembro

Blgo. M.Sc. Alfredo Iban Diaz Visitación
Secretario

Lic. Dr. Fabián Centurión Tapia
Asesor

(*) De acuerdo con el Artículo 40° del Reglamento General de Ciencia, Tecnología e Innovación (RC - CTI) la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, estas deberán ser calificadas con términos de: BUENO, MUY BUENO, EXCELENTE, también considerar la nota



ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECOLOGÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Tesis

Plantas macrófitas (*Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*) como depurador de metales pesados en aguas residuales domésticas del río Shilcayo

Para optar el grado académico de Maestro en Gestión Ambiental

El suscrito declara que el presente trabajo de tesis es original, en su contenido y forma.



Ejecutor
Andi Lozano Chung



Asesor:
Lic. Dr. Fabián Centurión Tapia

Tarapoto, Perú

2023

Declaratoria de autenticidad

Yo, Andi Lozano Chung con DNI N° 00914138 de la Escuela de Posgrado de la Facultad de Ecología Programa de Maestría en Gestión Ambiental de la Universidad Nacional de San Martín autor de la tesis que lleva como título: “Plantas macrófitas (Eichhornia crassipes y Pistia stratiotes) como depurador de metales pesados en aguas residuales domésticas del río Shilcayo”.

Declaro bajo juramento que:

1. La Tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizado teniendo en cuenta las citas y referencias bibliográficas para las fuentes consultadas.
3. La información contenida n esta tesis, n fue auto plagiada.
4. Los resultados de esta investigación debe considerarse como una contribución a lo investigado, debido que los datos son reales, no fueron alterados, ni copiados.

Por lo antes mencionado, asumo la responsabilidad y posibles consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 15 de diciembre del 2023.



Andi Lozano Chung
DNI N° 00914138

Ficha de identificación

<p>Título del proyecto Plantas macrófitas (Eichhornia crassipes y Pistia stratiotes) como depurador de metales pesados en aguas residuales domésticas del río Shilcayo.</p>	<p>Área de investigación: Línea de investigación: Gestión Integral y Sostenible de los Recursos Naturales Sublínea de investigación: Evaluación de la Calidad del Agua Grupo de investigación (indicar resolución): Tipo de investigación: Experimental Básica <input type="checkbox"/>, Aplicada <input checked="" type="checkbox"/>, Desarrollo experimental <input checked="" type="checkbox"/></p>
<p>Autor: Andi Lozano Chung</p>	<p>Facultad de Ecología Programa de Maestría en Gestión Ambiental https://orcid.org/0000-0002-2794-1535</p>
<p>Asesor: Lic. Dr. Fabián Centurión Tapia</p>	<p>Dependencia local de soporte: Facultad de Ecología Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental Unidad o Laboratorio Ingeniería Ambiental https://orcid.org/0000-0003-22131856</p>

Dedicatoria.

Al creador del Universo, por darme la luz y acompañarme en el camino de la verdad y al logro de mis objetivos profesionales, familiares y personales.

A mi hijo Ing. Carlos Mauricio Lozano Carranza, que aparte de ser motor para seguir poniéndome metas a lo largo de mi vida y que con ejemplos y hechos esta investigación le sirva como base para sus propios logros profesionales.

Andi Lozano

Agradecimientos.

A mi familia por su paciencia, apoyo y comprensión, nada de lo logrado no sería posible sin ellos. Mi eterno agradecimiento.

A mi sobrino Ing. Rodrigo David Colichón Carranza, por su desprendimiento y apoyo incondicional en todo.

Andi Lozano

Índice general

Ficha de identificación	7
Dedicatoria.....	8
Agradecimientos.....	9
Índice general	¡Error! Marcador no definido.
Índice de tablas.....	12
Índice de figuras	13
RESUMEN.....	14
ABSTRACT.....	15
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN.....	16
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	19
2.1. Antecedentes de la investigación.....	19
2.2. Fundamentos teóricos	21
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.1. Ámbito y condiciones de la investigación.....	28
3.1.1 Contexto de la investigación	28
3.1.2 . Periodo de ejecución.....	29
3.1.3 . Autorizaciones y permisos.	29
3.1.4 . Control ambiental y protocolos de bioseguridad.	29
3.1.5 . Aplicación de principios éticos internacionales.	29
3.2. Sistemas de variables.....	29
3.2.1 Variables principales.	29
3.3. Procedimiento de la investigación.....	30
3.3.1 Objetivo específico 1	33
3.3.2 Objetivo específico 2	34
3.3.3 Objetivo específico 3.....	35
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
4.1 Determinar las concentraciones iniciales de metales pesados en el cuerpo receptor del río Shilcayo.....	37

4.2	Conocer la eficiencia de remoción de metales pesados en el cuerpo receptor del río Shilcayo utilizando plantas macrófitas.	40
4.3	Comparar la eficiencia de depuración de las macrófitas (<i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Pistia stratiotes</i>) en el tratamiento de metales pesados del río Shilcayo.	49
4.3.1.	Resultados de ambas macrófitas comparados con los Estándares de Calidad para Agua.....	52
	CONCLUSIONES.....	56
	RECOMENDACIONES	57
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
	ANEXOS.....	65

Índice de tablas

Tabla 1: Clasificación taxonómica de la <i>Eichhornia crassipes</i>	23
Tabla 2: Clasificación taxonómica de la <i>Pistia stratiotes</i>	24
Tabla 3: Principales actividades antrópicas productoras de metales pesados	26
Tabla 4: Ubicación geográfica del proyecto	28
Tabla 5: Límites de la microcuenca del río Shilcayo.....	28
Tabla 6: Referencia del método utilizado por el laboratorio	33
Tabla 7: Estándares de calidad ambiental para agua (cuerpo receptor).	36
Tabla 8: Eficiencia de remoción de plomo (Pb) utilizando <i>E. crassipes</i> y <i>P. stratiotes</i> (T1)	40
Tabla 9: Eficiencia de remoción de arsénico (As) utilizando <i>E. crassipes</i> y <i>P. stratiotes</i> (T1)	41
Tabla 10: Eficiencia de remoción de cadmio (Cd) utilizando <i>E. crassipes</i> y <i>P. stratiotes</i> (T1)	42
Tabla 11: Eficiencia de remoción de plomo (Pb) utilizando <i>E. crassipes</i> y <i>P. stratiotes</i> (T2)	43
Tabla 12: Eficiencia de remoción de arsénico (As) utilizando <i>E. crassipes</i> y <i>P. stratiotes</i> (T2)	44
Tabla 13: Eficiencia de remoción de cadmio (Cd) utilizando <i>E. crassipes</i> y <i>P. stratiotes</i> (T2)	45
Tabla 14: Eficiencia de remoción de plomo (Pb) utilizando <i>E. crassipes</i> y <i>P. stratiotes</i> (T3)	46
Tabla 15: Eficiencia de remoción de arsénico (As) utilizando <i>E. crassipes</i> y <i>P. stratiotes</i> (T3)	47
Tabla 16: Eficiencia de remoción de cadmio (Cd) utilizando <i>E. crassipes</i> y <i>P. stratiotes</i> (T3)	48
Tabla 17: Comparación de la eficiencia de remoción de ambas macrófitas en T1 (5 días).	49
Tabla 18: Comparación de la eficiencia de remoción de ambas macrófitas en T2 (10 días)	50
Tabla 19: Comparación de la eficiencia de remoción de ambas macrófitas en T3 (15 días)	51
Tabla 20: Resultados de ambas macrófitas en T1, T2 y T3 comparados con los ECAs. 52	
Tabla 21: Análisis de la varianza (plomo)	54
Tabla 22: Análisis de la varianza (arsénico)	54
Tabla 23: Análisis de la varianza (cadmio)	54

Índice de figuras

Figura 1: Diseño del humedal de vidrio a escala.....	35
Figura 2: Concentración inicial (T0, muestra testigo) de Arsénico respecto al ECA	37
Figura 3: Concentración inicial (T0, muestra testigo) de Cadmio respecto al ECA.....	38
Figura 4: Concentración inicial (T0, muestra testigo) de Cadmio respecto al ECA.....	38
Figura 5: Concentración inicial (T0=muestra testigo) de Pb, Cd y As respecto al ECA.	39
Figura 6: Eficiencia de remoción de arsénico en T1, E. crassipes y P. stratiotes.	42
Figura 7: Eficiencia de remoción de cadmio en T1, E. crassipes y P. stratiotes	43
Figura 8: Eficiencia de remoción de plomo en T2 E. crassipes y P. stratiotes	44
Figura 9: Eficiencia de remoción de arsénico en T2 E. crassipes y P. stratiotes	45
Figura 10: Eficiencia de remoción de cadmio en T2 E. crassipes y P. stratiotes	46
Figura 11: Eficiencia de remoción de plomo en T3 E. crassipes y P. stratiotes	47
Figura 12: Eficiencia de remoción de arsénico en T3 E. crassipes y P. stratiotes	48
Figura 13: Eficiencia de remoción de cadmio en T3 E. crassipes y P. stratiotes	48
Figura 14: Comparación de la eficiencia entre macrófitas en T1 (5 días).	50
Figura 15: Comparación de la eficiencia entre macrófitas en T2 (10 días)	51
Figura 16: Comparación de la eficiencia entre macrófitas en T3 (15 días).	52
Figura 17: Resultados de las macrófitas en T1, T2 y T3 comparados con los ECAs. ...	53

RESUMEN

Plantas macrófitas (*Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*) como depurador de metales pesados en aguas residuales domésticas del río Shilcayo.

Entre los problemas de importancia que hoy se ven expuestos los cuerpos receptores es la contaminación por metales pesados, lo que conlleva a la disminución de su calidad ambiental, sumado a la poblaciones que se ubican en zonas periurbanas y la tendencia al crecimiento de las ciudades emergentes, acarreando déficit en el sistema de saneamiento básico y por consiguiente vertimientos inadecuados de las aguas residuales a los cuerpos receptores, el objetivo de investigación que se planteó fue Evaluar la eficiencia del uso de plantas macrófitas (*Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*) para depurar metales pesados en aguas residuales domésticas del río Shilcayo, el ámbito de estudio fue el distrito de La Banda de Shilcayo, la muestra considerada fue 120 L de agua residual del cuerpo receptor y 72 plantas macrófitas. El periodo de ejecución fue de 6 meses. Se consideró 3 tratamientos, de 5, 10 y 15 días por cada una de las macrófitas utilizadas en la investigación y una muestra testigo. Diseño experimental de tipo aplicada. Los resultados encontrados en la muestra testigo fue para plomo 0.010 mg/L, cadmio con 0.00046 mg/L y arsénico con 0.030 mg/L, donde solo el As cumple con lo establecido en el ECA-agua, posterior al tratamiento, en 15 días de experimentación se logró la mayor eficiencia de remoción de contaminantes para la *Pistia stratiotes* con 96.33% de remoción para arsénico y con 96% de eficiencia de remoción del mismo contaminante para la *Eichhornia crassipes*, lo que no exceden lo establecido en el ECA, categoría 4: conservación de ambientes acuáticos, E2: ríos de la selva, con un nivel de diferencia estadística significativa del 95% en la remoción del plomo y arsénico según tratamientos realizados. Se concluye que la mayor eficiencia de remoción de contaminantes sucede en el tratamiento T3 con 15 días de experimentación para el plomo con 0.002 mg/L y para cadmio con 0.00025 mg/L, ambos con la *Eichhornia crassipes*, haciendo que ambos resultados se encuentren cumpliendo con lo establecido en el ECA-agua.

Palabra clave: cuerpo receptor, agua superficial, eficiencia, contaminantes, Estándar de Calidad Ambiental.

ABSTRACT

The macrophyte plants such as *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*, as heavy metal purifier in domestic wastewater of Shilcayo River.

Among the important problems that the receiving bodies are exposed to today is contamination by heavy metals, which leads to a decrease in their environmental quality, added to the populations that are located in areas, and consequently an incorrect discharging of wastewater to the rivers; for this reason, the objective of this research was to evaluate the efficiency of the use of the macrophyte plants such as *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* to purify heavy metals in domestic wastewater of Shilcayo River. The study scope was La Banda de Shilcayo district, having 120 L of wastewater representative sample from the river and 72 macrophyte plants. The completion period was 6 months. Three treatments were considered, 5, 10 and 15 days for each of the macrophytes used in the study, and a control sample. The applied design was experimental. The results found in the control sample were 0.010 mg/L for lead, 0.00046 mg/L for cadmium and 0.030 mg/L for arsenic, in which only the As comply with what is established by the ECA-Agua, 15 days after the treatment, the highest efficiency of contaminants removal was achieved, for *Pistia stratiotes* with 96.33% removal for arsenic and with 96% removal efficiency of the same pollutant for *Eichhornia crassipes*, which do not exceed what is established in category 4: conservation of aquatic environments, E2: Rivers of the jungle, from the ECA, getting a significant statistical difference level of 95% for lead and arsenic removal, in treatments that were carried out. The research concludes that the highest removal efficiency of contaminants occurs when treating T3, with 0.002 mg/L for lead in 15 days of experimentation and 0.00025 mg/L for cadmium, both of them with the *Eichhornia crassipes*, getting that both results fulfil what is established in the ECA-agua.

Key words: Rivers, Surface water, efficiency, contaminants, Environment Quality Standar.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

La ubicación de la población en zonas periurbanas de la ciudad, muestra tendencia al crecimiento como parte de la ampliación urbana en las ciudades emergentes, lo que acarrea déficit en el servicio de agua y saneamiento, la fuente de agua del río Shilcayo sirve para cubrir brechas de demanda del recurso hídrico en San Martín, tiene un caudal de 350 L/s, de las cuales la empresa prestadora de agua de San Martín capta 120 L/s en la parte alta del Área de Conservación Regional, Cerro Escalera – ACR-CE. (EMAPA SM, 2013).

Para proveer de agua al Cercado y Barrio Huayco de Tarapoto, considerando que el abastecimiento de dicho servicio es un factor de importancia para el desarrollo de múltiples actividades, de la misma manera, el adecuado nivel de saneamiento básico urbano, bajo estas premisas, el río Shilcayo se ve afectado por descargas de aguas residuales, lo que alteran las características físicas, químicas y microbiológicas iniciales del cuerpo receptor, perdiendo de esta forma su calidad ambiental y convirtiéndose en un peligro para las personas que viven en sus riveras. Por ello, (Medina y López, 2015), describen la problemática de las aguas residuales como la que acarrea consecuencias de propagación de males y menoscabo del ambiente, donde los humedales artificiales se determinan como ecosistemas de sustratos complejos, agua y plantas, cuyo fin es remover tóxicos del agua residual mediante procesos de depuración.

Como se muestra el agua desde épocas antiguas hasta nuestros tiempos era importante, a nivel global las poblaciones enfrentan grandes problemas referido al saneamiento, los vertimientos de aguas residuales son de preocupación, debido al impacto que generan al ambiente y las personas. Si bien es cierto, los esfuerzos para minimizar los efectos ocasionados ya se aplican casi en todas las regiones del mundo, pero aún no es suficiente para disminuir la contaminación del entorno y menoscabo de condiciones de vida poblacional. Las aguas residuales son vertidas generalmente en los cuerpos receptores, sin tratamiento alguno. La contaminación ambiental por aguas residuales y saneamiento básico son de magnitud nacional, especialmente en ciudades de poca población son los que en mayor porcentaje no cumplen con las exigencias establecidas en los estándares de contaminación por aguas residuales. La situación mundial sobre la concentración de elementos metálicos como cadmio, mercurio, arsénico, plomo, y otros componentes en el ambiente, favorece al aumento del índice de deterioro de los cuerpos receptores (Londoño et al., 2016).

La utilización del agua en el mundo aumenta en 1% anual, por una parte, el aumento poblacional, el desarrollo socioeconómico y el cambio en los modelos de consumo, se intuye a este paso, que la demanda de agua aumente más, por lo que al año 2050 representará un crecimiento del 20% al 30% respecto a la demanda actual, debido principalmente al consumo creciente en los sectores industrial y doméstico (UNESCO, 2019).

La contaminación industrial, las actividades agropecuarias, la explotación de minerales y el creciente uso de fertilizantes químicos con metales pesados en el suelo, hacen que se incorporen contaminantes a los ríos, animales, alimentos y vegetales, alterando la continuidad y permanencia de la cadena alimentaria, causando riesgos potenciales en el ambiente y la población. Estudios recientes muestran concentraciones de plomo de hasta 400 a 1 000 veces en los huesos referentes a 400 años atrás, lo que indica que este metal se encuentra en alimentos y otros bienes de la industria. El Pb tiene efectos nocivos en distintos órganos y en el cerebro, perturbando el desarrollo y condición mental de los infantes (Alberto, 2014).

Considerando que la situación industrial y comercial en la ciudad de Tarapoto está en constante desarrollo, los vertimientos de aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento van a terminar en los cuerpos receptores, por ello, planteamos el problema, ¿En qué medida es eficiente el uso de plantas macrófitas (*Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*) para depurar metales pesados en aguas residuales domésticas del río Shilcayo?; siendo la Hipótesis de investigación H1= El uso de plantas macrófitas (*Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*) son eficientes para depurar metales pesados en aguas residuales domésticas del río Shilcayo y H0= El uso de plantas macrófitas (*Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*) no son eficientes para depurar metales pesados en aguas residuales domésticas del río Shilcayo.

El objetivo general fue evaluar la eficiencia del uso de plantas macrófitas (*Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*) para depurar metales pesados en aguas residuales domésticas del río Shilcayo; y los objetivos específicos: Determinar las concentraciones iniciales de metales pesados en el cuerpo receptor del río Shilcayo; Conocer la eficiencia de remoción de metales pesados en el cuerpo receptor del río Shilcayo utilizando plantas macrófitas y comparar la eficiencia de depuración de las macrófitas (*Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*) en el tratamiento de metales pesados del río Shilcayo.

Las macrófitas son plantas con condiciones acuáticas dispersados por todo el mundo, son catalogadas invasivas en cuerpos de agua superficial, casi todo su ciclo de vida lo hacen de forma flotante, solo su sistema radicular está sumergido completamente, tienen

el potencial de depurar metales del agua, su gran tamaño, eficiencia de remoción y alta tolerancia a los contaminantes los muestra como una alternativa a considerar en el proceso de biorremediación (Mishra, 2008).

Investigación de tipo aplicada con diseño experimental, presenta dos variables; una dependiente; depuración de metales pesados y la independiente; plantas macrófitas, empleando estas plantas se demuestra la eficiencia de tratar aguas residuales domésticas de manera económica y ambientalmente sostenible, lo que permite cuidar la salud de las personas y mantener las condiciones iniciales de calidad del cuerpo receptor, que es el río Shilcayo.

La importancia de la investigación radica en contar con una técnica eficiente, económica y ambientalmente amigable en el tratamiento y eliminación de elementos dañinos presentes en aguas servidas que son vertidas sin tratamiento previo al cuerpo receptor del río Shilcayo, por lo que se emplearon macrófitos (*Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*) como alternativas de solución para hacer frente a la problemática ambiental actual a lo que son expuestas los cuerpos receptores de agua superficial en el país y la región San Martín.

En el capítulo uno, se muestra la introducción a la investigación, el capítulo dos presenta el marco teórico, en el que se incluye los antecedentes de la investigación y los fundamentos teóricos, el tercer capítulo se exterioriza los materiales y métodos utilizados en la investigación, el cuarto capítulo da a conocer los resultados y discusiones por cada objetivo específico planteado, para luego mostrar las conclusiones y recomendaciones finales.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación.

Quispe et al. (2017), La investigación tiene como objetivo principal evaluar la eficiencia en la remoción de elementos fisicoquímicos y metales pesados de las macrófitas *Eichhornia crassipes* y evaluar el crecimiento en función al tiempo, estudio de diseño experimental donde se adaptó a las macrófitas por quince días hasta lograr su desarrollo medio y se diseñaron los procesos flotantes. La muestra estuvo conformada por 75 macrófitas en 5 sistemas instalados en la laguna La Mansión. La recolección de información se realizó utilizando la ficha de observación y la cadena de custodia. Los resultados para el caso del plomo en ppm antes del tratamiento tuvieron una concentración de 0,015 ppm y post tratamiento una concentración de 0,001 ppm, lo que significa que se obtuvo un 31% de remoción de Pb, demostrando que está macrófita es eficiente para eliminar sustancias tóxicas en el agua.

Por su parte, Sandoval (2019), Realizó su investigación sobre la capacidad de la *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* en el tratamiento de cadmio en aguas residuales, el objetivo fue evaluar el grado de eficiencia de la *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* en la eliminación de cadmio en aguas residuales domésticas, diseño experimental longitudinal, muestra conformada por plantas macrófitas flotantes, el instrumento aplicado fue la cadena de custodia y la ficha de campo para la toma de datos importantes. Los resultados encontrados muestran remoción de Cd alta con *Eichhornia crassipes*, con porcentaje de eliminación del 83,57% en 11 días de tratamiento y la depuración con *Lemna minor* fue de 39.35% en el mismo tiempo de tratamiento.

Ramírez y Paredes (2019), Investigación basada en evaluar dos macrófitas, *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* para eliminar contaminantes químicos y microbiológicos usando un sistema de biofiltros en aguas residuales domésticas, presentó el objetivo de evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes empleando dos macrófitas en sistemas de biofiltros, para el cual se empleó el diseño experimental de tipo longitudinal, la muestra la conformaron ocho muestreos, haciendo un total de 32,8 litros de agua residual, se elaboró una ficha de campo y cadenas de custodia. Los resultados encontrados muestran a la especie *Eichhornia crassipes* con capacidad de depuración del 74,96% de parámetros químicos y la *Pistia stratiotes* con capacidad de remoción más alta, llegando hasta un 78,29% para los mismos parámetros.

Muñoz y Vásquez (2020), Investigación que trata sobre eficacia en tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales utilizando 5 plantas macrófitas, el objetivo fue evaluar la eficacia del tratamiento de aguas residuales con 5 plantas macrófitas, estudio tipo teórico – exploratorio lo que permitió ampliar y conocer respecto a una condición para conocer mejor el problema planteado, muestra constituida por 12 investigaciones donde se compararon plantas macrófitas en la capacidad de tratar aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales; técnica empleada, el análisis documental y el instrumento la ficha de registro de campo. Los resultados encontrados fueron para *Juncos* 74,13% a 81,67%, *Phragmites* 67% a 87,5%, *Tipa dominguensis* 93,57% a 96,77%, *Ch. zizanoides* con 88,09% a 91% y para el *C. papyrus* 50,8%.

Rojas y Suyón (2020), Su investigación tuvo como objetivo evaluar la eficacia de biorremediación con *Eichhornia crassipes* para reducir arsénico en las aguas del CP Cruz de Médano, la metodología consistió en recolección de muestras de agua con As y acopio de macrófitas para determinar su capacidad remediadora. Los resultados en la muestra uno arrojó 0,047 mg/L As, con pH de 7,25 y temperatura de 26,6°C y en siete días de tratamiento, donde el arsénico disminuyó a 0,031 mg/L, con temperatura de 21,40°C y pH de 7,19; y en la segunda semana la eficiencia de remoción para arsénico fue de 0,019 mg/L a 23°C y 7,10 unidades de pH, por lo que concluyen que hay remoción eficiente para metales pesados del 60%.

Del mismo modo, Pedraza (2021), Recopiló información de técnicas remediadoras en cuerpos receptores de aguas por distintas variedades de macrófitas, estudio tipo aplicada, muestra conformada por 90 artículos de los cuales se consideraron 61, la técnica consistió en la revisión sistémica, el método utilizado fueron búsqueda en plataformas Scopus, Science Direct y Web of Science. Los resultados muestran que especies acuáticas para su desarrollo tienen capacidad de asimilar elementos metálicos, utilizando diferentes mecanismos como la fitoextracción y fitovolatilización a través de sus partes aéreas, la fitoestabilización y rizofiltración llevadas a cabo desde las raíces hacia la parte interior, la fitofiltración es otra forma de fitorremediación de aguas residuales por macrófitas, su rápido crecimiento y capacidad de aguante depende de la temperatura y pH para acumular metales, la *Lantana camara* remedia hasta 88.93% de plomo, *Cyperus alternifolius* absorbe hasta 5% de cinc, 6% de cadmio, 13% de aluminio y 14% de plomo, la *V. unguiculada* remedia 72% de cobre y 92% de cadmio, las ventajas de este tratamiento es precisamente su bajo coste.

Mena (2021), Determinó la eficiencia de tratamiento de metales pesados con macrófitas (*Eichhornia crassipes*, *Schoenoplectus colifornicus* y *Phragmites australis*), muestra

conformada por 0.192 m³ de agua residual, la metodología consistió en construir tres estanques de madera con dimensiones de 0,30 m de ancho, 0,40 m de alto y 1,60 m de largo, en cada estanque se plantaron las especies por espacio de 90 días para luego ser enviadas al laboratorio. Los resultados muestran mejor eficiencia en la *E. crassipes* con 94,73% de remoción para Ni, 84,36% para Pb y 78,48% para Cd, respecto al tratamiento con *S. coliformicus*, con 83% para Ni, 61,23% Pb y 51,90% para Cd y referente al tratamiento con *P. australis*, para Ni se obtuvo una eficiencia de remoción del 79,9%, Pb con 60,23% y para el Cd 29,11%, lo que significa que las tres especies tienen buenas condiciones de remoción para metales pesados.

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. Plantas acuáticas.

Son aquellas plantas que necesitan de mucha humedad en sus raíces para existir, crecen en situaciones de inundación y humedad, pero tienen las mismas exigencias nutricionales que las plantas terrestres (García, 2012).

2.2.2. Macrófitas.

Conjunto de especies que viven en la superficie o sumergidas en agua, formando parte del ecosistema acuático, los que pueden ser lagos, humedales, ríos, charcos, etc., donde se realizan procesos de fotosíntesis, por ello, (Cirujano et al., 2011), designa a las macrófitas como grupo práctico de plantas heterogéneas desde el enfoque evolutivo y sistemático considerando un elemento prioritario en la cadena trófica.

Son plantas acuáticas caracterizadas por captar nutrientes, concentrar y remover metales, lo que le hace especial a estas plantas, muchas especies se utilizaron para detectar y remover sustancias contaminantes en los efluentes industriales y domésticos (Martelo y Lara, 2012).

Alrededor del mundo las macrófitas son considerados malezas, ya que ocasionan graves inconvenientes en la navegación, pesca y actividades turísticas recreacionales, pero también tiene beneficios como alimento de bovinos o en la descontaminación de las aguas (Barrionuevo et al., 2020). En los ambientes acuáticos, dentro del ciclo estiaje y máximas avenidas, muchas macrófitas pueden tener diferencias fenotípicas y resistencia a suelos áridos como mecanismos de adaptación a condiciones ambientales, las cuales son conocidas como eco fases (Atuesta, 2019).

2.2.3. Clasificación de las macrófitas.

- **Macrófitas flotantes libres.**

Constituyen un gran y variado número de grupos vegetales, sobresaliendo dentro de ellos, el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), redonda de agua (*Hydrocotyle ranunculoides*), silvinia (*Silvinia* spp) y algunas variedades de lentejas de agua (*Lemna* spp), las que son perennes de agua dulce de tallo vegetativo corto, hojas verdes brillantes y flores de lavanda (Martelo y Lara, 2012), por ello, (Carvajal Rowan et al., 2018), se refiere a las macrófitas flotantes son básicamente angiospermas, los órganos reproductores son aéreos o flotantes con raíces bajo el agua.

Ocupan superficies del agua, mayormente su estructura como tallos, hojas y flores son flotantes, las raíces no se encuentran adheridas al fondo del agua ya que no cumplen la función de anclaje permitiéndole de esta forma la capacidad de flotar (Ramírez y Álvarez, 2012)

- **Macrófitas enraizadas flotantes.**

En estas plantas las raíces están sujetas al sustrato, las hojas y la distribución floral descansan sobre el agua superficial, agrupan especies flotantes de hojas emergentes e inmersas, como los nenúfares (Ramos et al., 2013), las hojas y la estructura de las flores en estas macrófitas descansan sobre la base del agua y las raíces están pegadas al suelo, (Núñez et al., 2004), se refiere a estas macrófitas con las hojas flotando sobre la base del agua superficial, pero con las raíces estables en el sedimento.

- **Macrófitas sumergidas.**

Plantas enraizadas que tienen todas sus estructuras sumergidas en agua, como la *Zannichellia* y también con flores o inflorescencias emergentes (García et al., 2010), para (Ramos Montaña et al., 2013), estas plantas sumergidas logran el punto máximo de adaptabilidad al agua, ya que desarrollan órganos fotosintéticos y reproductivos de bajo de su nivel, esto incluye las condiciones de luz limitada.

2.2.4. *Eichhornia crassipes*. (jacinto de agua).

Juárez (2011), refiere que la *E. crassipes* es una macrófita libre flotadora, de hojas verdes brillantes y raíz fibrosa que mide aproximadamente 3 m, con inflorescencia de 8 y 15 flores, con frutos pequeños que contienen más o menos 450 semillas, poseen filamentos pequeños que funcionan como malla para coger nutrientes y partículas en suspensión, su taxonomía se describe a continuación:

Tabla 1
Datos taxonómicos de la *Eichhornia crassipes*

Nombre:	<i>Eichhornia crassipes</i>
Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Orden:	Commelinales
Familia:	Pontederiaceae
Género:	<i>Eichhornia</i>
Especie:	<i>Eichhornia crassipes</i>

Fuente: (Juárez, 2011).

Esta macrófita tiene una elevada capacidad de eliminar diferentes colorantes y metales como Fe, Zn, Cu, Cr, Cd, Mn, Hg y As, pero sin embargo hay pocos estudios sobre la aplicación y sus productos derivados en la eliminación de tintes y metales pesados de los efluentes textiles y de aguas servidas (Sanmuga y Senthamil, 2017).

Los metales pesados generalmente se acumulan en las raíces concentrados en las vacuolas de las células y solo una mínima cantidad se dirige a la parte aérea de la macrófita, las que se concentran en un orden descendente en tallos, hojas, frutos y semillas (Chan y Hale, 2004). Poseen un complejo sistemas de raíces, que contienen organismos pequeños agrupados a ellas, que facilitan la capacidad remediadora de macrófita, este mecanismo se da a través de complejas interacciones entre el elemento metálico y los aminoácidos de las células, previa adsorción de estos metales mediante las raíces (Jaramillo y Flores, 2012).

2.2.5. Pistia stratiotes. (lechuga de agua).

Posee hojas en forma de rosetas, tienen un color verde claro con tejido grueso y esponjoso, poseen de 7 a 15 nervaduras en las venas longitudinales, tiene una forma de espátula, su tamaño generalmente está entre 12 cm de longitud (Chang y Huamán, 2019).

No se conoce realmente su procedencia u origen, puede estar en zonas tropicales y subtropicales de África, actualmente se encuentra muy distribuida en el planeta en zonas tropicales como una planta exótica, posee una gran capacidad de crecimiento y propagación, cubriendo espejos de agua imposibilitando que la luz del sol pase y consume de manera rápida el oxígeno, está considerada e incluida en distintas listas como la especie invasora que un alto riesgo para los ecosistemas que ocupa (García et al., 2010).

Tabla 2
Datos taxonómicos de la Pistia stratiotes.

Nombre:	Pistia stratiotes
Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Orden:	Alismatales
Familia:	Araceae
Género:	Pistia
Especie:	<i>Pistia stratiotes</i>

Fuente: (Chang & Huamán, 2019).

La capacidad de tolerancia de la *Pistia stratiotes* es variada, lo que ocasiona que se pueda por cada especie establecer un rango de valores sobre las cuales empiezan a notarse signos de toxicidad y la posibilidad que ello varíe con el crecimiento de la planta, su nutrición, etc (Barreto y Paredes, 2017). Los síntomas más comunes ocasionados por el aumento de metales en las plantas son la reducción del tamaño y el amarillamiento de las hojas. (Torres, et al. 2007).

Las raíces de estas macrófitas poseen la capacidad de absorber contaminantes del agua, proceso conocido como Rizofiltración, que consiste en la remover sustancias tóxicas de los ríos por precipitación, absorción o almacenamiento en la biomasa (Kumar et al., 2012)

2.2.6. Fitorremediación

Tecnología nueva que se investiga en los últimos años, basada en la utilización de diferentes plantas y microorganismos, para realizar el tratamiento directo de suelos y aguas contaminadas (Poma y Valderrama, 2014).

2.2.7. Rizofiltración.

Es un proceso en la cual la planta acumula concentraciones altas de metales en raíces, las que son partes más expuestas a los iones metálicos, para realizar este proceso, la planta debe tener características especiales, como tasa elevada de crecimiento y una amplia superficial de área que lo permita absorber, concentrar y precipitar metales presentes en aguas residuales contaminadas (Blaylock & Huang, 2000)

2.2.8. Contaminación.

Cambio nocivo de condiciones fisicoquímicas y microbiológicas del aire, tierra y agua, que afecta de forma negativa la vida humana y especies benéficas, los procesos industriales malgastan y deterioran los recursos naturales renovables (De la Orden, 2020)

2.2.9. Metales pesados.

Heredia (2015), se refiere a los metales pesados como un grupo de 40 elementos aproximadamente, que tienen masa atómica alta, con densidad mayor o igual a 5 g/cm³, los que generalmente son metales en evolución como el Mn, Fe, V, Cr, Ni, Zn, Cu y Mo. Los metales en forma coloidal se pueden encontrar en óxidos, hidróxidos, sulfuros o silicatos, adsorbidos materia orgánica (Quispe et al., 2017). La presencia de porcentajes elevados de Pb, Mg, Cd, As y otros metales en el ambiente, contribuyen a la alteración de la sostenibilidad de la cadena trófica (Londoño et al., 2016).

Los componentes metálicos tienen un efecto bio acumulativo y cuando las concentraciones establecidas superan los límites ocasionan daños al sistema nervioso, esquelético y a los riñones, muchos de estos presentan problemas cancerígenos (Segura et al., 2003).

2.2.10. Propiedades de los metales.

- **Plomo.**

Es un metal peligroso y tóxico, encontrándose casi en todas las actividades que realiza el hombre, agricultura, fábricas de pintura, baterías, fundición, combustibles, etc., la encargada del control de riesgo por exposición a este elemento es la salud ocupacional, ya que ocasiona efectos negativos en la salud de las personas, por ello es que la exposición al Pb se relaciona con muchas enfermedades tanto en niños y adultos (Corzo y Maydel, 2014).

- **Cadmio**

No se encuentra puro como metal en el ambiente, en forma de óxidos complejos es más abundante en la naturaleza, sulfuros y carbonatos en el Zinc, plomo y menos en cobre, la comida y cigarrillos que la población consume son fuentes importantes de exposición al cadmio, en muchos casos de forma crónica, los efectos peligrosos se muestran en los riñones y huesos, las personas con bajo contenido de hierro son los más vulnerables a los efectos desfavorables (García & Cruz, 2012).

Es muy dañino, llega al ambiente por actividades antropogénicas, como la quema de derivados del petróleo, la actividad cementera, la metalurgia, etc., pero también se emanan por fuentes naturales como los incendios forestales, las actividades volcánicas, el transporte de partículas suspendidas por el viento (Mero et al., 2019).

- **Cromo.**

Se emplea para aleaciones y pigmentos, se acumulan frecuentemente en ambientes acuáticos, hay posibilidad de riesgo de ingesta en pescados contaminados, exposiciones a niveles bajos pueden causar úlceras e irritación en la piel y la exposición por periodos largos puede ocasionar males hepáticos y renales (Duffus, 2002).

- **Arsénico.**

De forma natural se encuentra presente en el suelo, aire y agua, pero también se puede liberar al ambiente por actividades mineras, procesos industriales, fundición de metales y actividades agrícolas, resulta más tóxico en su estado orgánico. (WHO., 2018).

2.2.11. Principales actividades antrópicas generadoras de metales pesados

La toxicidad de los elementos metálicos va a depender de su movimiento en un determinado medio, su composición, persistencia y tendencia de bioacumulación (Kumar et al., 2012)

Tabla 3

Principales actividades antrópicas productoras de metales pesados.

Actividad	Metales	Contaminación
minería	Cu, Cd, Cr, Ni, Co, Zn	Relaves, escombreras
Extracción de minerales	Cd, As, Ni, Cu, Zn, Pb	Presencia de subproductos
Gestión de residuos	Cd, Cu, Zn, Ni, Pb, Hg	Incineración o lixiviados
Agricultura y ganadería	Mo, Cd, Cr, Pb, V, Cu, U, Zn, As	Contaminación de aguas subterráneas y superficiales por escorrentía

Fuente: USEPA (Nguyen et al., 2013)

2.2.12. Cuerpo receptor.

Son depósitos de aguas, cuencas o ríos susceptibles de coleccionar directa o indirectamente vertidos o efluentes de aguas residuales o grises (Ministerio del Ambiente, 2014). Cursos de agua donde frecuentemente se descargan vertimientos, siendo este ecosistema el depósito final de los residuos líquidos (Fraume,2014).

2.2.13. Contaminación del agua.

Fenómeno socioeconómico y ambiental complejo, constituyendo uno de las principales limitantes para desarrollar una vida sana, esta contaminación es de grandes proporciones y altamente nocivo (Campaña et al., 2011).

2.2.14. Aguas residuales.

El D. S. N° 001-2010-AG en su artículo 131° dice que; las aguas residuales poseen tipologías propias que se modifican por las actividades del hombre y son vertidas a un cuerpo receptor, curso natural y que por su aptitud es necesario ser tratadas anticipadamente.

Shah et al. (2015), se refiere a sustancias líquidas cuya calidad se deteriora por actividades del hombre, modificando la condición inicial del cuerpo superficial, adicionando contaminantes fisicoquímicos y biológicos. Las aguas residuales son mezclas de efluentes generadas por múltiples actividades del hombre, vertidas sin ningún tratamiento lo que ocasionan impactos desfavorables al ambiente y a las personas, por lo que es necesario tomar medidas adecuadas de prevención siempre buscando nuevas alternativas de tratamiento (Romero, 2010).

2.2.15. Aguas residuales domésticas.

Provenientes del sistema de saneamiento de viviendas familiares, las que son modificadas por usos variados y las que son acogidas por la red de alcantarillado (Espinoza, 2014). La actividad antrópica produce aguas residuales que deben someterse a procesos de tratamiento con la finalidad de garantizar la sostenibilidad y continuar con el ciclo de demanda y consumo (Fernández et al., 2010)

Las aguas residuales también son aquellas que se utilizan con fines sanitarios (baños, cocina, lavandería, etc.), que constituyen esencialmente desechos humanos que terminan en las redes públicas (Díaz Cuenca et al., 2012)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. **Ámbito y condiciones de la investigación.**

3.1.1 **Contexto de la investigación**

El río Shilcayo pertenece a la microcuenca del río Cumbaza, ubicado dentro del territorio del distrito de La Banda de Shilcayo y parte del distrito de Tarapoto, los que pertenecen a la provincia de San Martín, es un afluente significativo e importante para el río Cumbaza, se ubica en las coordenadas UTM 18 348671 y 355017 Este, 9289532 y 9278147 Norte (Segura, 2016). La zona donde se realizó la investigación se encuentra ubicada dentro del distrito de La Banda de Shilcayo, provincia y región San Martín.

Mapa de ubicación geográfica del proyecto (ver anexo N° 1).

Tabla 4

Ubicación geográfica del proyecto

Región	San Martín
Provincia	San Martín
Distrito	Banda de Shilcayo
Microcuenca	Río Shilcayo
Altitud	355 msnm
Ubigeo	220901

Fuente: elaboración del investigador, 2023.

Límites del distrito.

Con Ordenanza Municipal N° 047-2011-A/MPSM, El municipio bandino establece los límites de la microcuenca de la siguiente forma:

Tabla 5

Límites de la microcuenca del río Shilcayo.

Este	Con CCPP Nueva Venecia
Sur	Distrito de La Banda de Shilcayo y Tarapoto
Oeste	Distrito de Tarapoto
Norte	Área de Conservación Regional Cerro Escalera

Fuente: elaboración del investigador, 2023.

Topografía.

La microcuenca del río Shilcayo presenta una topografía variada con geografía ondulada y acentuadas pendientes, la zona baja es plana básicamente, pero desde la plaza de armas hacia la zona de conservación ACR-CE se forman relieves de aspecto y forma accidentada (Flores, 2018).

3.1.2 . Periodo de ejecución.

La investigación tuvo un periodo de experimentación de 6 meses.

3.1.3. Autorizaciones y permisos.

No aplica. frente al COVID 19 y por tratarse de aguas residuales en un cuerpo receptor, se usó guantes y mascarillas, con el propósito de cuidar y no exponer la salud de los colaboradores e investigador.

3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad.

Se tomaron en consideración las respectivas medidas de control y bioseguridad frente a la COVID 19 y a la toma de muestras de agua residual en el punto de muestreo establecido, envasado, etiquetado, rotulado, conservación y envío de muestras al laboratorio acreditado por INACAL.

3.1.5 . Aplicación de principios éticos internacionales.

Se logró credibilidad de la investigación a través de observaciones y experimentaciones diversas, recolectando datos que generen hallazgos de importancia, se siguió rutas y pistas de estudios realizados anteriormente por otros investigadores, lo que permitió llegar a la confirmabilidad, estrategia que permite que otros investigadores interesados en la temática examinen la data y puedan concluir de forma similar o parecida a los del investigador original.

Se respetó y practicó los principios éticos de la investigación con un profundo respeto y cariño a los ecosistemas de la zona.

3.2. Sistemas de variables.

3.2.1 Variables principales.

Las variables de la investigación se describen a continuación:

Variable dependiente: Depuración de metales pesados.

Definición conceptual de depuración de metales pesados

Proceso de eliminación eficaz de la cantidad de elementos metálicos como Cu, Pb, Hg, Al, As, etc., que están asociados a los efluentes de diferentes actividades antrópicas.

Variable independiente: Plantas macrófitas.

Definición conceptual de plantas macrófitas

Plantas adaptadas a ambientes húmedos pero que poseen las mismas exigencias nutricionales que las plantas terrestres y pueden ser de tres tipos, emergentes, flotantes y sumergidas (Gamboa, 2017).

3.3. Procedimiento de la investigación.

Tipo y nivel de investigación.

Tipo.

Tipo de investigación aplicada, ya que tuvo como principal finalidad solucionar problemas prácticos y la transformación de conocimientos con aplicación directa en la sociedad o en el campo productivo, presentó un plus por el uso del discernimiento proveniente de la investigación básica (Lozada, 2014), está dirigida a resolver dificultades que se presentan en los procesos productivos y consumos de bienes y servicios de diferentes actividades humanas (Esteban, 2012).

La investigación tuvo como base fundamental corregir el problema de contaminación que sufre actualmente el río Shilcayo en el sector Chontamuyo, debido a las descargas de aguas residuales y de otras actividades antrópicas dentro del AID, con la finalidad de optimizar escenarios ambientales del lugar y mejorar las condiciones ambientales y de vida de los pobladores de este sector.

Nivel

Presenta nivel de estudio explicativo, porque se centró en la explicación de porque sucede la contaminación del cuerpo receptor río Shilcayo y bajo qué condiciones o circunstancias se presenta esta problemática ambiental en esta parte de la ciudad, por ello, (Fidias & Arias., 2012); se refiere a este nivel de investigación como la delegada de indagar el porqué de los acontecimientos a través de la relación causa – efecto, lo que representa que dichas investigaciones lleguen a ocuparse de la determinación de los orígenes (post facto) mediante la comprobación de la Hipótesis.

Población y muestra.

Población.

La población universal representa las aguas residuales que se vierten de forma directa al cuerpo receptor del río Shilcayo, un total de 34,38 L/s.

Muestra.

Estuvo conformado por 120 L de agua del cuerpo receptor del río Shilcayo distribuidos en 6 estanques de vidrio (20 L c/u) y 72 plantas macrófitas las que fueron acondicionadas 12

por cada estanque. La metodología empleada se establece en el protocolo nacional de monitoreo de calidad de los recursos hídricos superficiales de la Autoridad Nacional del Agua (Autoridad Nacional del Agua, 2016), donde se determina que el investigador o consultor posee la potestad de decidir sobre los puntos a muestrear y temporadas, por lo que los resultados son válidos para esos puntos y temporadas.

Diseño de investigación

a. Diseño experimental o muestral.

Según (Hernández et al., 2014), los diseños experimentales son usados cuando el investigador quiere determinar el efecto posible de una causa que es manipulada, lo que sugiere la manipulación intencional de una o más variables independientes. Diseño experimental, considerando una muestra testigo o pre tratamiento (T0) y un post tratamiento (T1, T2 y T3), donde uno se comporta como un grupo experimental y el siguiente como control, el conjunto experimental es influenciada por la variable independiente y el grupo de control no lo toma.

Experimental porque consigue información de la actividad deliberada llevada por el investigador y está orientada a cambiar el contexto con la finalidad de establecer el fenómeno mismo que se averigua; y así poder observarlo (Behar, 2008), la presente investigación evaluó la concentración de metales existentes en el cuerpo receptor del río Shilcayo producto de los vertimientos, para ello se empleó dos especies de plantas macrófitas.

- Se identificó el lugar de vertimiento de aguas residuales en el cuerpo receptor
- La recolección de las especies macrófitas se realizaron en las ciudades de Moyobamba y Tarapoto.
- Se registraron, compararon condiciones y características físicas de las macrófitas
- Las plantas se aclimataron en agua natural por un espacio de 5 días, luego se colocaron en los estanques de vidrio que contenían agua residual.
- Al grupo (metales) se le aplicó un análisis previo (pre tratamiento, T0) antes de la experimentación.
- Los tratamientos consistieron en 5, 10 y 15 días de experimentación, después de ello las muestras fueron enviadas al laboratorio acreditado por INACAL
- Por último, se realizó la interpretación y análisis de las muestras de agua con la finalidad de conocer los resultados finales obtenidos por cada tratamiento.

Esquema de diseño.

Pre tratamiento		Post tratamiento
GE = H1	X	H2

Donde:

GE: Grupo experimental

H1: Pre tratamiento

H2: Post tratamiento

X: Variable independiente.

Para evaluar la eficiencia de los diferentes tratamientos se plantea una fórmula donde hay una relación del testigo (T0) con los grupos experimentales (T1, T2 y T3), lo cual se describe a continuación:

$$\%_{Remoción} = \left(\frac{Pre\ tratamiento\ (T0) - Pos\ tratamiento\ (T1, T2\ y\ T3)}{Pre\ tratamiento\ (T0)} \right) \times 100$$

Donde:

T0 = Pre tratamiento (T0)

T1 = Post tratamiento (T1, T2 y T3)

b. Representación de la información

Los resultados son mostrados mediante tablas y figuras, con su interpretación

c. Análisis estadístico

Se utilizó un método de ensayo que fue entregado por el laboratorio acreditado por INACAL para el análisis de metales, que son descritos en la tabla 6. La técnica estadística empleada fue ANOVA, ya que nos permitió evaluar la Hipótesis al 5% de nivel de significancia y 95% de nivel de confianza. Para (Dagnino, 2014), el ANOVA son extensiones basadas en el mismo raciocinio (2 o más factores o de medidas repetidas).

Tabla 6
Referencia del método utilizado por el laboratorio

Parámetros	Referencia del método
Corrida de metales – ICP	Determination of metals and trace element in water and waste by inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry/Determination of metals in water based in EPA METHOD 200.7. 1994/2018.

Fuente: Salud ocupacional, medio ambiente y laboratorio (SOMALAB), 2023.

3.3.1 Objetivo específico 1

Determinar las concentraciones iniciales de metales pesados en el cuerpo receptor del río Shilcayo.

Actividades y tareas.

- Diagnóstico inicial del área de estudio en el sector Chontamuyo, para la determinación del punto de monitoreo y recolección de muestras.
- Coordinación con los vecinos que habitan cerca al vertimiento.
- Toma de muestras de aguas residuales en el cuerpo receptor del río Shilcayo, sector Chontamuyo.
- Procesamiento de muestras (envasado, preservado, rotulado, cadena de frío); y envío al laboratorio acreditado por INACAL para el análisis y entrega de resultados de la muestra testigo (T0).

Descripción de los procedimientos.

- Primero se realizó el diagnóstico inicial del área donde es vertido las aguas residuales directamente al cuerpo receptor, con la finalidad de determinar los accesos y plantearnos una metodología de trabajo, se procedió a la toma de muestras (T0) de las aguas residuales descargadas en el cuerpo receptor en el río Shilcayo, considerando los siguientes aspectos:
- Se estableció a cinco metros aguas abajo del punto de vertimiento del río Shilcayo, donde se realizó el monitoreo de la muestra testigo (T0).
- Se acondicionó los materiales de manera adecuada, considerando las medidas de seguridad.
- se prepararon los frascos para la toma de las muestras y se preservó con ácido nítrico (HNO₃).
- Finalmente se rotuló los frascos, se acondicionó en cadena de frío, se llenaron las cadenas de custodia y se enviaron a Lima para su respectivo análisis (SOMALAB, INACAL).

Técnica de procesamiento y análisis de datos.

El ANOVA fue la técnica estadística utilizada, ya que nos permitió evaluar la Hipótesis al 5% de nivel de significancia y 95% de nivel de confianza.

3.3.2 Objetivo específico 2

Conocer la eficiencia de remoción de metales pesados en el cuerpo receptor del río Shilcayo utilizando plantas macrófitas.

Actividades y tareas.

- Acondicionamiento de los seis estanques de vidrio a escala (30 cm altura, 45 cm de largo, 35 cm de ancho), concentraron 20 L de agua residual del cuerpo receptor del río Shilcayo,
- Recolección y selección de *Eichhornia crassipes* en la laguna del distrito de Calzada, provincia de Moyobamba, se aclimataron en agua por espacio de 5 días.
- Recolección y selección de *Pistia stratiotes* en la laguna de Ricuricocha, distrito de Morles, provincia de San Martín, se aclimataron en agua por un tiempo de 5 días.
- Recolección de aguas residuales vertidas en el río Shilcayo, se llenó cada estanque con 20 L de ARD y posteriormente se aplicaron en cada estanque 12 macrófitas por cada especie, los cuales permanecieron por espacio de 5 días para T1, 10 días para T2 y 15 días para T3.
- Se aplicó una fórmula matemática para conocer el porcentaje de remoción de cada especie de macrófita en un tiempo determinado.
- Se envió las muestras de cada tratamiento (T1, T2 y T3) a SOMALAB para su análisis respectivo.

Descripción del procedimiento.

Tomando como base la fórmula matemática para determinar el porcentaje de remoción de cada macrófita por el tiempo de tratamiento (5, 10 y 15 días), se calcularon todos los resultados obtenidos en la experimentación, por lo que era necesario contar con los resultados de nuestra muestra inicial o testigo (T0) y los resultados de cada tratamiento por unidad de tiempo y el tipo de planta macrófita evaluada.

Posteriormente a la obtención de estos resultados se procedió a calcular los porcentajes por cada resultado obtenido, ya que cada especie de macrófita tuvo tres tiempos de tratamiento en condiciones similares. (ver anexo 2)

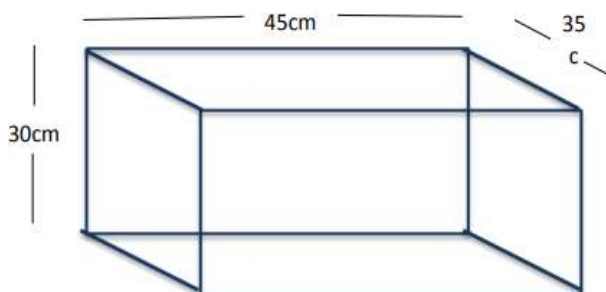
$$\%_{Remocion} = \left(\frac{Pre\ tratamiento\ (T0) - Pos\ tratamiento\ (T1, T2\ y\ T3)}{Pre\ tratamiento\ (T0)} \right) \times 100$$

Donde:

T0 = Muestra testigo

T1 = Postratamiento

Figura N° 1: Diseño del humedal de vidrio a escala



Fuente: elaboración del investigador, 2023.

Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

Para el desarrollo de este objetivo se emplearon fórmulas matemáticas básicas por todas las muestras y número de tratamientos realizados.

3.3.3 Objetivo específico 3

Comparar la eficiencia de depuración de las macrófitas (*Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*) en el tratamiento de metales pesados del río Shilcayo.

Actividades y tareas.

- Se procesó, analizó e interpretó los resultados emitidos por el laboratorio acreditado por INACAL. (SOMALAB).
- Los resultados fueron comparados con la normativa nacional ambiental vigente (D. S. N° 004-2017-MINAM), ECA-agua.

Descripción de los procedimientos.

Se procesaron, analizaron, interpretaron y compararon los resultados emitidos por el laboratorio acreditado por INACAL con la normativa ambiental nacional que son los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Cat. 4: conservación del ambiente acuático. E2: ríos de la selva.

Los resultados se comparados con el D. S. N° 004-2017-MINAM, ECA-agua, los que fueron caracterizados previamente y utilizados en los tres tratamientos (T1, T2 y T3), los que se muestran en la tabla 7.

Tabla 7

Concentración de metales según ECA-agua (cuerpo receptor).

Parámetros	Unidad de medida	Estándares de calidad ambiental
Arsénico (As)	mg/L	0,15
Plomo (Pb)	mg/L	0,0025
Cadmio (Cd)	mg/L	0,00025

Fuente: D.S. N° 004-2017-MINAM

Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

La técnica estadística utilizada fue el análisis de la varianza ANOVA, que es uno de los aspectos de importancia dentro de las pruebas de hipótesis, nos permitió determinar al 5% de nivel de significancia y 95% de nivel de confianza

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Determinar las concentraciones iniciales de metales pesados en el cuerpo receptor del río Shilcayo.

Las concentraciones iniciales de metales presentes en el cuerpo receptor río Shilcayo, se determinaron en el muestreo previo al tratamiento (T0), muestra testigo, la que se consideró para obtener resultados de los elementos antes de ser sometidos a los tres ensayos realizados en esta investigación, los cuales arrojaron concentraciones iniciales de plomo de 0,010 mg/L, cadmio con cantidades de 0,00046 mg/L y arsénico con 0,030 mg/L, de los cuales solo el As cumple con la cantidad establecida en la normativa peruana, que son los Estándares de Calidad Ambiental para agua, (ECA), categoría 4: conservación de ambientes acuáticos, E2: Ríos de la selva, mientras que el Pb y Cd exceden por poco lo dicho en el D. S. N° 004 – 2017 – MINAM. (figura 2).

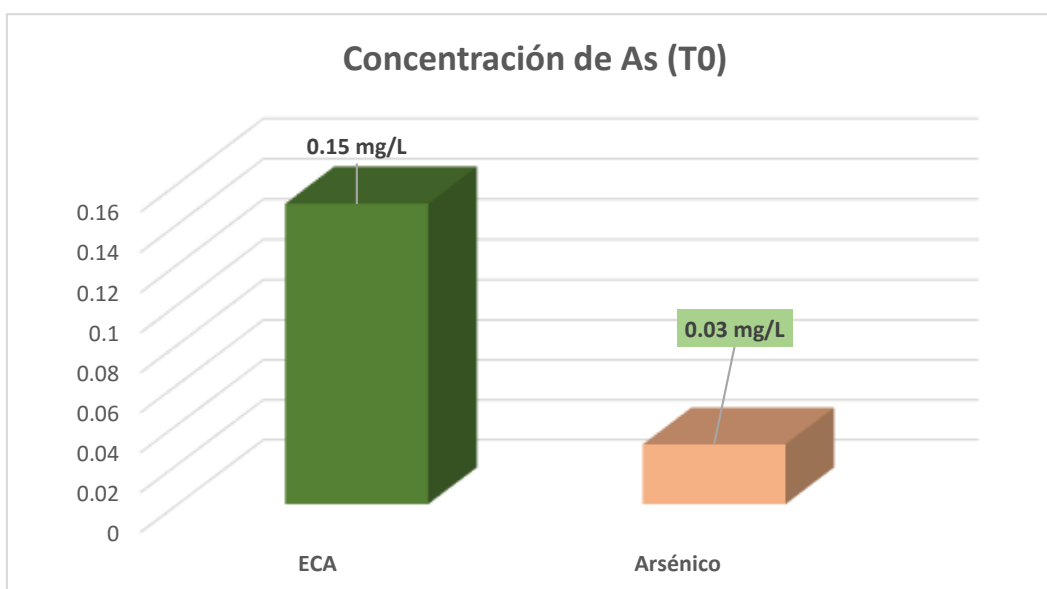


Figura 2
Concentración inicial (T0, muestra testigo) de Arsénico respecto al ECA

Interpretación

La concentración inicial de arsénico en el T0 (muestra testigo) del cuerpo receptor fue de 0,030 mg/L, lo que representa un 20% menos que lo establecido ECA-agua, que determina 0,15 mg/L de arsénico permitido en la fuente superficial.

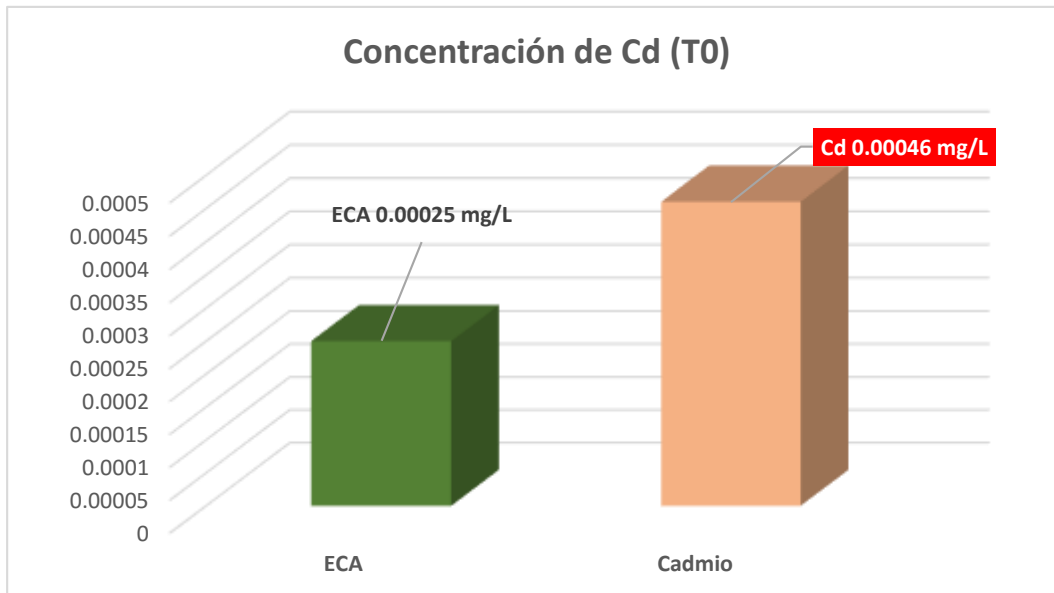


Figura 3

Concentración inicial (T0, muestra testigo) de Cadmio respecto al ECA

Interpretación

Con respecto a la concentración inicial (T0) muestra testigo del parámetro Cadmio, en el cuerpo receptor fue de 0,00046 mg/L, cantidad que se encuentra por encima de lo que establece la norma nacional, D. S. N° 004-2017-MINAM, ECA-agua, que considera 0,00025 mg/L como normal en la categoría 4: conservación de ambientes acuáticos, E2: Ríos de la selva.

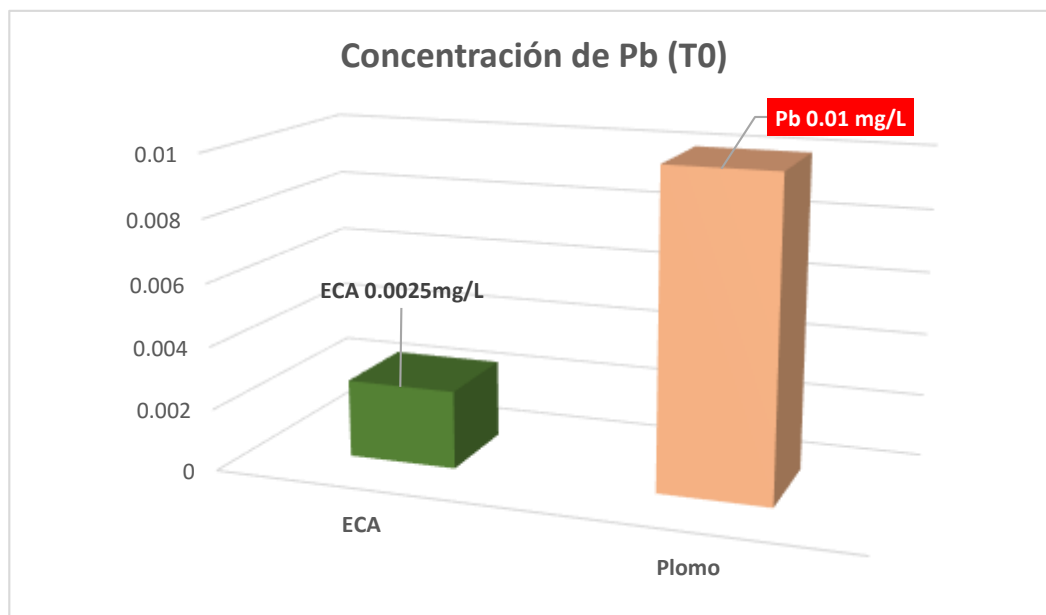


Figura 4

Concentración inicial (T0, muestra testigo) de Cadmio respecto al ECA.

Interpretación

Referente al parámetro Pb la concentración inicial (T0, muestra testigo) antes de los tratamientos (T1, T2 y T3), dicho compuesto presentó una concentración en el cuerpo receptor del río Shilcayo de 0,010 mg/L, lo cual es superior a lo que establece el D. S. N° 004-2017-MINAM, que determina para este parámetro 0,0025 mg/L para la categoría 4: Conservación de ambientes acuáticos: sub categoría E2: Ríos de la selva.

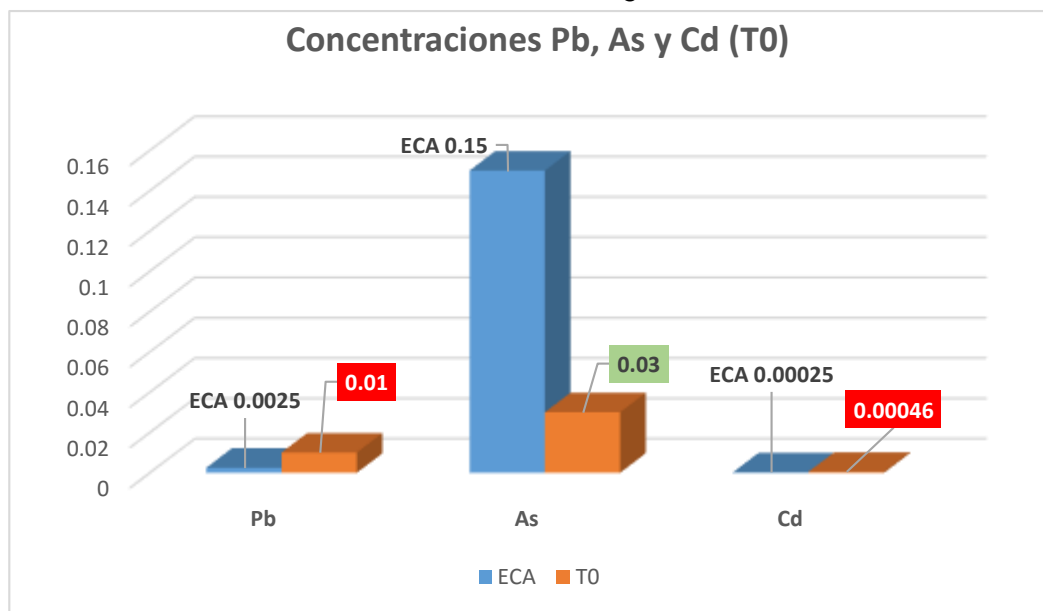


Figura 5

Concentración inicial (T0=muestra testigo) de Pb, Cd y As respecto al ECA.

Interpretación

Los resultados de las muestras iniciales, (T0), la mayor concentración de contaminantes presentes en el cuerpo receptor corresponde arsénico (As) con 0.03 mg/L, seguido por plomo (Pb) con concentraciones de 0,01 mg/L y cadmio (Cd) con una concentración de 0,00046 mg/L, estos vertimientos son características de zonas peri urbanas, ya que las viviendas y comercios vierten sus aguas y desechos al cuerpo superficial del río Shilcayo, por ello, Mena, (2021) encontró concentraciones iniciales (T0) de Pb en la muestra M1 de 0,0007 mg/kg y para Cd en M1 con una concentración de 0,0020 mg/kg respectivamente, lo que significa que hay presencia de estos metales en aguas residuales de la localidad de Nueva Esperanza, región Amazonas.

Rojas y Suyón, (2020) refieren a la presencia de As en aguas que consumen en el CC.PP de Santa Cruz del Médano, donde las concentraciones antes del tratamiento (T0) arrojaron cantidades de 0,047 mg/L, lo que convierte a esta situación en una problemática ambiental en dicha comunidad, por lo que es posible afirmar esta información, que la contaminación de cuerpos de agua por elementos metálicos se deben a actividades antrópicas como

acumulación de residuos sólidos que producen lixiviados, actividades industriales, el uso de fertilizantes químicos en la agricultura, etc.

Quispe et al., (2017) tomaron una muestra en botella de vidrio para analizar a nivel de laboratorio de ingeniería ambiental, la concentración de diferentes parámetros fisicoquímicos y metales pesados como el plomo (Pb) utilizando *Eichhornia crassipes*, donde las concentraciones de dicho elemento pre tratamiento (T0) arrojó una concentración de 0.115 mg/L, lo que indica contaminación en la fuente de agua ya que la normativa (ECA) considera 0.05 mg/L para la categoría 3.

Se realizaron muestreos diarios a las macrófitas, donde en los primeros 5 días de exposición a aguas contaminadas sufren daños en su estructura vegetativa información que se corrobora con la investigación de (Poma & Valderrama, 2014) quien afirma que no todas las macrófitas pueden resistir concentraciones de metales, donde la *Eichhornia crassipes*, es una de las escasas especies idóneas para acumular sustancias tóxicas, hasta ciertas cantidades sin perturbar su metabolismo.

4.2 Conocer la eficiencia de remoción de metales pesados en el cuerpo receptor del río Shilcayo utilizando plantas macrófitas.

Del mismo modo, la descontaminación y la eficiencia de remoción y eliminación de metales pesados utilizando las plantas macrófitas como la *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* se muestran a continuación en tablas y figuras:

Tabla 8

Eficiencia de remoción de plomo (Pb) utilizando E. crassipes y P. stratiotes (T1)

Macrófita	Pre tratamiento	Post tratamiento	Eficiencia (%)	ECA (Cat 4)
<i>E. crassipes</i>	0,010 mg/L	0,004 mg/L	60	0,0025 mg/L
<i>P. stratiotes</i>	0,010 mg/L	0,005 mg/L	50	0,0025 mg/L

Fuente: Resultados de laboratorio IE-23-056. SOMALAB – LIMA

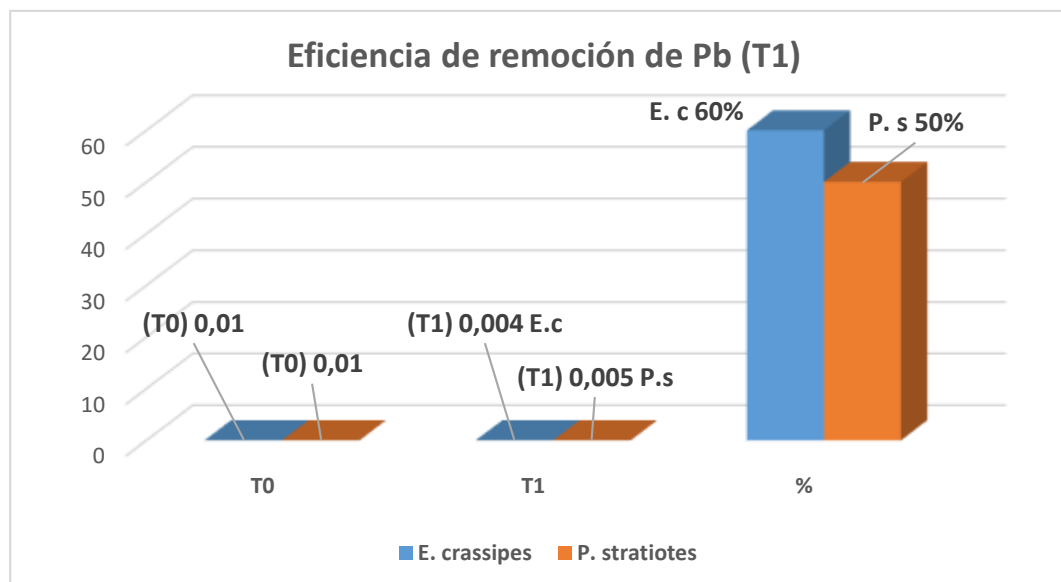


Figura 6
 eficiencia de remoción de plomo en T1, *E. crassipes* y *P. stratiotes*

Interpretación.

La tabla 8 y figura 6 presentan resultados de eficiencia de remoción del Pb, efectuado por la fitorremediación de aguas residuales en T1 con 5 días de tratamiento, donde la *Eichhornia crassipes* tuvo mayor eficiencia en remover plomo en 60% y la *Pistia stratiotes* con eficiencia de eliminación del 50% del contaminante, lo que demuestra que ambas especies vegetales tienen una buena capacidad removedora.

Tabla 9
 Eficiencia de remoción de arsénico (As) utilizando *E. crassipes* y *P. stratiotes* (T1)

Macrófita	Pre tratamiento	Post tratamiento	Eficiencia (%)	ECA (Cat 4)
<i>E. crassipes</i>	0,030 mg/L	0,025 mg/L	16,7	0,15 mg/L
<i>P. stratiotes</i>	0,030 mg/L	0,026 mg/L	13,3	0,15 mg/L

Fuente: Resultados de laboratorio IE-23-056. SOMALAB – LIMA

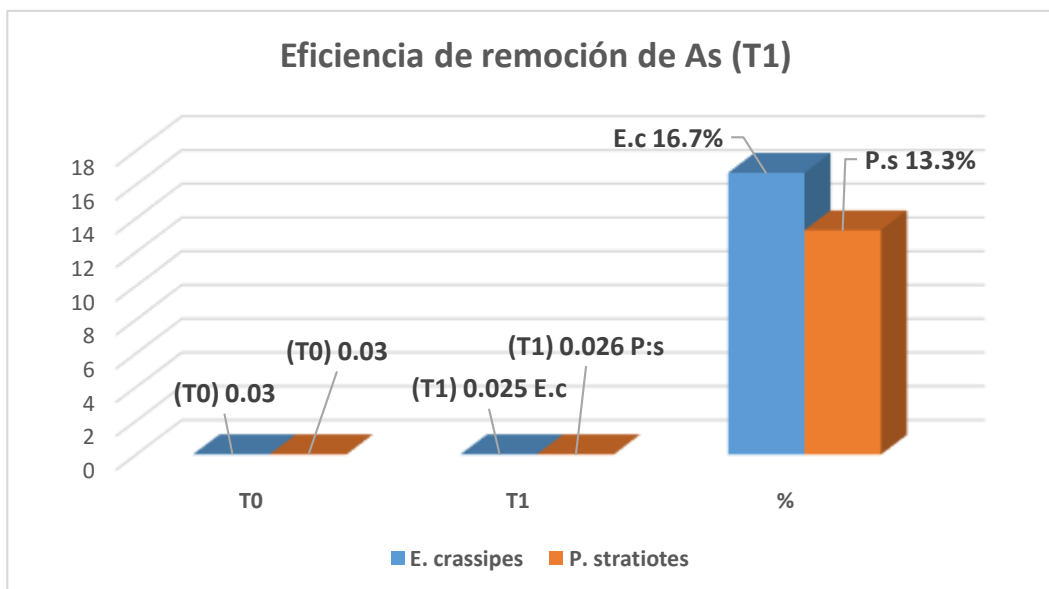


Figura 6

Eficiencia de remoción de arsénico en T1, E. crassipes y P. stratiotes.

Interpretación.

La figura 7 muestra resultados en T1 con 5 días de tratamiento para el arsénico utilizando las dos macrófitas en condiciones iguales, donde la *E. crassipes* presenta mayor eficiencia de remoción de As con 16,7% y *P. stratiotes* con 13,3% de eficiencia de remoción, lo que indica que el Jacinto de agua es 3,4% más eficiente que la lechuga de agua.

Tabla 10

Eficiencia de remoción de cadmio (Cd) utilizando E. crassipes y P. stratiotes (T1)

Macrófita	Pre tratamiento	Post tratamiento	Eficiencia (%)	ECA (Cat 4)
<i>E. crassipes</i>	0,00046 mg/L	0,00030 mg/L	34,78	0,00025 mg/L
<i>P. stratiotes</i>	0,00046 mg/L	0,00040 mg/L	13,04	0,00025 mg/L

Fuente: Resultados de laboratorio IE-23-056. SOMALAB – LIMA

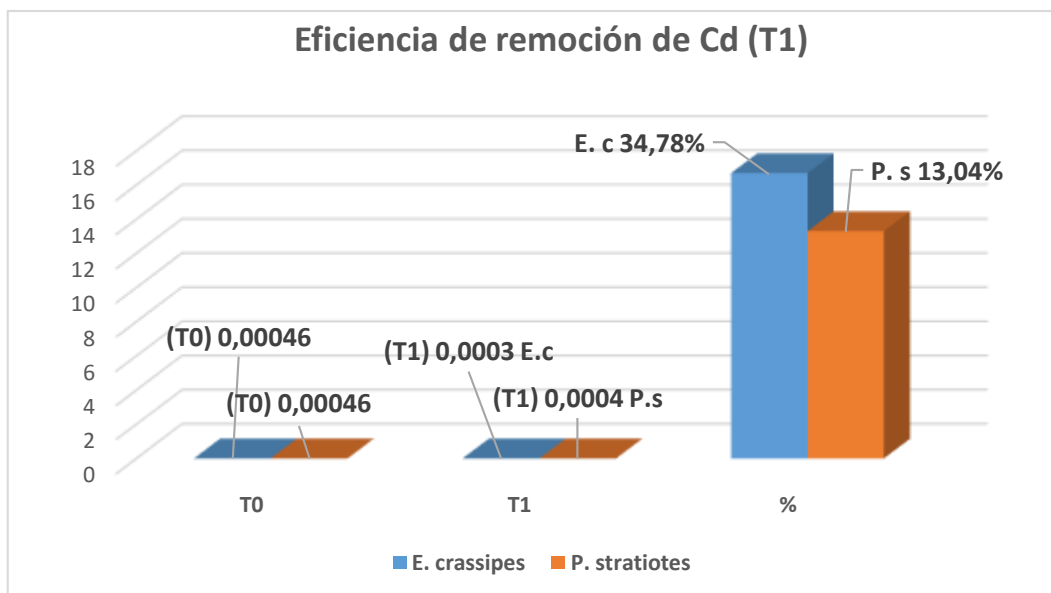


Figura 7

Eficiencia de remoción de cadmio en T1, E. crassipes y P. stratiotes

Interpretación.

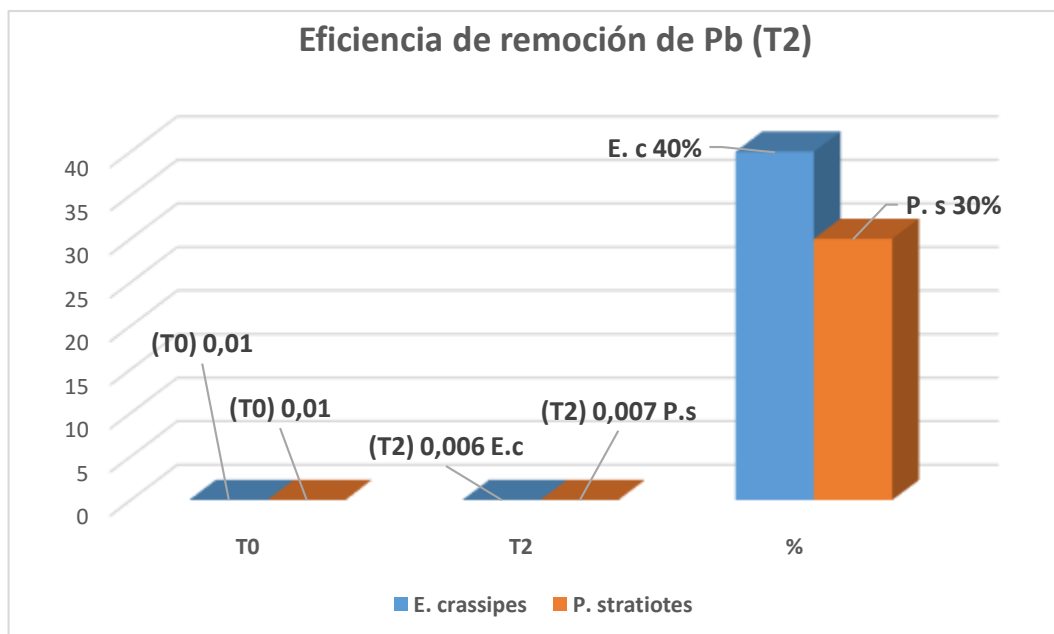
La *Eichhornia crassipes* en la figura 8 muestra una eficiencia de eliminación del cadmio de 34,78% y la *Pistia stratiotes* una capacidad de eliminar el mismo contaminante con 13,04%, lo que significa que el jacinto de agua tiene una mejor condición que la lechuga de agua en la eliminación del cadmio, con 21,74% más de eficiencia.

Tabla 11

Eficiencia de remoción de plomo (Pb) utilizando E. crassipes y P. stratiotes (T2)

Macrófita	Pre tratamiento	Post tratamiento	Eficiencia (%)	ECA (Cat 4)
<i>E. crassipes</i>	0,010 mg/L	0,006 mg/L	40	0,0025 mg/L
<i>P. stratiotes</i>	0,010 mg/L	0,007 mg/L	30	0,0025 mg/L

Fuente: Resultados de laboratorio IE-23-066-A. SOMALAB – LIMA

**Figura 8**

Eficiencia de remoción de plomo en T2 E. crassipes y P. stratiotes

Interpretación.

La figura 9 representa mayor eficiencia de remoción de Pb en T2 (10 días de tratamiento) para la macrófita *E. crassipes*, removiendo hasta en un 40% el plomo del cuerpo receptor y la *P. stratiotes* con una eficiencia de remoción de plomo de hasta 30%, lo que evidencia que ambas plantas macrófitas tienen capacidad depuradora.

Tabla 12

Eficiencia de remoción de arsénico (As) utilizando E. crassipes y P. stratiotes (T2)

Macrófita	Pre tratamiento	Post tratamiento	Eficiencia (%)	ECA (Cat 4)
<i>E. crassipes</i>	0,030 mg/L	0,0035 mg/L	88,33	0,15 mg/L
<i>P. stratiotes</i>	0,030 mg/L	0,0024 mg/L	92	0,15 mg/L

Fuente: Resultados de laboratorio IE-23-066-A. SOMALAB – LIMA

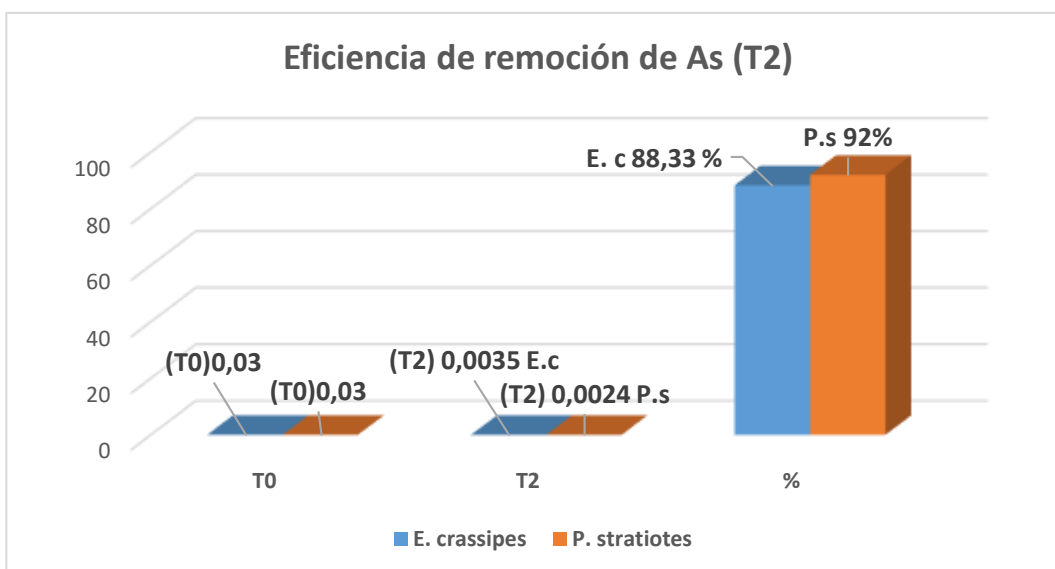


Figura 9

Eficiencia de remoción de arsénico en T2 E. crassipes y P. stratiotes

Interpretación

La remoción del arsénico en 10 días de tratamiento (T2), donde la mayor eficiencia de eliminación la realizó la macrófita *P. stratiotes*, logrando reducir el contaminante en el cuerpo receptor del río Shilcayo hasta en 92% y la *E. crassipes* logró una reducción de 88,33%, lo que significa que en T2 el porcentaje de eliminación de As es mayor y donde la lechuga de agua es 3,67% más eficiente que el jacinto de agua.

Tabla 13

Eficiencia de remoción de cadmio (Cd) utilizando E. crassipes y P. stratiotes (T2)

Macrófita	Pre tratamiento	Post tratamiento	Eficiencia (%)	ECA (Cat 4)
<i>E. crassipes</i>	0,00046 mg/L	0,00027 mg/L	41,3	0,00025 mg/L
<i>P. stratiotes</i>	0,00046 mg/L	0,00029 mg/L	36,96	0,00025 mg/L

Fuente: Resultados de laboratorio IE-23-066-A. SOMALAB – LIMA

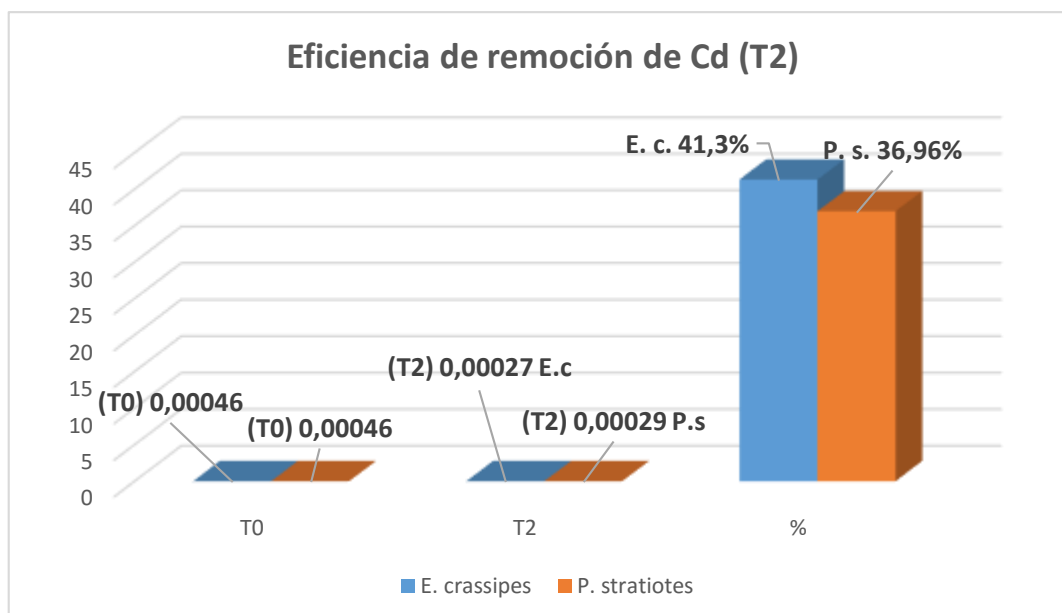


Figura 10

Eficiencia de remoción de cadmio en T2 E. crassipes y P. stratiotes

Interpretación

La figura 11 muestra resultados obtenidos en el T2 con una duración de 10 días, donde el jacinto de agua es eficiente en remover cadmio hasta en 41,3%, mientras que la lechuga de agua con una eficiencia para reducir el cadmio en el cuerpo receptor de 36,96%, lo que evidencia que la *E. crassipes* tiene mayor capacidad de remover este contaminante hasta en un 4,34% más que la *P. stratiotes*.

Tabla 14

Eficiencia de remoción de plomo (Pb) utilizando E. crassipes y P. stratiotes (T3)

Macrófita	Pre tratamiento	Post tratamiento	Eficiencia (%)	ECA (Cat 4)
<i>E. crassipes</i>	0,010 mg/L	0,002 mg/L	80	0,0025 mg/L
<i>P. stratiotes</i>	0,010 mg/L	0,004 mg/L	60	0,0025 mg/L

Fuente: Resultados de laboratorio IE-23-066-B. SOMALAB – LIMA

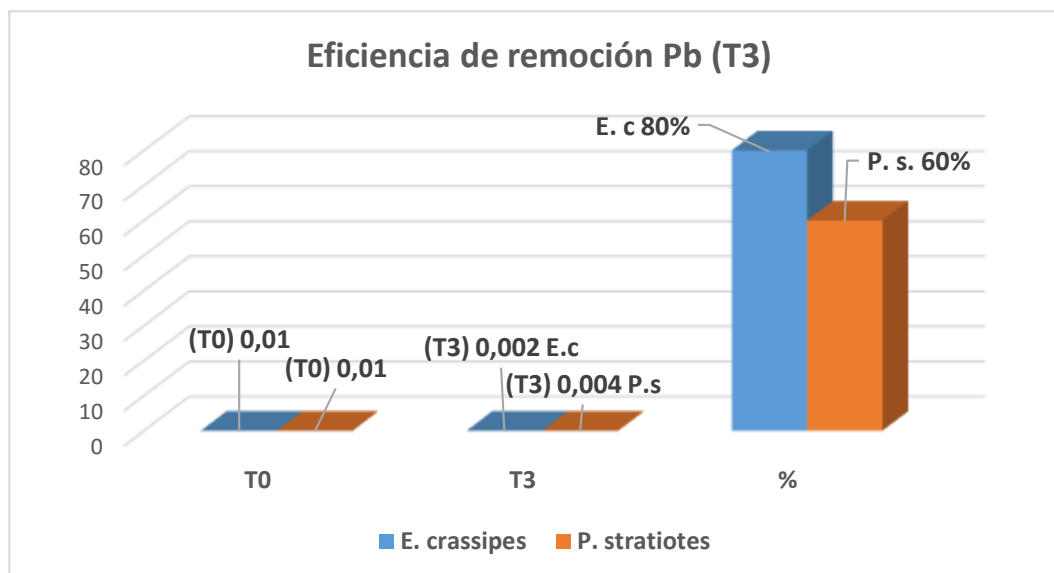


Figura 11

Eficiencia de remoción de plomo en T3 E. crassipes y P. stratiotes

Interpretación.

La eficiencia de remoción en T3 correspondiente a 15 días de tratamiento, el jacinto de agua tubo la capacidad de remover al plomo en 80%, y la lechuga de agua con una eficiencia de eliminación del mismo contaminante del 60% respectivamente, lo que indica que la *E. crassipes* es 20% más eficiente que la *P. stratiotes* en el tratamiento tres que corresponde a 15 días de experimentación con los estanques pilotos.

Tabla 15

Eficiencia de remoción de arsénico (As) utilizando E. crassipes y P. stratiotes (T3)

Macrófita	Pre tratamiento	Post tratamiento	Eficiencia (%)	ECA (Cat 4)
<i>E. crassipes</i>	0,030 mg/L	0,0012 mg/L	96	0,15 mg/L
<i>P. stratiotes</i>	0,030 mg/L	0,0011 mg/L	96,33	0,15 mg/L

Fuente: Resultados de laboratorio IE-23-066-B. SOMALAB – LIMA

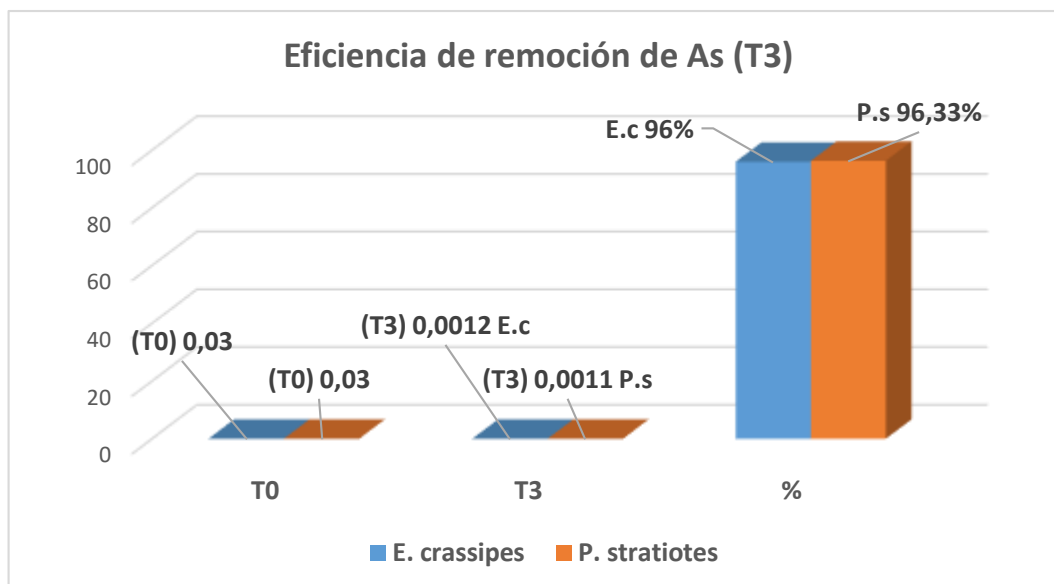


Figura 12

Eficiencia de remoción de arsénico en T3 *E. crassipes* y *P. stratiotes*

Interpretación.

La figura 13 muestra a la macrófita *P. stratiotes* como la planta que tiene mayor eficiencia de remoción de arsénico, con 96,33% y la *E. crassipes* con 96%, lo que evidencia que en 15 días de experimentación ambas especies tienen mayor capacidad remediadora.

Tabla 16

Eficiencia de remoción de cadmio (Cd) utilizando *E. crassipes* y *P. stratiotes* (T3)

Macrófita	Pre tratamiento	Post tratamiento	Eficiencia (%)	ECA (Cat 4)
<i>E. crassipes</i>	0,00046 mg/L	0,00025 mg/L	45,65	0,00025 mg/L
<i>P. stratiotes</i>	0,00046 mg/L	0,00034 mg/L	26,07	0,00025 mg/L

Fuente: Resultados de laboratorio IE-23-066-B. SOMALAB – LIMA

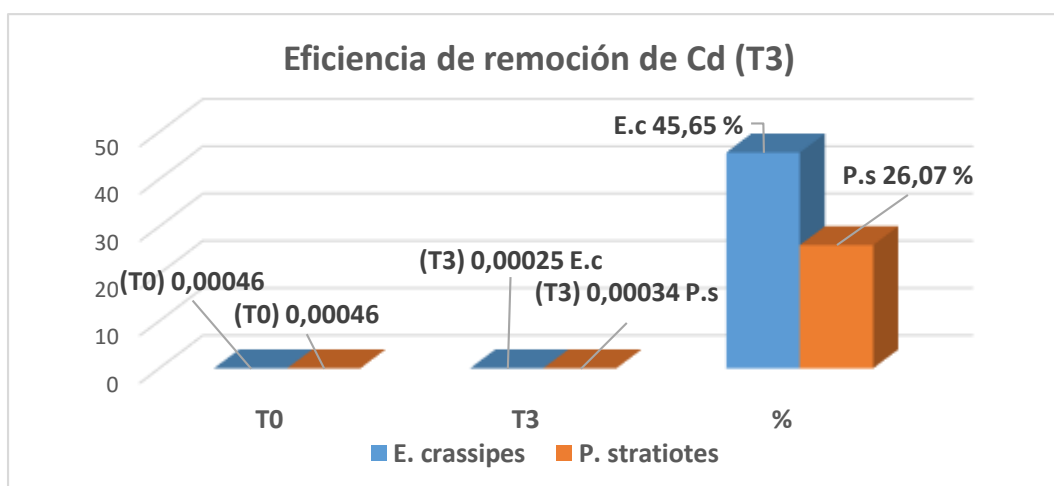


Figura 13

Eficiencia de remoción de cadmio en T3 *E. crassipes* y *P. stratiotes*

Interpretación.

La capacidad de remover cadmio con jacinto de agua fue de 45,65% y con la lechuga de agua fue de 26,07% en 15 días de tratamiento (T3), lo que significa que ambas macrófitas siguen manteniendo su capacidad remediadora en las aguas residuales del cuerpo receptor del río Shilcayo, similares resultados encontraron Quispe et al., (2018) donde la concentración inicial del plomo (antes del tratamiento) fue de 0,015 ppm y después del tratamiento la concentración de dicho metal pesado bajo a 0,001 ppm, encontrándose un remoción significativa del 31%, evidenciando que el jacinto de agua es una planta acuática que acomoda fácilmente a condiciones artificiales y tienen buena capacidad remediadora.

Sandoval (2019), se refiere al jacinto de agua como de rápido crecimiento y proliferación, por lo que se pueden utilizar como alternativas en beneficio del ambiente, especialmente como fitorremediadores, por ello, logró la eliminación del cadmio en un 66%, donde a mayores concentraciones del contaminante mayor su eficiencia de eliminación.

Del mismo modo, Amé y Ramos, (2020) en su investigación encontraron una eficiencia de remoción de plomo del 99,89% para el caso de la *Pistia stratiotes* y la *Eichhornia crassipes*, llegando a resultados por debajo de lo que determina la normativa ambiental, haciendo de estas aguas residuales óptimas y adecuadas para utilizarlas en el riego para la agricultura de la localidad de Cashuacro.

También Mena Ayala, (2021) presenta en su investigación, eficiencia de remoción de metales pesados y a la macrófita más adecuada en este proceso de eliminación, donde después de analizar los resultados otorgados por un laboratorio acreditado determina que la *Eichhornia crassipes* tiene una capacidad de remoción del 84,36% para el plomo y 78,48% para el cadmio, por lo que recomienda a esta planta como depurador de elementos metálicos en aguas residuales.

4.3 Comparar la eficiencia de depuración de las *macrófitas (Eichhornia crassipes y Pistia stratiotes)* en el tratamiento de metales pesados del río Shilcayo.

Comparación de la eficiencia entre macrófitas por tratamientos (T1, T2 y T3).

Tabla 17

Comparación de eficiencia de remoción de ambas macrófitas en T1 (5 días).

Metal	<i>Eichhornia crassipes</i> (%)	<i>Pistia stratiotes</i> (%)
Plomo (Pb)	60	50
Arsénico (As)	16,7	13,3
Cadmio (Cd)	34,78	13,04

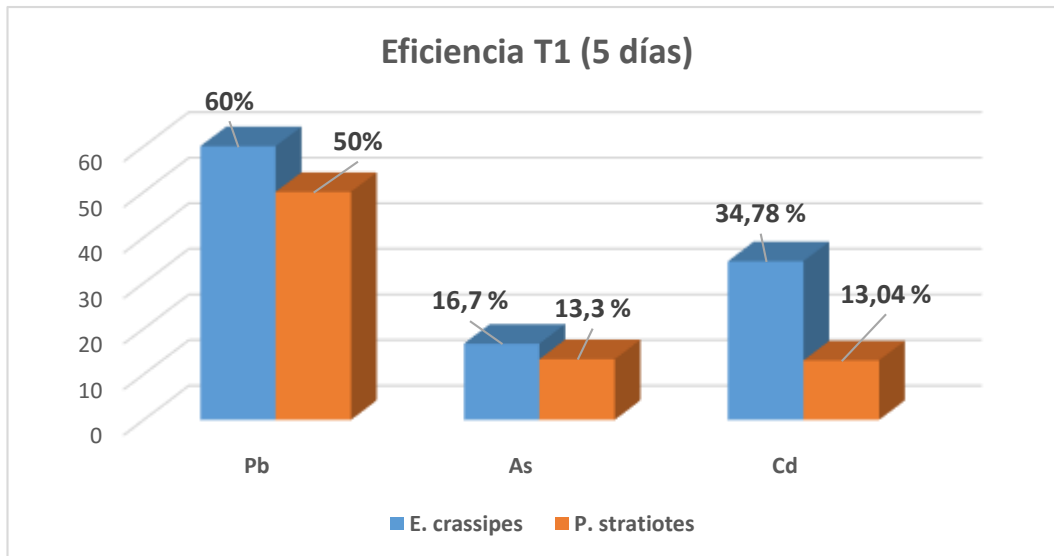


Figura 14

Comparación de la eficiencia entre macrófitas en T1 (5 días).

Interpretación.

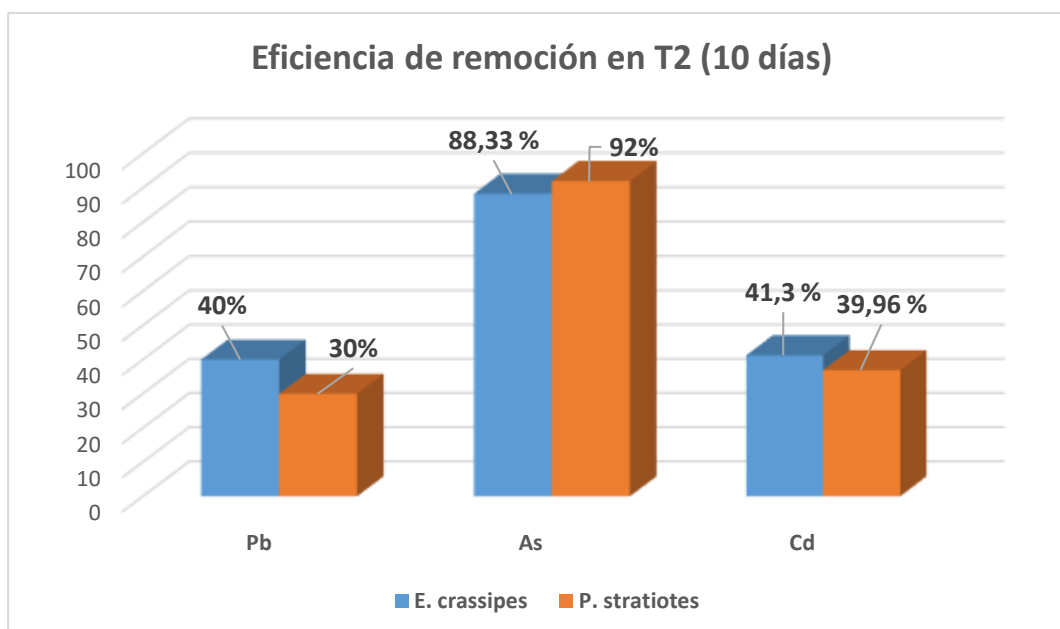
Los resultados encontrados en el primer tratamiento T1 (5 días) como se puede observar la *Eichhornia crassipes* tiene mejor capacidad de remover metales que la *Pistia stratiotes*, con eliminación de Pb de 60%, Cd 34,78% y As con 16,7% y la lechuga de agua con eficiencia de remoción de Pb 50%, Cd 13,04% y As 13,3% respectivamente.

Tabla 18

Comparación de eficiencia de remoción de ambas macrófitas en T2 (10 días)

Metal	<i>Eichhornia crassipes</i> (%)	<i>Pistia stratiotes</i> (%)
Plomo (Pb)	40	30
Arsénico (As)	88,33	92
Cadmio (Cd)	41,3	36,96

Fuente: Elaboración del investigador, 2023.

**Figura 15**

Comparación de la eficiencia entre macrófitas en T2 (10 días)

Interpretación.

También se muestran los resultados alcanzados en el tratamiento T2 (10 días), donde la mayor eficiencia de remoción para el As corresponde a la lechuga de agua con 92% y el jacinto de agua con 88,33%, pero para Cd corresponde la mayor capacidad removedora para el jacinto con 41,3% y para *Pistia s.* con 36,96% de eficiencia y para el Pb con 40% para el jacinto y 30% para la lechuga de agua.

Tabla 19

Comparación de la eficiencia de remoción de ambas macrófitas en T3 (15 días)

Metal	<i>Eichhornia crassipes</i> (%)	<i>Pistia stratiotes</i> (%)
Plomo (Pb)	80	60
Arsénico (As)	96	96,33
Cadmio (Cd)	45,65	26,07

Fuente: Elaboración del investigador, 2023.

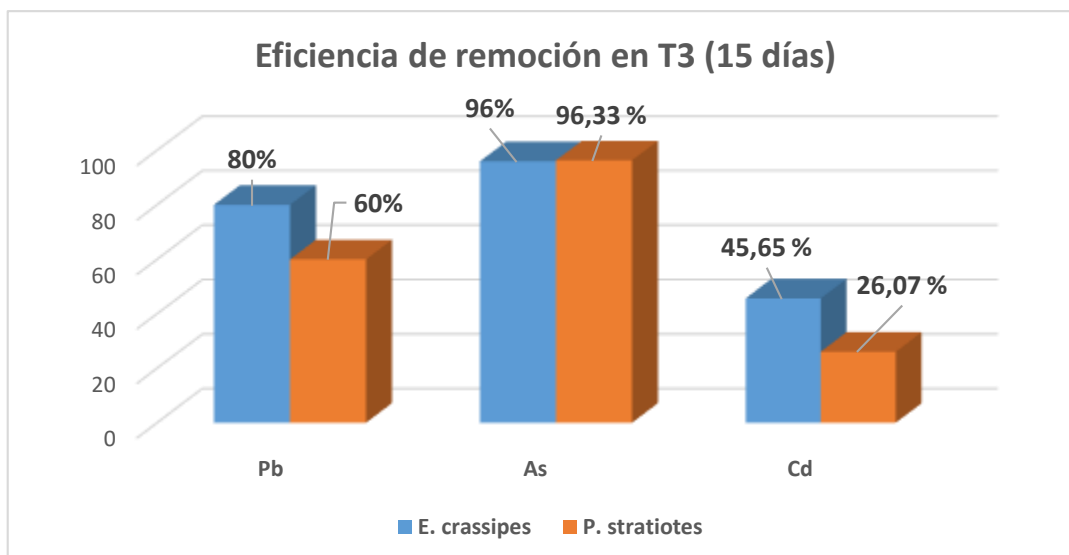


Figura 16

Comparación de la eficiencia entre macrófitas en T3 (15 días).

Interpretación.

Al mismo tiempo los resultados logrados en el tratamiento T3 (15 días), se evidencia una mayor eficiencia de remoción para el As con 96,33% para la *P. stratiotes* y con 96% para la *E. crassipes*, seguido por el Pb con mejor capacidad de remoción para la *E. crassipes* con 80% y 60% para la *P. stratiotes* y con respecto al Cd para *Eichhornia* con 45,65% y *Pistia* con 26,07% de eficiencia de remoción respectivamente.

4.3.1. Resultados de ambas macrófitas comparados con los Estándares de Calidad para Agua.

Tabla 20

Resultados de ambas macrófitas en T1, T2 y T3 comparados con los ECAs.

Metal	Plomo (Pb) mg/L			Arsénico (As) mg/L			Cadmio (Cd) mg/L		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
<i>E. crassipes</i>	0,004	0,006	0,002	0,025	0,0035	0,0012	0,0003	0,00027	0,00025
<i>P. stratiotes</i>	0,005	0,007	0,004	0,026	0,0024	0,0011	0,0004	0,00029	0,00034
ECA	0,0025			0,15			0,00025		

Fuente: Elaboración del investigador, 2023.

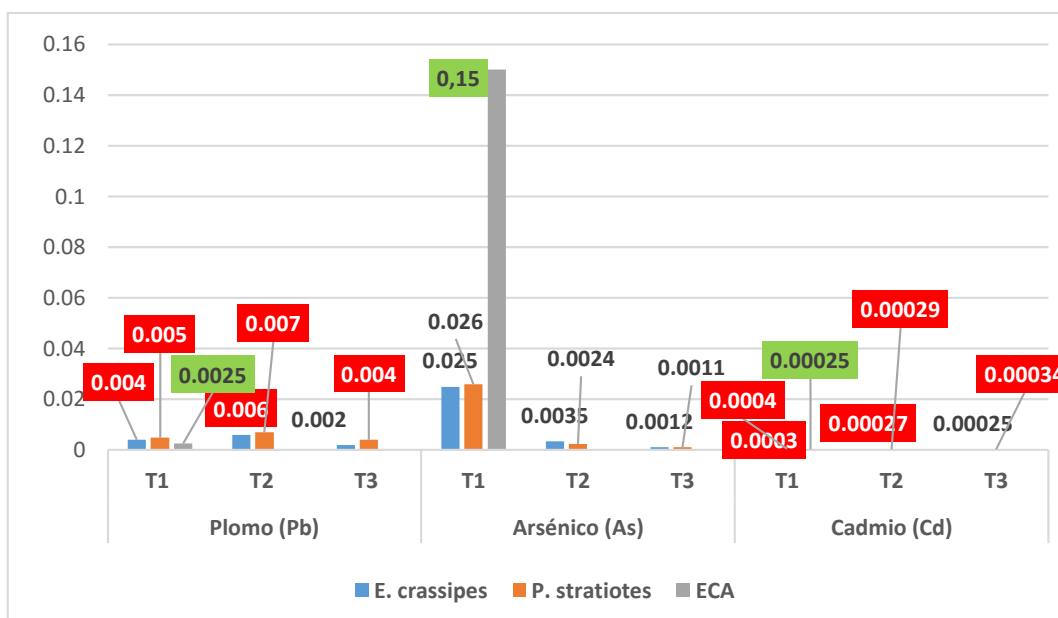


Figura 17

Resultados de las macrófitas en T1, T2 y T3 comparados con los ECAs.

Interpretación.

Al término de los tres diferentes tratamientos tanto con Jacinto y lechuga de agua, comparamos los resultados obtenidos con los ECAs para agua, categoría 4: conservación del ambiente acuático; sub categoría E2: ríos, se evidencia en T3 con jacinto de agua que el plomo no excede lo establecido en dicha norma, referente al arsénico todos los tratamientos están por debajo de los ECAs y para el cadmio en T3 con el jacinto de agua el parámetro Cd se encuentra dentro del rango permitido por la norma.

Mena (2021), se refiere a la labor del jacinto de agua presenta una acción de eliminación para el plomo no significativa ($p > 0,05$), sin embargo, para el Cd su eficiencia de eliminación es significativa, donde la macrófita tiene una eficiencia de eliminación del 78%, de la misma manera, Quispe et al., (2018) determinaron concentraciones de plomo antes del tratamiento de 0,015 ppm y después del tratamiento bajaron las concentraciones a 0,001 ppm, lo que evidencian una eficiencia de remoción de la *E. crassipes* de hasta 31% para este metal, lo que significa que esta planta tiene una buena capacidad de fitorremediación.

Rojas y Suyón (2020), determinaron en el T1 arrojó 0,047 mg/L de arsénico, disminuyendo en la primera semana a 0,031 mg/L y en la segunda semana de tratamiento disminuyó a 0,019 mg/L, lo que demuestra que la macrófita *E. crassipes* tiene una capacidad de remoción de As del 60%.

Tabla 21
Análisis de la varianza (plomo)

Origen de variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Especies	2,67E-06	1	2,67E-06	16	0,057190958	18,51282051
Tratamientos	1,23E-05	2	6,17E-06	37	0,026315789	19
Error	3,33E-07	2	1,67E-07			
Total	1,53E-05	5				

Al ser mayor el valor crítico para F con respecto al valor F calculado, no hay diferencia significativa entre las especies utilizadas, pero hay diferencia significativa entre los tratamientos, donde el tratamiento T3 reporta mayor eficiencia en la remoción de plomo.

Tabla 22
Análisis de la varianza (arsénico)

Origen de variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Especies	6,67E-09	1	6,67E-09	0,01208459	0,922501574	18,51282051
Tratamientos	0,000736443	2	0,000368222	667,471299	0,001495951	18
Error	1,10E-06	2	5,52E-07			
Total	1,53E-05	5				

Al ser mayor el valor crítico para F con respecto al valor F calculado, no hay diferencia significativa entre las macrófitas utilizadas, pero hay diferencia significativa entre los tratamientos, siendo T3 el más eficiente para remover el arsénico

Tabla 23
Análisis de la varianza (cadmio)

Origen de variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Especies	7,35E-09	1	7,35E-09	7,73684211	0,10859964	18,51282051
Tratamientos	5,43E-09	2	2,72E-09	2,85964912	0,25909091	19
Error	1,10E-06	2	5,52E-07			
Total	1,53E-05	5				

Al ser mayor el valor crítico para F con respecto al valor F calculado, no hay diferencia significativa entre las especies empleadas, tampoco hay diferencia significativa entre tratamientos, sin embargo, el tratamiento T3, reporta mayor eficiencia en remoción de cadmio utilizando *E. crassipes* y T2 utilizando *P. stratiotes*. Lo que significa que no hubo diferencias estadísticamente significativas en la remoción del plomo, arsénico y cadmio

según macrófitas estudiadas, pero si hubo diferencias estadísticas significativas al 95% en la remoción del plomo y arsénico según tratamientos realizados.

CONCLUSIONES

Las concentraciones iniciales presentes de metales evaluados en el cuerpo receptor del río Shilcayo del distrito de La Banda de Shilcayo, agrupan elementos como Cadmio, Plomo y Arsénico, con mayores concentraciones a lo que establece el ECA para agua, donde corresponde al Pb 0,010 mg/L y al Cd con concentraciones de 0,00046 mg/L, y la menor concentración la presenta el As con 0,030 mg/L, lo que significa que se encuentra dentro de lo normado por los ECA-agua

La eficiencia de eliminación de metales pesados evaluados en el cuerpo receptor del río Shilcayo empleando plantas macrófitas, corresponde a la *Pistia stratiotes* una mayor capacidad de remoción en T3 para el As con una eficiencia de eliminación del 96,33% y la *Eichhornia crassipes* con una eficiencia de remoción de As del 96% en 15 días de experimentación.

Comparando la eficiencia de eliminación de contaminantes de las macrófitas en los diferentes tratamientos de los metales evaluadas, se obtienen una mayor capacidad de remoción del As con la *Pistia stratiotes* con 96,33 en T3, respecto al Pb la mejor eficiencia removedora presenta la *Eichhornia crassipes* con 80% en T3 y con respecto al Cd la mayor eficiencia con 45,65% se obtuvo con *Eichhornia crassipes* en T3.

Referente a los diferentes tratamientos efectuados con macrófitas en el cuerpo superficial del río Shilcayo, en T3 con *Eichhornia crassipes* el plomo no excede lo establecido en el ECA, el cual muestra un valor de 0,002 mg/L y para el cadmio con *Eichhornia crassipes* en T3 muestra un valor de 0,00025 mg/L, encontrándose dentro de lo normado en el ECA-agua.

Respecto al planteamiento de la hipótesis de investigación, se demuestra con un nivel de diferencia estadística del 95% en la remoción del plomo y del arsénico según los diferentes tratamientos realizados, reportando en el tratamiento T3 una mayor capacidad de eliminación de cadmio con *E. crassipes* y en T2 utilizando *P. stratiotes*, y en la remoción del arsénico en T3 se muestra la mayor capacidad de remoción con la *E. crassipes*.

RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta la capacidad remediadora de las macrófitas, se debe considerar otras especies de plantas para determinar su capacidad en la eliminación de contaminantes en fuentes de agua, con la finalidad de preservar el ambiente y la vida de las personas.

A las autoridades en los tres niveles de gobierno, identificar, formular y evaluar proyectos de tratamientos de aguas residuales económicos y amigables con el medio ambiente, con enfoque en la fitorremediación, haciendo uso de plantas macrófitas con la finalidad de disminuir los contaminantes y los impactos en los cuerpos receptores de aguas superficiales.

Al Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento tener en consideración los resultados obtenidos en la investigación y que sirva como base para facilitar la ejecución e implementación de infraestructuras o plantas de tratamiento de aguas residuales, con la finalidad de no ser vertidas directamente a los cuerpos receptores, realizar el monitoreo, seguimiento y control periódico juntamente con el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental para su cumplimiento.

A la Autoridad Nacional del Agua, facilitar los estudios de autorización de vertimientos del agua residual tratada a los cuerpos receptores, con la finalidad de cuidar la calidad ambiental de las fuentes hídricas y realizar el monitoreo constante para el cumplimiento por parte de las empresas prestadoras de servicio como EMAPA-San Martín, los ECAs para agua y los LMP.

A los investigadores interesados en realizar estudios de fitorremediación, deben seleccionar con mucho criterio nuevos métodos de tratamiento, ya que cada uno de ellos presentará diferentes propiedades de tratamiento, concediendo diferentes eficiencias en la eliminación de elementos contaminantes de los cuerpos de agua.

Realizar investigaciones sobre que partes de las plantas utilizadas en los tratamientos bioacumulan mayor cantidad de contaminantes en su fisiología o estructura vegetal y determinar si las condiciones climáticas influyen en la capacidad de fitorremediación que tienen estas especies.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alberto, A. D. (2014). Catice de Valencia secretaria de Estado de Comercio. Normas y valores de metales pesados en los alimentos en varios países e instituciones. *Ed. Madrid – España: Mundo prensa.*, 145 p.
- Atuesta Ibargüen, J. D. (2019). Composición florística y formas de vida de las macrófitas acuáticas de la serranía de La Lindosa (Guaviare), Guayana colombiana Floristic composition and life forms of aquatic macrophytes of serranía La Lindosa (Guaviare), Colombian Guiana CALDASIA. *Caldasia*, 41(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.15446/caldasia.v41n2.71615>.
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. *Pub. L. No. R.J. 010-ANA, 92* . <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/209>.
- Barrionuevo, M. E., Flores, L. B., & Dussi, M. C. (2020). CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE MACRÓFITAS ACUÁTICAS PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOST. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica*, 13(3), 1022. <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2020.13.3.69832>
- Blaylock, M. J., & Huang, J. W. (2000). Phytoextraction of metals. In *Phytoremediation of toxic metals*. . *John Wiley & Sons. Nueva York. EEUU*, 0471-19254.
- Campaña K, A., Nieto C, C., Rengel Barrera, A., & Isch L, E. (2011). *Contaminación de las aguas y políticas para enfrentarla*. www.camaren.org
- Chang Gutiérrez, K., & Huamán Taype, C. R. (2019). *Eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante las macrófitas Eichhornia crassipes y Pistia stratiotes, plantas típicas de la selva peruana*. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3230>.
- Cirujano, S., Meco Molina, A., & Cezón, K. (2011). *FLORA ACU FLORA ACUÁ ÁTICA: MACR TICA: MACRÓ ÓFITOS FITOS*. https://www.miteco.gob.es/es/agua/formacion/06-Macrofitos-Santos%20Cirujano_tcm30-175307.pdf.

- Corzo, L. I., & Maydel Velásquez Hernández, L. (2014). El plomo y sus efectos en la salud Lead and its health effects. En *Acta Médica del Centro* (Vol. 8, Número 3).
<https://revactamedicacentro.sld.cu/index.php/amc/rt/printerFriendly/164/222>
- Dagnino, J. (2014). *Bioestadística y epidemiología: Análisis de varianza*.
<https://revistachilenadeanestesia.cl/P11/revchilanestv43n04.07.pdf>.
- De la Orden, A. E. (2020). LOS RECURSOS NATURALES DEGRADACIÓN DE ECOSISTEMAS. *Universidad Nacional de Catamarca – Argentina.*, 1852-3013.
<http://editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/Ecologia/imagenes/pdf/ecologia%202/Los%20RRNN.pdf>
- Diaz Cuenca, E., Alvarado Granados, A. R., & Camacho Calzada, K. E. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. En *Año* (Vol. 14).
<https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>.
- Duffus, J. H. (2002). «HEAVY METALS»-A MEANINGLESS TERM? (IUPAC Technical Report). *Pure Appl. Chem*, 74(5), 1999-2001.
<https://publications.iupac.org/pac/2002/pdf/7405x0793.pdf>.
- Empresa Municipal de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado (EMAPA SM). (2013). *Resolución Administrativa N° 408-2013-ANA/ALA-Tarapoto*.
- Esteban, N. T. (2012). Tipos de investigación. . *Universidad santo domingo de Guzmán*.
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNIS_5b55a9811d9ab27b8e45c193546b0187/Details.
- Fernández González, J., Beascochea, E. D. M., & Muñoz, J. D. M. (2010). *Manual de Fito depuración. Filtros de macrófitas en flotación*.
https://fundacionglobalnature.org/wp-content/uploads/2020/01/manual_fitodepuracion.pdf.

- Fidias, G., & Arias. (2012). El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica. . *Sexta edición. Editorial Episteme.*
- Flores, A. C. (2018). *Estudio hidrológico con fines de aprovechamiento hídrico en la microcuenca del río Shilcayo, ubicado en el distrito de La Banda de Shilcayo, provincia de San Martín – región San Martín.* <https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3219/CIVIL%20-%20Andrea%20Cecilia%20Flores%20Chiang.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Gamboa, M. L. (2017). Efecto del tiempo y radiación solar sobre las macrófitas para la reducción de la DBO del agua del canal Mochica – Moche. *Universidad César Vallejo. Trujillo. Revista Innovación en Ingeniería.*, 2518-2196. <https://revistas.ucv.edu.pe/index.php/innovacion/article/view/1767/1569>.
- García Murillo, P., Fernández Zamudio, R., & Cirujano Bracamonte, S. (2010). *Habitantes del agua macrófitos.* https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/agencia_andaluz_a_del_agua/participacion/publicaciones/macrofitos/macrofitos.pdf.
- Pérez García, E. P., & Azcona Cruz, I. M. (2012). Los efectos del cadmio en la salud. *Rev Esp Méd Quir*, 17(3), 199-205. www.nietoeditores.com.mx
- Heredia, M. (2015). Remoción de cadmio de aguas ácidas de mina utilizando un reactivo secuestrante. . *Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima - Perú* . <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2919263>.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., María del Pilar Baptista Lucio, D., Méndez Valencia, S., & Mendoza Torres, C. P. (2014). *Metodología de la investigación científica.* <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Methodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>.
- Juárez, G. (2011). Cambios en la composición del lirio acuático *Eichhornia crassipes* debido a su grado de madurez y a su transformación biotecnológica. *Tesis, Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. México, D.F.* .

https://www.academia.edu/29346802/INSTITUTO_POLIT%C3%89CNICO_NACIONAL_ESCUELA_NACIONAL_DE_CIENCIAS_BIOL%C3%93GICAS.

Kumar, P. S., Ramalingam, S., Sathyaselvabala, V., Kirupha, S. D., Murugesan, A., & Sivanesan, S. (2012). Removal of cadmium(II) from aqueous solution by agricultural waste cashew nut shell. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 29(6), 756-768. <https://doi.org/10.1007/S11814-011-0259-2/METRICS>

Londoño, L. F., Londoño, P. T., & Muñoz, F. G. (2016). Riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial.*, 14(2). [https://doi.org/https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153).

Lozada, J. (2014). Investigación aplicada: definición, propiedad intelectual e industria. *Ciencia América. Ecuador: n° 3*, 34-39. <http://cienciamerica.uti.edu.ec/openjournal/index.php/uti/article/view/30/23>.

Martelo, J., & Lara Borrero, J. A. (2012). *Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte*. <http://www.scielo.org.co/pdf/ince/v8n15/v8n15a11.pdf>.

Medina Abregu, F. E., & López Barbarán, E. (2015). *DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL BARRANCO DEL SECTOR CRUCE DE UCHUGLLA, DE LA CIUDAD DE MOYOBAMBA 2013*. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/232>.

Mena Ayala, A. (2021). Propiedades del Eichhornia crassipes (Jacinto de agua), Schoenoplectus colifornicus (Junco), y el Phragmites australis (Carricillo). *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 24(47), 101-108. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i47.20656>

Mero, M., Pernía, B., Ramírez-Prado, N., Bravo, K., Ramírez, L., Larreta, E., & Egas, F. (2019). Concentration of cadmium in water, sediments, eichhornia crassipes and pomacea canaliculata in the Guayas (Ecuador) river and tributaries. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 35(3), 623-640. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.03.09>

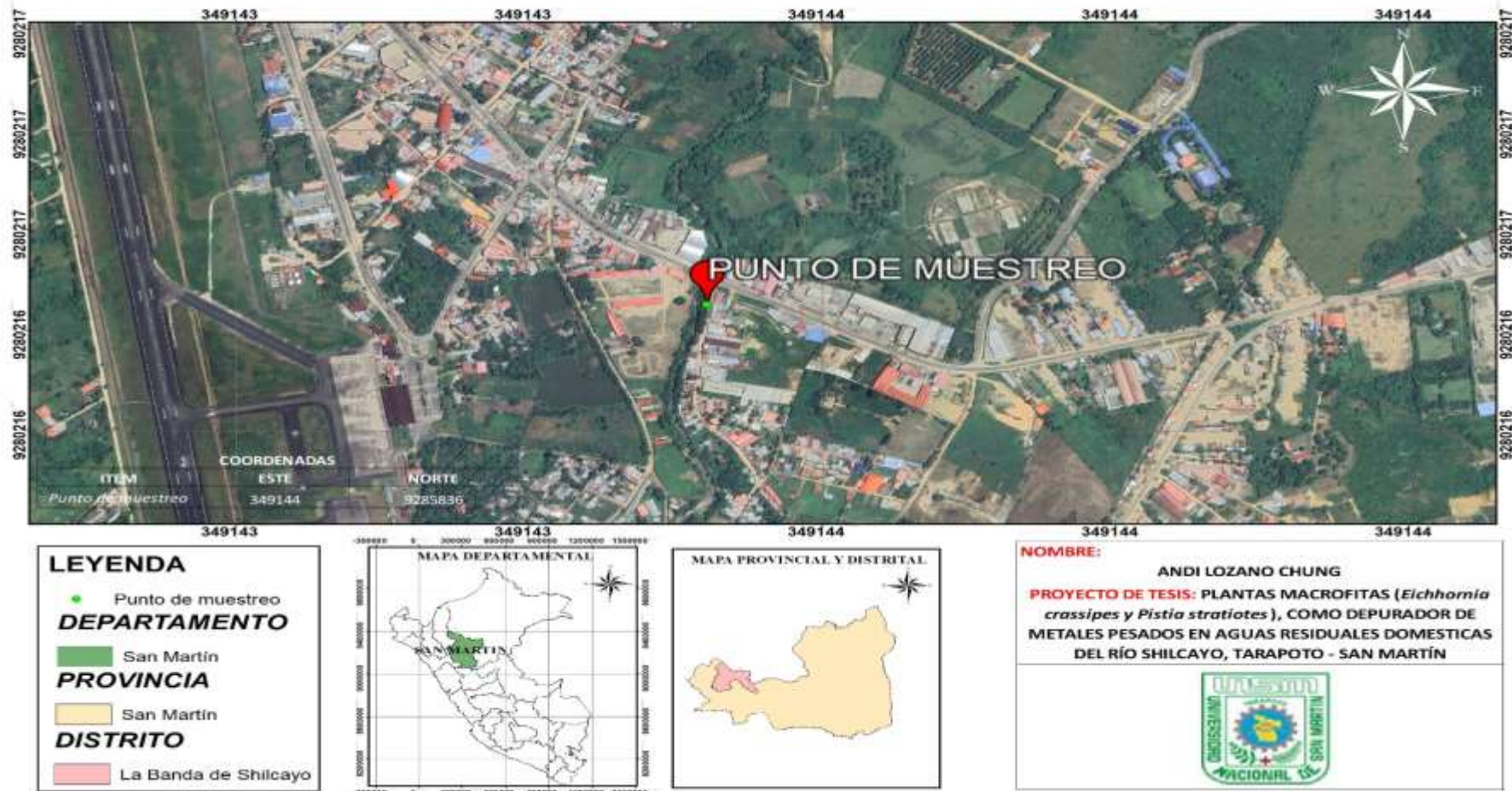
- Ministerio del Ambiente, M. (2014). *Revisión y actualización de la Norma de Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes: recurso agua*. <https://www.cip.org.ec/attachments/article/1579/PROPUESTA%20ANEXO%201.pdf>
- Mishra, V. T. (2008). Concurrent removal and accumulation of heavy metals by the three aquatic macrophytes. *Bioresource Technology*, 99 (1), 7091-7097. www.sciencedirect.com.
- Muñoz, K. M., & Vásquez, M. (2020). Estudio de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas con humedales artificiales de cinco especies de macrófitas. *Universidad Nacional del Norte: Facultad de Ingeniería Ambiental*.
- Nguyen, T. A. H., Ngo, H. H., Guo, W. S., Zhang, J., Liang, S., Yue, Q. Y., Li, Q., & Nguyen, T. V. (2013). Applicability of agricultural waste and by-products for adsorptive removal of heavy metals from wastewater. *Bioresource Technology*, 148, 574-585. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2013.08.124>
- Núñez López, R. A., Meas Vong, Y., Ortega Borges, R., & Olguín, E. J. (2004). *Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones*. http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf.
- Pedraza Guevara, M. S. (2021). *Fitorremediación de cuerpos de agua contaminadas con metales pesados*. <https://innovabiologysciences.org/index.php/IBS/article/view/6/9>.
- Poma Llantoy, V. R., & Valderrama Negrón, A. C. (2014). ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS PARA LA FITORREMEDIAÇÃO DE CADMIO (II) Y MERCURIO (II) CON LA ESPECIE *Eichhornia crassipes* (JACINTO DE AGUA). *Rev Soc Quím Perú*, 80(3), 2014. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2014000300003.
- Quispe Baldeón, L., Arias Chávez, J. B., Martínez Suarez, C. F., & Cruz Huaranga, M. (2017). Eficiencia de la especie macrófita *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) para la remoción de parámetros fisicoquímicos, metal pesado (Pb) y la evaluación de su crecimiento en función al tiempo y adaptación al medio en una

- laguna experimental. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 3(1). <https://doi.org/10.17162/rictd.v1i1.899>
- Ramirez Amacifuen, K. P., & Paredes Vásquez, M. E. (2019). *Evaluación de dos especies macrófitas Pistia stratiotes y Eichhornia crassipes en la remoción de contaminantes microbiológicos y químicos a través de un sistema de biofiltro en aguas residuales domésticas, Tarapoto – 2018*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/39476>.
- Ramírez, C., & Álvarez, M. (2012). Flora y vegetación hidrófila de los humedales costeros de Chile. *Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile*, 101-145.
- Ramos Montaña, C., Cárdenas-Avella, N. M., & Herrera Martínez, Y. (2013). Characterization of the Community of Aquatic Macrophytes in Lakes of La Rusia Paramo (Boyacá-Colombia). *Revista Ciencia en Desarrollo*, 4(2). <http://www.scielo.org.co/pdf/cide/v4n2/v4n2a09.pdf>.
- Rojas, L. P., & Suyón, E. P. (2020). Eficiencia de fitorremediación con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para disminuir concentraciones de Arsénico en aguas del centro poblado Cruz del Médano – Morrope. . *Universidad de Lambayeque. Tesis de pregrado*. [https://repositorio.udl.edu.pe/bitstream/UDL/314/1/TESIS%20ROJAS%20Y%20SU YON.pdf](https://repositorio.udl.edu.pe/bitstream/UDL/314/1/TESIS%20ROJAS%20Y%20SU%20YON.pdf).
- Romero Rojas, J. A. (2010). *Tratamiento de aguas residuales : teoría y principios de diseño*. <https://isbn.cloud/9789588060132/tratamiento-de-aguas-residuales-teoria-y-principios-de-diseno/>
- Carvajal Rowan, A., Zapattini Irala, C., & Quintero Zamora, C. (2018). Humedales Artificiales, una alternativa para la depuración de Aguas Residuales en el Municipio de Mizque, Bolivia. *Diseño y Tecnología para el Desarrollo*, 0(5), 88-108. <http://polired.upm.es/index.php/distecd/article/view/3744>
- Sandoval, J. D. (2019). Eficiencia del Jacinto de agua *Eichhornia crassipes* y lenteja de agua *Lemna minor* en la remoción de Cadmio en aguas residuales. *Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo. Universidad Nacional Federico Villareal – Lima*.

- Segura, A. et al. (2016). Diagnóstico de la Cuenca del Río Shilcayo. . *Universidad Peruana Unión. Perú.* , 5.
- Segura Muñoz, S. I., Beltramini Trevilato, T. M., Takayanagui, A. M. M., & Palmira Cupo, S. E. H. (2003). *Metales pesados en agua de bebederos de presión.* http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222003000100009
- Shah M, Hn, H., & Ghumman. (2015). Performance assessment of aquatic macrophytes for treatment of municipal wastewater. *Journal of the South african inStitution of civil engineering*, 57(3), 18-25. <https://doi.org/10.17159/2309-8775/2015/v57n3a3>
- UNESCO. (2019). Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos: no dejar a nadie atrás. *Diseño original de portada Phoenix. Design Aid. Impreso por Lucas estudios. S. A. Ciudad de México: ISBN: 978-92-3-300108-4 UNESCO-París.*
- World Health Organization – WHO. (2018). *Arsénico.* <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>

ANEXOS

Anexo 1: Puntos de ubicación y toma de muestras de aguas residuales



Anexo 2: Cálculo de la eficiencia de remoción de las macrófitas *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* (T1)

$$\%_{\text{Remoción Pb E.c}} = \left(\frac{\text{Pre tratamiento (T0)} - \text{Postratamiento (T1, T2 y T3)}}{\text{Pre tratamiento (T0)}} \right) \times 100$$

$$\%_{\text{Remoción Pb E.c}} = \left(\frac{0,010 - 0,004}{0,010} \right) \times 100$$

% Remoción de plomo con *E. crassipes* en 5 días de tratamiento = 60%

Eficiencia de remoción T1= 60 %

$$\%_{\text{Remoción Pb P.s.}} = \left(\frac{0,010 - 0,005}{0,010} \right) \times 100$$

% Remoción de plomo con *P. stratiotes* en 5 días de tratamiento = 50%

Eficiencia de remoción T1= 50 %

$$\%_{\text{Remoción As E.c}} = \left(\frac{0,030 - 0,025}{0,030} \right) \times 100$$

% Remoción de arsénico con *E. crassipes* en 5 días de tratamiento = 16.7%

Eficiencia de remoción T1= 16,7%

$$\%_{\text{Remoción As P.s.}} = \left(\frac{0,030 - 0,026}{0,030} \right) \times 100$$

% Remoción de arsénico con *P. stratiotes* en 5 días de tratamiento = 13,3%

Eficiencia de remoción T1= 13,3%

$$\%_{\text{Remoción Cd E.c}} = \left(\frac{0,00046 - 0,00030}{0,00046} \right) \times 100$$

% Remoción de cadmio con *E. crassipes* en 5 días de tratamiento = 34,78%

Eficiencia de remoción T1= 34,78%

$$\%_{\text{Remoción Cd P.s.}} = \left(\frac{0,00046 - 0,00040}{0,00046} \right) \times 100$$

% Remoción de cadmio con *P. stratiotes* en 5 días de tratamiento = 13,04%

Eficiencia de remoción T1= 13,04%

$$\%_{\text{Remoción Pb E.c}} = \left(\frac{0,010 - 0,006}{0,010} \right) \times 100$$

% Remoción de plomo con *E. crassipes* en 10 días de tratamiento = 40%

Eficiencia de remoción T2= 40 %

$$\%_{\text{Remoción Pb P.s}} = \left(\frac{0,010 - 0,007}{0,010} \right) \times 100$$

% Remoción de plomo con *P. stratiotes* en 10 días de tratamiento = 30%

Eficiencia de remoción T2= 30 %

$$\%_{\text{Remoción As E.c}} = \left(\frac{0,030 - 0,0035}{0,030} \right) \times 100$$

% Remoción de arsénico con *E. crassipes* en 10 días de tratamiento = 88,33%

Eficiencia de remoción T2= 88,33%

$$\%_{\text{Remoción As P.s.}} = \left(\frac{0,030 - 0,0024}{0,030} \right) \times 100$$

% Remoción de arsénico con *P. stratiotes* en 10 días de tratamiento = 92%

Eficiencia de remoción T2= 92%

$$\%_{\text{Remoción Cd E.c}} = \left(\frac{0,00046 - 0,00027}{0,00046} \right) \times 100$$

% Remoción de cadmio con *E. crassipes* en 10 días de tratamiento = 41,30%

Eficiencia de remoción T2= 41,30%

$$\%_{\text{Remoción Cd P.s.}} = \left(\frac{0,00046 - 0,00029}{0,00046} \right) \times 100$$

% Remoción de cadmio con *P. stratiotes* en 10 días de tratamiento = 36,96%

Eficiencia de remoción T2= 36,96%

$$\%_{\text{Remoción Pb E.c}} = \left(\frac{0,010 - 0,002}{0,010} \right) \times 100$$

% Remoción de plomo con *E. crassipes* en 15 días de tratamiento = 80%

Eficiencia de remoción T3= 80 %

$$\%_{\text{Remoción Pb P.s}} = \left(\frac{0,010 - 0,004}{0,010} \right) \times 100$$

% Remoción de plomo con *P. stratiotes* en 15 días de tratamiento = 60%

Eficiencia de remoción T3= 60 %

$$\%_{\text{Remoción As E.c}} = \left(\frac{0,030 - 0,0012}{0,030} \right) \times 100$$

% Remoción de arsénico con *E. crassipes* en 15 días de tratamiento = 96%

Eficiencia de remoción T3= 96%

$$\%_{\text{Remoción As P.s.}} = \left(\frac{0,030 - 0,0011}{0,030} \right) \times 100$$

% Remoción de arsénico con *P. stratiotes* en 15 días de tratamiento = 96,33%

Eficiencia de remoción T3= 96,33%

$$\%_{\text{Remoción Cd E.c}} = \left(\frac{0,00046 - 0,00025}{0,00046} \right) \times 100$$

% Remoción de cadmio con *E. crassipes* en 15 días de tratamiento = 45,65%

Eficiencia de remoción T3= 45,65%

$$\%_{\text{Remoción Cd P.s.}} = \left(\frac{0,00046 - 0,00034}{0,00046} \right) \times 100$$

% Remoción de cadmio con *P. stratiotes* en 15 días de tratamiento = 26,07%

Eficiencia de remoción T3= 26,07%

Anexo 3: Reportes y resultados emitidos por laboratorio acreditado por INACAL



INFORME DE ENSAYO IE-23-056

Pag. 7 de 7
LAB-2.1

Razon Social : LOZANO CONSULTORES S.A.C

Dirección legal del cliente : RAMON CASTILLA Nº 704 - TARAPOTO

Solicitado por : Dr. Andi Lozano Chung

Nº de Cotización : P-2023-063

Nº de Orden de Servicio : OS-23-038

Muestra(s) declarada(s) : Agua Residual (Doméstica)

Procedencia de la Muestra : **Nombre del Proyecto:** PLANTAS MACROFITAS Eichhornia Crassipes Y Pistia Stratiotes) COMO DEPURADOR DE METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DEL RÍO SHILCAYO.
Lugar de Proyecto: DISTRITO DE LA BANDA DE SHILCAYO

Muestreado por : EL CLIENTE

Cantidad de Muestra(s) : 3

Fecha de recepción de muestras: : 2023-02-28

Plan de monitoreo : LAB-I-13.5

Fecha de Inicio del Análisis : 2023-02-28

Fecha de Emisión de Informe : 2023-03-10

Código de Cliente		T ₂ -AR-SH	T ₁ -AREC-SH	T ₁ -ARPS-SH	
Descripción del Punto de Muestreo		RÍO SHILCAYO	RÍO SHILCAYO	RÍO SHILCAYO	
Código de Laboratorio		M-23-079	M-23-080	M-23-081	
Coordenadas UTM WGS 84		N: 9280219	N: 9280219	N: 9280219	
		E: 349128	E: 349128	E: 349128	
Instructivo de muestreo		LAB-I-13.5	LAB-I-13.5	LAB-I-13.5	
Matriz		Agua Residual (Doméstica)	Agua Residual (Doméstica)	Agua Residual (Doméstica)	
Muestreo	Fecha Hora	2023-02-28	2023-02-28	2023-02-28	
		08:00 hrs	08:30 hrs	09:00 hrs	
PARÁMETROS					
Parámetro de Ensayo	Unidades	L.C.M.	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Totales					
Aluminio	mg/L	0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Antimonio	mg/L	0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Arsénico	mg/L	0.0010	0.030	0.025	0.026
Bario	mg/L	0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Berilio	mg/L	0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Bismuto	mg/L	0.010	<0.01	<0.01	<0.01

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por INACAL-DA

El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados 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. El informe de ensayo es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Si SOMALAB S.A.C. no realizó la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicarán a la muestra tal como fueron reportadas SOMALAB S.A.C. Declina responsabilidad de la información proporcionada por el cliente. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de SOMALAB S.A.C.

INFORME DE ENSAYO IE-23-056

Codigo de Cliente		T ₂ -AR-SH	T ₁ -AREC-SH	T ₂ -ARPS-SH	
Descripcion del Punto de Muestreo		RIO SHILCAYO	RIO SHILCAYO	RIO SHILCAYO	
Codigo de Laboratorio		M-23-079	M-23-080	M-23-081	
Coordenadas UTM WGS 84		N: 9280219	N: 9280219	N: 9280219	
		E: 349128	E: 349128	E: 349128	
Instructivo de muestreo		LAB-I-13.5	LAB-I-13.5	LAB-I-13.5	
Matriz		Agua Residual (Doméstica)	Agua Residual (Doméstica)	Agua Residual (Doméstica)	
Muestreo	Fecha Hora	2023-02-28	2023-02-28	2023-02-28	
		08:00 hrs	08:30 hrs	09:00 hrs	
PARAMETROS					
Parámetro de Ensayo	Unidades	L.C.M.	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Totales					
Boro	mg/L	0.0010	0.0009	0.0008	0.0009
Cadmio	mg/L	0.00020	0.00046	0.00030	0.00040
Calcio	mg/L	0.004	876.580	896.451	786.843
Cerio	mg/L	0.010	<0.01	<0.01	<0.01
Cobalto	mg/L	0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Cobre	mg/L	0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Cromo	mg/L	0.0003	0.0094	<0.0003	<0.0003
Estaño	mg/L	0.0010	<0.001	<0.001	<0.001
Estroncio	mg/L	0.00005	1.98650	1.74860	1.67846
Fósforo	mg/L	0.006	<0.006	<0.006	<0.006
Hierro	mg/L	0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Litio	mg/L	0.00010	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Magnesio	mg/L	0.0020	348.9676	301.8460	327.6895
Manganeso	mg/L	0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005
Mercurio	mg/L	0.000100	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Molibdeno	mg/L	0.0010	<0.001	<0.001	<0.001
Niquel	mg/L	0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004
Plata	mg/L	0.0010	<0.001	<0.001	<0.001

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por IIAICAL-DA.

El informe de ensayo sólo es válido para las muestra referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados 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. El informe de ensayo es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Si SOMALAB S.A.C no realizó la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicarán a la muestra tal como fueron recepcionadas SOMALAB S.A.C. Destina responsabilidad de la información proporcionada por el cliente. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de SOMALAB S.A.C.

INFORME DE ENSAYO IE-23-056

 Pág. 3 de 4
 LAB-F-2.3

Código de Cliente		T ₀ -AR-SH	T ₁ -AREC-SH	T ₂ -ARPS-SH	
Descripción del Punto de Muestreo		RÍO SHILCAYO	RÍO SHILCAYO	RÍO SHILCAYO	
Código de Laboratorio		M-23-079	M-23-080	M-23-081	
Coordenadas UTM WGS 84		N: 9280219	N: 9280219	N: 9280219	
		E: 349128	E: 349128	E: 349128	
Instructivo de muestreo		LAB-I-13.5	LAB-I-13.5	LAB-I-13.5	
Matriz		Agua Residual (Doméstica)	Agua Residual (Doméstica)	Agua Residual (Doméstica)	
Muestreo	Fecha Hora	2023-02-28	2023-02-28	2023-02-28	
		08:00 hrs	08:30 hrs	09:00 hrs	
PARAMETROS					
Parámetro de Ensayo	Unidades	L.C.M.	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Totales:					
Plomo	mg/L	0.003	0.010	0.004	0.005
Potasio	mg/L	0.010	14.754	14.846	14.745
Selenio	mg/L	0.002	<0.002	<0.003	<0.004
Silice	mg/L	0.0007	15.7183	10.7580	10.8436
Sodio	mg/L	0.0010	50.8436	46.8467	47.1382
Talio	mg/L	0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004
Titanio	mg/L	0.0010	<0.001	<0.001	<0.001
Torio	mg/L	0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Uranio	mg/L	0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Vanadio	mg/L	0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Zinc	mg/L	0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por INACAL/IA.

El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados 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. El informe de ensayo es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Si SOMALAB S.A.C. no realizó la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicarán a la muestra tal como fueron recepcionadas SOMALAB S.A.C. Destina responsabilidad de la información proporcionada por el cliente. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de SOMALAB S.A.C.

INFORME DE ENSAYO IE-23-056

 Pág. 4 de 4
 LAB-023

Metodologías:

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales Totales	EPA Method 200.8-Rev. 5-4 1994. Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry

Observación:
 NO APLICA


 Quirino Luk Anicama Osuna
 Director Técnico
 CQP. 1358

FIN DE DOCUMENTO

El informe de ensayo sólo es válido para las muestra referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados 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. El informe de ensayo es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regirá por las disposiciones penales y civiles en la materia. Si SOMALAB S.A.C. no realizó la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicarán a la muestra tal como fueron recepcionadas SOMALAB S.A.C. Deslinda responsabilidad de la información proporcionada por el cliente. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de SOMALAB S.A.C.

INFORME DE ENSAYO IE-23-066-A

Pag. 1 de 4
LAB-23

Razon Social : LOZANO CONSULTORES S.A.C
Dirección legal del cliente : RAMÓN CASTILLA Nº 704 - TARAPOTO
Solicitado por : Andi Lozano Chung
N° de Cotización : P-2023-072
N° de Orden de Servicio : OS-23-041
Muestra(s) declarada(s) : Agua Residual (Doméstica)
Procedencia de la Muestra : Nombre del Proyecto: PLANTAS MACROFITAS (EICHHORHIA CRASSIPES Y PISTIA STRATIOTES) COMO DEPURADOR DE METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DEL RÍO SHILCAYO.
 Lugar de Proyecto: DISTRITO DE LA BANDA DE SHILCAYO.
Muestreado por : EL CLIENTE
Cantidad de Muestra(s) : 2
Fecha de recepción de muestras: : 2023-03-06
Plan de monitoreo : No Aplica
Fecha de Inicio del Análisis : 2023-03-06
Fecha de Emisión de Informe : 2023-03-15

Código de Cliente		T2	T2	
Descripción del Punto de Muestreo		EICHHORHIA C.	PISTIA S.	
Código de Laboratorio		M-23-102	M-23-103	
Coordenadas UTM WGS 84		N: 9280219	N: 9277704	
		E: 348128	E: 345769	
Instructivo de muestreo		No Aplica	No Aplica	
Matriz		Agua Residual (Doméstica)	Agua Residual (Doméstica)	
Muestreo	Fecha Hora	2023-03-06	2023-03-06	
		07:00 hrs	07:40 hrs	
PARAMETROS				
Parámetro de Ensayo	Unidades	L.C.M.	Resultados	Resultados
Metales Totales				
Aluminio	mg/L	0.003	<0.003	<0.003
Antimonio	mg/L	0.002	<0.002	<0.002
Arsénico	mg/L	0.0010	0.0035	0.0024
Bario	mg/L	0.0003	<0.0003	<0.0003
Berilio	mg/L	0.0003	<0.0003	<0.0003
Bismuto	mg/L	0.010	<0.01	<0.01

Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por INACAL-DA.

El informe de ensayo solo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados 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. El informe de ensayo es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Si SOMALAB S.A.C. no realizó la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicaran a la muestra tal como fueron reportadas SOMALAB S.A.C. Declina responsabilidad de la información proporcionada por el cliente. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de SOMALAB S.A.C.

INFORME DE ENSAYO IE-23-066-A

 Pág. 2 de 4
 LMS-F-23

Código de Cliente		T2	T2	
Descripción del Punto de Muestreo		EICHHORNIA C.	PISTIA S.	
Código de Laboratorio		M-23-102	M-23-103	
Coordenadas UTM WGS 84		N: 9280219	N: 9277704	
		E: 349128	E: 345769	
Instructivo de muestreo		No Aplica	No Aplica	
Matriz		Agua Residual (Doméstica)	Agua Residual (Doméstica)	
Muestreo	Fecha Hora	2023-03-06	2023-03-06	
		07:00 hrs	07:40 hrs	
PARÁMETROS				
Parámetro de Ensayo	Unidades	L.C.M.	Resultados	Resultados
Metales Totales				
Boro	mg/L	0.0010	0.0065	0.0076
Cadmio	mg/L	0.00020	0.00027	0.00029
Calcio	mg/L	0.004	785.188	712.489
Ceño	mg/L	0.010	<0.01	<0.01
Cobalto	mg/L	0.002	<0.002	<0.002
Cobre	mg/L	0.0002	<0.0002	<0.0002
Cromo	mg/L	0.0003	0.0094	<0.0003
Estaño	mg/L	0.0010	<0.001	<0.001
Estroncio	mg/L	0.00005	1.48130	1.74350
Fósforo	mg/L	0.006	<0.006	<0.006
Hierro	mg/L	0.002	<0.002	<0.002
Litio	mg/L	0.00010	<0.0001	<0.0001
Magnesio	mg/L	0.0020	247.5600	214.7340
Manganeso	mg/L	0.00005	<0.00005	<0.00005
Mercurio	mg/L	0.000100	<0.0001	<0.0001
Molibdeno	mg/L	0.0010	<0.001	<0.001
Niquel	mg/L	0.0004	<0.0004	<0.0004
Plata	mg/L	0.0010	<0.001	<0.001

Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por INACAL-DA

El informe de ensayo solo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados 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. El informe de ensayo es un documento oficial de interés público; su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Si SOMALAB S.A.C. no realizó la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicaran a la muestra tal como fueron recepcionadas SOMALAB S.A.C. Deslinda responsabilidad de la información proporcionada por el cliente. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de SOMALAB S.A.C.

INFORME DE ENSAYO IE-23-066-A

 Pág. 3 de 4
 LAB-023

Código de Cliente		T2	T2	
Descripción del Punto de Muestreo		EICHHORNIA C.	PISTIA S.	
Código de Laboratorio		M-23-102	M-23-103	
Coordenadas UTM WGS 84		N: 9280219	N: 9277704	
		E: 349128	E: 345769	
Instructivo de muestreo		No Aplica	No Aplica	
Matriz		Agua Residual (Doméstica)	Agua Residual (Doméstica)	
Muestreo	Fecha Hora	2023-03-06	2023-03-06	
		07:00 hrs	07:40 hrs	
PARÁMETROS				
Parámetro de Ensayo	Unidades	L.C.M.	Resultados	Resultados
Metales Totales				
Plomo	mg/L	0.003	0.006	0.007
Potasio	mg/L	0.010	10.476	10.758
Selenio	mg/L	0.002	<0.002	<0.003
Silíce	mg/L	0.0007	8.4762	8.4756
Sodio	mg/L	0.0010	34.8861	46.8467
Taño	mg/L	0.0004	<0.0004	<0.0004
Titanio	mg/L	0.0010	<0.001	<0.001
Toro	mg/L	0.0003	<0.0003	<0.0003
Uranio	mg/L	0.0003	<0.0003	<0.0003
Vanadio	mg/L	0.0003	<0.0003	<0.0003
Zinc	mg/L	0.0002	<0.0002	<0.0002

Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por IIAICAL-DA.

El informe de ensayo sólo es válido para las muestra referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados 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. El informe de ensayo es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regirá por las disposiciones penales y civiles en la materia. Si SOMALAB S.A.C no realizó la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicaran a la muestra tal como fueron recepcionados. SOMALAB S.A.C. Declina responsabilidad de la información proporcionada por el cliente. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de SOMALAB S.A.C.

INFORME DE ENSAYO IE-23-066-A

 Pág. 4 de 4
 LAB-F-23

Metodologías:

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales Totales	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 1994, Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry

 Observación:
 NO APLICA


 Quím. Luis Aricama Chura
 Director Técnico
 CQP. 1358

FIRMAMENTO

El informe de ensayo solo es válido para las muestra referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados 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. El informe de ensayo es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Si SOMALAB S.A.C. no realizó la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicaran a la muestra tal como fueron recepcionadas SOMALAB S.A.C. Declina responsabilidad de la información proporcionada por el cliente. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de SOMALAB S.A.C.

INFORME DE ENSAYO IE-23-066-B

Pag. 1 de 4
LAB-P-2.3

Razon Social	: LOZANO CONSULTORES S.A.C
Dirección legal del cliente	: RAMÓN CASTILLA Nº 704 - TARAPOTO
Solicitado por	: Andi Lozano Chung
Nº de Cotización	: P-2023-072
Nº de Orden de Servicio	: OS-23-041
Muestra(s) declarada(s)	: Agua Residual (Doméstica)
Procedencia de la Muestra	: Nombre del Proyecto: PLANTAS MACROFITAS (EICHHORNIA CRASSIPES Y PISTIA STRATIOTES) COMO DEPURADOR DE METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DEL RÍO SHILCAYO. Lugar de Proyecto: DISTRITO DE LA BANDA DE SHILCAYO.
Muestreado por	: EL CLIENTE
Cantidad de Muestra(s)	: 2
Fecha de recepción de muestras:	: 2023-03-11
Plan de monitoreo	: No Aplica
Fecha de Inicio del Analisis	: 2023-03-11
Fecha de Emisión de Informe	: 2023-03-22

Código de Cliente		T3	T3	
Descripción del Punto de Muestreo		EICHHORNIA C.	PISTIA S.	
Código de Laboratorio		M-23-104	M-23-105	
Coordenadas UTM WGS 84		N: 9280219 E: 349128	N: 9277704 E: 345769	
Instructivo de muestreo		No Aplica	No Aplica	
Matriz		Agua Residual (Doméstica)	Agua Residual (Doméstica)	
Muestreo	Fecha Hora	2023-03-11	2023-03-11	
		07:00 hrs	07:40 hrs	
PARÁMETROS				
Parámetro de Ensayo	Unidades	L.C.M.	Resultados	Resultados
Metales Totales				
Aluminio	mg/L	0.003	<0.003	<0.003
Antimonio	mg/L	0.002	<0.002	<0.002
Arsénico	mg/L	0.0010	0.0012	0.0011
Bario	mg/L	0.0003	<0.0003	<0.0003
Berilio	mg/L	0.0003	<0.0003	<0.0003
Bismuto	mg/L	0.010	<0.01	<0.01

Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por INACAL-DA.

El informe de ensayo solo es válido para las muestra referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados 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. El informe de ensayo es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Si SOMALAB S.A.C no realizó la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicaran a la muestra tal como fueron recepcionadas SOMALAB S.A.C. Deslinda responsabilidad de la información proporcionada por el cliente. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de SOMALAB S.A.C.

INFORME DE ENSAYO IE-23-066-B

 Pág. 2 de 4
 LAB-F-23

Código de Cliente		T3	T3	
Descripción del Punto de Muestreo		EICHHORIMA C.	PISTA S.	
Código de Laboratorio		M-23-104	M-23-105	
Coordenadas UTM WGS 84		N: 9280219	N: 9277704	
		E: 349128	E: 345769	
Instructivo de muestreo		No Aplica	No Aplica	
Matriz		Agua Residual (Doméstica)	Agua Residual (Doméstica)	
Muestreo	Fecha Hora	2023-03-11	2023-03-11	
		07:00 hrs	07:40 hrs	
PARÁMETROS				
Parámetro de Ensayo	Unidades	L.C.M.	Resultados	Resultados
Metales Totales				
Boro	mg/l.	0.0010	0.0031	0.0028
Cadmio	mg/l.	0.00020	0.00025	0.00034
Calcio	mg/l.	0.004	514.864	498.541
Cerio	mg/l.	0.010	<0.01	<0.01
Cobalto	mg/l.	0.002	<0.002	<0.002
Cobre	mg/l.	0.0002	<0.0002	<0.0002
Cromo	mg/l.	0.0003	<0.0003	<0.0003
Estaño	mg/l.	0.0010	<0.001	<0.001
Estroncio	mg/l.	0.00005	0.98764	0.98664
Fósforo	mg/l.	0.006	<0.006	<0.006
Hierro	mg/l.	0.002	<0.002	<0.002
Litio	mg/l.	0.00010	<0.0001	<0.0001
Magnesio	mg/l.	0.0020	148.9460	101.7210
Manganeso	mg/l.	0.00005	<0.00005	<0.00005
Mercurio	mg/l.	0.000100	<0.0001	<0.0001
Molibdeno	mg/l.	0.0010	<0.001	<0.001
Níquel	mg/l.	0.0004	<0.0004	<0.0004
Plata	mg/l.	0.0010	<0.001	<0.001

Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por INACAL/DA

El informe de ensayo sólo es válido para las muestra referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados 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. El informe de ensayo es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regule por las disposiciones penales y civiles en la materia. Si SOMALAB S.A.C. no realizó la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicaran a la muestra tal como fueron recepcionadas SOMALAB S.A.C. Deslinda responsabilidad de la información proporcionada por el cliente. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de SOMALAB S.A.C.

INFORME DE ENSAYO IE-23-066-B

 Pág. 2 de 4
 LAB-F-23

Código de Cliente		T3	T3	
Descripción del Punto de Muestreo		EICH-HORIBA C.	PISTIA S.	
Código de Laboratorio		M-23-104	M-23-105	
Coordenadas UTM WGS 84		N: 9280219	N: 9277704	
		E: 349128	E: 345760	
Instructivo de muestreo		No Aplica	No Aplica	
Matriz		Agua Residual (Doméstica)	Agua Residual (Doméstica)	
Muestreo	Fecha Hora	2023-03-11	2023-03-11	
		07:00 hrs	07:40 hrs	
PARÁMETROS				
Parámetro de Ensayo	Unidades	L.C.M.	Resultados	Resultados
Metales Totales				
Plomo	mg/l	0.003	0.002	0.004
Potasio	mg/l	0.010	9.476	9.147
Selenio	mg/l	0.002	<0.002	<0.003
Silice	mg/l	0.0007	5.9435	5.1428
Sodio	mg/l	0.0010	21.7648	25.4176
Taño	mg/l	0.0004	<0.0004	<0.0004
Titanio	mg/l	0.0010	<0.001	<0.001
Toro	mg/l	0.0003	<0.0003	<0.0003
Uranio	mg/l	0.0003	<0.0003	<0.0003
Vanadio	mg/l	0.0003	<0.0003	<0.0003
Zinc	mg/l	0.0002	<0.0002	<0.0002

Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por INACAL-DA

El informe de ensayo solo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados 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. El informe de ensayo es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Si SOMALAB S.A.C. no realizó la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicaran a la muestra tal como fueron recepcionadas SOMALAB S.A.C. Deslinda responsabilidad de la información proporcionada por el cliente. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de SOMALAB S.A.C.

INFORME DE ENSAYO IE-23-066-B

 Pág. 4 de 4
 LMB-P-23

Metodologías:

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales Totales	EPA Method 200.8 Rev. 5.4.1994, Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry

 - Observación:
 NO APLICA


 Quím. LUIS ANICAMA CHURA
 Director Técnico
 CQP. 1358

FECHA DE ELABORACIÓN

El informe de ensayo sólo es válido para las muestra referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados 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. El informe de ensayo es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Si SOMALAB S.A.C no realizó la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicaran a la muestra tal como fueron recepcionadas SOMALAB S.A.C. Destino responsabilidad de la información proporcionada por el cliente. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de SOMALAB S.A.C.

Anexo 5: Registro fotográfico

Fotografía 01: recolección de *Eichhornia crassipes*



Fotografía 02: recolección de *Pistia stratiotes*



Fotografía 03: recolección de *agua residual del cuerpo receptor*



Fotografía 04: instalación y sembrados de las macrófitas según tratamientos



Fotografía 05: macrófitas instaladas según tiempo de tratamiento



Fotografía 06: recolección de muestras post tratamiento para envío a laboratorio

Plantas macrófitas (Eichhornia crassipes y Pistia stratiotes) como depurador de metales pesados en aguas residuales domésticas del río Shilcayo

por Andi Lozano Chung

Fecha de entrega: 07-feb-2024 11:26a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2288805486

Nombre del archivo: Tesis_de_maestr_a_Andi_Lozano_Chung_07-02.docx (17.43M)

Total de palabras: 14115

Total de caracteres: 79961

Plantas macrófitas (*Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*) como depurador de metales pesados en aguas residuales domésticas del río Shilcayo

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%	17%	5%	8%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	4%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
3	tesis.unsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Nacional de San Martín Trabajo del estudiante	1%
5	www.senamhi.gob.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%