



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Evaluación de la fitoextracción de plomo en macrófita
potamogeton sp. procedente del humedal albuferas de medio
mundo, Huaura

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

Quispe Vallejo, Ronald Jyonatan (ORCID: 0000-0003-4641-2062)

ASESOR:

Dr. Lozano Sulca, Yimi Tom (ORCID: 0000-0002-0803-1261)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2022

Dedicatoria

A mi hija Luana Aziel, que es la razón de mi vida y el motivo de mi existir.

A mi esposa Isabel Blas por su respaldo y su apoyo incondicional.

A mis padres Ana y Fabian que guiaron mis pasos y me enseñaron a luchar por mis sueños.

Agradecimiento

A Dios por ser mi guía y brindarme fortaleza y sabiduría en este camino.

A las autoridades de ACR Albuferas de Medio Mundo – Huaura, que permitieron que se lleve a cabo y se desarrolle esta investigación.

Al Blgo. Armando Chiclla por su dirección, en calidad de asesor, por compartir su amplio conocimiento y aporte en la culminación de este trabajo de investigación.

Índice de contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de gráficos y figuras.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	5
III. METODOLOGÍA.....	14
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	14
3.2 Variables y operacionalización.....	14
3.3 Población, muestra y muestreo.....	14
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	15
3.5 Procedimientos.....	16
3.6 Método de análisis de datos.....	21
3.7 Aspectos éticos.....	21
IV. RESULTADOS.....	22
4.1 Absorción de plomo de los diferentes órganos de la planta <i>Potamogeton sp.</i>	22
4.2 Efecto de los tratamientos en el factor de bioconcentración de los diferentes órganos de <i>Potamogeton sp.</i>	25
V. DISCUSIÓN.....	27
VI. CONCLUSIONES.....	31
VII. RECOMENDACIONES.....	32
REFERENCIAS.....	33
ANEXOS	

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Tratamientos propuestos en la Investigación</i>	19
Tabla 2. <i>Valores promedio ($X \pm D.S$) de la concentración de plomo (mg/kg) en diferentes tratamientos y órganos de <i>Potamogeton sp.</i>.....</i>	23
Tabla 3. <i>Valores de los Factores de bioconcentración (FBC) y Factor de transferencia (FT) obtenidos en <i>Potamogeton</i> después de los tratamientos.</i>	25
Tabla 4. <i>Valores del peso seco (mg) presente en los órganos del macrófita <i>Potamogeton sp.</i> (promedio $\pm DS$)</i>	26

Índice de gráficos y figuras

<i>Figura 1.</i> Mecanismos de eliminación de metales por plantas emergentes y flotantes,.....	12
<i>Figura 2.</i> Puntos de recolección de la macrófita <i>Potamogeton</i> sp.en HAMM.....	17
<i>Figura 3.</i> Extracción de las macrófitas <i>Potamogeton</i> sp.en HAMM	18
<i>Figura 4.</i> Configuración experimental: sistema de tres contenedores para investigar la absorción de plomo en diferentes partes de una planta intacta.	20
<i>Figura 5.</i> Valores de absorción de plomo en los diferentes órganos de <i>Potamogeton</i> sp.....	23
<i>Figura 6.</i> Concentración de plomo (mg/kg) en cada uno de los órganos de <i>Potamogeton</i> sp.....	24

Resumen

La presente investigación presentó como objetivo general evaluar la fitoextracción de plomo en la macrófita *Potamogeton* sp. procedente del humedal Albuféras de Medio Mundo, Huaura. Este estudio presentó un diseño de tipo experimental y cuyo procedimiento consistió obtener especímenes de la macrófita *Potamogeton* sp. las cuales fueron trasladadas al laboratorio para ser lavadas y colocadas en recipientes los cuales fueron llenados con la solución contaminante del metal pesado plomo a concentraciones de 2,0; 4,0; 6,0 y 8,0 μM por seis días de exposición. Se evaluaron la concentración del metal en los distintos órganos, así como el factor de bioconcentración, Transferencia del contaminante y el peso seco de los diferentes órganos de la macrófita. Los resultados obtenidos refieren que las concentraciones de plomo fueron significativamente ($p < 0,05$) mayores en raíces y hojas que en tallo. Además, se obtuvieron valores mayores del Factor de Bioconcentración en el rango de 92 a 336 correspondiente al T2 y T4 respectivamente. El peso seco del tallo fue el más alto, seguido de la raíz y las hojas con valores promedio de $297 \pm 47,7$, $272 \pm 76,3$ y $84,3 \pm 17,2$ mg respectivamente. Concluyendo que, esta macrófita absorbió y distribuyó el plomo, siendo eficiente en la fitoextracción del metal pesado plomo.

Palabras clave: Macrófitas, *Potamogeton* sp., Absorción de plomo, Fitoextracción, bioconcentración.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the phytoextraction of lead in the macrophyte *Potamogeton* sp. from the Albuferas de Medio Mundo wetland, Huaura. This study presented an experimental type design and whose methodology consisted of obtaining specimens of the macrophyte *Potamogeton* sp. which were transferred to the laboratory to be washed and placed in containers which were filled with the polluting solution of the heavy metal lead at concentrations of 2.0; 4.0; 6.0 and 8.0 μM for six days of exposure. The concentration of the metal in the different organs, as well as the bioconcentration factor, contaminant transfer and the dry weight of the different parts of the plant were evaluated. The results showed that lead concentrations were significantly ($p < 0.05$) higher in roots and leaves than in stems. In addition, higher values of the Bioconcentration Factor were obtained in the range of 92 to 336 corresponding to T2 and T4, respectively. The dry weight of the stem was the highest, followed by the root and the leaves with average values of 297 ± 47.7 , 272 ± 76.3 and 84.3 ± 17.2 mg, respectively. Concluding that this macrophyte absorbed and distributed lead, being efficient in the phytoextraction of the heavy metal lead.

Keywords: Macrophytes, *Potamogeton* sp., Lead uptake, phytoextraction, bioconcentration

I. INTRODUCCIÓN

La intensiva contaminación de los recursos suelo y agua por metales pesados es un desafío para los seres humanos y el ecosistema, se introduce esta contaminación y afecta directamente al proceso de la cadena alimentaria. El agua y el suelo contaminados principalmente por plomo generan disminución de estos recursos en su calidad y disponibilidad. Actualmente, se ha incrementado la concentración de metales pesados en agua para diversos usos, generándose un problema ambiental con graves consecuencias, debido a sus efectos al ecosistema y, además, en la salud animal y humana. Estos contaminantes son persistentes y se acumulan en agua, suelo y sedimentos con una fuerte tendencia a la bioacumulación pudiendo actuar como toxinas ecológicas en organismos acuáticos y ecosistemas terrestres (Kahlon et al., 2013, pág. 151).

Varios estudios han llamado la atención sobre los metales pesados, en especial la captura por absorción de estos elementos metálicos por las plantas y que es generalmente el inicio del ingreso de estos contaminantes en la red trófica. La absorción y posterior retención de metales pesados depende de la disponibilidad de estos elementos desde las raíces hacia órganos aéreos (Li et al., 2019, pág. 517).

Por otro lado, nuestras aguas naturales, particularmente los humedales y los sistemas de agua dulce, actualmente no solo están siendo contaminados en diversos grados, también están condenados a una contaminación a largo plazo debido a los metales depositados en sedimentos de actividades humanas pasadas. Siendo de vital importancia la búsqueda de mecanismos biorremediadores de estos elementos metálicos.

Actualmente se están utilizando varios métodos para limpiar el medio ambiente de metales pesados, pero la mayoría de ellos son costosos y están lejos de su rendimiento óptimo (Reitsema et al., 2018, pág. 3).

La fitorremediación se ha convertido en una efectiva, asequible y aceptada solución tecnológica para la limpieza de suelos contaminados, sedimentos y agua (Ahmad et al., 2014, pág. 1184).

La fitorremediación aprovecha las capacidades de captación de las plantas a través de las raíces como órganos especializados en esta actividad, al igual que la translocación y la aptitud de bioacumular y transformar los contaminantes en todas partes del cuerpo de la planta (Reitsema et al., 2018, pág. 2).

Varias especies de plantas, entre ellas las acuáticas, llamadas macrofitas, han sido utilizados para la fitorremediación, siendo la actividad de fitoextracción de metales pesados de agua contaminada, la que mejor representa este tipo de planta. Estas plantas macrófitas, están distribuidas en todo el mundo en numerosos entornos acuáticos, incluidos ecosistemas de agua dulce y desempeñan un papel clave en la biogeoquímica de los humedales y representan los principales acumuladores vivos de contaminantes. Además, son responsables de la producción, cumpliendo un papel trófico fundamental en los ecosistemas acuáticos (O'Brien et al., 2014, pág. 406).

La investigación es pertinente porque se realizó la fitoextracción del contaminante a través de la planta *Potamogeton* sp. Esta es una macrófita acuática perenne sumergida, que se distribuye ampliamente en el mundo y puede considerarse como especie pionera porque coloniza rápidamente aguas contaminadas generalmente inadecuadas para otras especies (Samecka-Cymerman y Kempers, 2004, pág. 65; Wang, Keser et al., 2020, pág. 74).

Actualmente existen estudios que han informado sobre la acumulación, transporte y fitotoxicidad de metales pesados en diversas especies del género *Potamogeton* (Demirezen y Aksoy, 2004, pág. 686; Samecka-Cymerman y Kempers, 2004, pág. 65),

por ello esta macrófita representa una alternativa en la fitoextracción del metal pesado plomo presente en diferentes ecosistemas acuáticos. En relación a la

problemática anteriormente explicada se propuso un problema general (PG) y tres objetivos específicos (PE) siguientes:

PG: ¿Cómo influye la fitoextracción de plomo en la macrófita *Potamogeton* sp. procedente del humedal Albuferas de Medio Mundo, Huaura?

PE1: ¿Cómo es la absorción de plomo de los diferentes órganos de la planta *Potamogeton* sp.?

PE2: ¿Cuál es el efecto de los tratamientos en el factor de bioconcentración y de transferencia de los diferentes órganos de *Potamogeton* sp.?

PE3: ¿Cómo influye la biomasa seca de cada órgano de la macrófita de *Potamogeton* sp. en la captación de plomo?

El objetivo general de la investigación fue:

OG: Evaluar la fitoextracción de plomo en la macrófita *Potamogeton* sp. procedentes del humedal Albuferas de Medio Mundo, Huaura.

Los objetivos específicos propuestos en la investigación fueron:

OE1: Determinar la absorción de plomo de los diferentes órganos de la macrófita *Potamogeton* sp.

OE2: Estudiar el efecto de los tratamientos en el factor de bioconcentración y de transferencia de los diferentes órganos de *Potamogeton* sp.

OE3: evaluar la influencia de la biomasa seca de cada órgano de la macrófita de *Potamogeton* sp. en la captación de plomo.

Además, se planteó las siguientes hipótesis:

HG: La macrofita *potamogeton* influye significativamente en la fitoextracción de plomo en medio acuático.

HN: La macrofita *potamogeton* no influye significativamente en la fitoextracción de plomo en medio acuático.

Las hipótesis específicas de la investigación fueron las siguientes:

HE1: El órgano de la raíz de la macrofita *potamogeton* influye significativamente en la absorción de plomo.

HE2: La absorción de plomo por la macrofita *potamogeton* afecta significativamente al factor de bioconcentración y de transferencia.

HE3: La biomasa seca de *Potamogeton* sp. influye significativamente con la absorción de plomo.

II. MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo de la investigación fue prioritaria realizar la revisión de la bibliografía permitiendo profundizar ahondar el tema de estudio y poder evaluar los resultados obtenidos. Se consideraron los siguientes antecedentes internacionales y nacionales para este estudio.

realizaron una investigación siendo el objetivo general evaluar el efecto de la fitorremediación utilizando la especie *Nerium oleander*, en la remoción de los contaminantes del suelo por elementos metálicos. Este estudio fue llevado a cabo durante el 2015 en El-Dakhyla, Alejandria, Egipto. Se utilizó un modelo de planta de absorción simple para estimarla contribución de las vías de remediación a través de diferentes partes de la planta. La metodología usada consistía en el secado del suelo para luego ser llevado al espectrofotómetro y así precisar la cantidad de estos elementos metálicos (Pb, Cd y Zn), de igual forma con la planta para el tallo, raíz y hojas y así luego poder determinar el factor de traslocación o transferencia el cual se calcula de acuerdo a la asociación que presenta el ratio de concentración contaminantes metálicos en la planta y la concentración en el sustrato suelo. Los cálculos del modelo revelaron que el Factor de concentración de la raíz es igual a 0,5, 0,41 y 0,45, respectivamente. El factor de concentración de translocación del tallo (TSCF) en la xilema es igual a 0,85, 0,98 y 0,99. Por lo tanto, los autores llegan a la conclusión que Pb se acumuló en la raíz, mientras que Cd y Zn se concentraron en las partes aéreas de *N. oleander*. Según (Ibrahim y El Afandi 2020)

Por otro lado, realizaron una investigación usando macrófitas y metales pesados siendo su objetivo evaluar el potencial de *Panicum aquaticum* Poir a diferentes concentraciones de plomo (Pb) (0,0, 0,05, 1,00, 2,00, 4,00, 8,00 mM de Pb (NO₃)₂). Los especímenes de *P. aquaticum* se extrajeron de un lago sin metales pesados, para luego ser propagadas en un sustrato que contenía arena lavada y solución nutritiva. Se analizó el crecimiento de las plantas, la anatomía de raíces y hojas, la absorción de raíces, la translocación de raíz a brote y la concentración y

acumulación de Pb en órganos. En cuanto a la anatomía de la hoja, el tratamiento con Pb provocó cambios en el grosor de la epidermis, densidad estomática, diámetro estomático y área esclerénquima. El espesor del endodermo se incrementó a las concentraciones más altas de Pb, lo que puede estar relacionado con la reducción de la translocación y la acumulación de brotes. Las raíces de *P. aquaticum* presentaron una mayor absorción ($2279 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) de Pb. En conclusión, los autores encontraron que *P. aquaticum* tiene potencial para la fitoextracción de áreas contaminadas con Pb. (Pires-Lira et al. 2020)

investigaron sobre la fitorremediación de aguas Contaminadas con metales pesados, presentando un estudio en relación de trabajos que muestran la eficacia de las plantas en la eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos. Tres plantas fueron usadas para la remediación de aguas contaminadas (*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* y Duck weed), siendo consideradas como plantas acumuladoras de metales, siendo utilizados en la descontaminación de aguas concentradas con elementos metálicos pesados. Una revisión resumida sobre el uso de plantas acuáticas en la fitorremediación es presentada para ser aplicado en la fitorremediación. Los autores concluyen que, estas tres plantas acuáticas realizan la remediación de estos contaminantes del sitio contaminado con igual facilidad que otras plantas hiperacumuladoras. (Shafaquat et al. 2020)

realizaron estudios siendo el objetivo general estudiar la eficiencia de fitoextracción de Cd de las hojas senescentes y/o muertas de *Festuca arundinacea*. Estas plantas se establecieron por semillas en macetas de plástico llenos con 5kg de sustrato de crecimiento y se sometieron a condiciones de 28/16 °C de la temperatura media diurna/nocturna. Las plantas fueron transferidas a las 2 semanas de crecimiento. Los resultados mostraron que el Cd se distribuyó preferentemente en las hojas senescentes y muertas. Los niveles de EDTA, DTPA y EGTA aumentaron las acumulaciones de Cd en las hojas muertas, lo que podría estar asociado con el aumento de los complejos de Cd inorgánico soluble en agua. Las hojas muertas fueron solo del 12,6 al 16,3 % de la biomasa total de los brotes, pero acumularon del 73,4 al 87,2 % del Cd total de los brotes. Los autores concluyen que, a la luz de los resultados, una nueva estrategia de fitoextracción de Cd basada en cosechar

las hojas muertas es factible para ahorrar el alto costo del tratamiento de los residuos vegetales peligrosos mientras se mantiene una eficiencia de fitoextracción aceptable. (Wang et al. 2019)

realizaron estudios sobre macrófitas y la absorción de nutrientes, siendo su objetivo analizar la aparición de *Potamogeton crispus* en un ecosistema con altos nutrientes. Este estudio fue desarrollado en el lago Xuanwu, Nanjing- China en Julio del 2005, donde fue reportada una alta presencia de floraciones dominadas *Microcystis*. Se aplicaron cantidades significativas de arcilla al agua para flocular e inhibir la floración algal. Posteriormente, fueron monitorearon los índices que permitieron caracterizar el agua teniendo en cuenta los parámetros de oxígeno disuelto, transparencia, pH, nitrógeno total y contenido de fósforo total. Los resultados mostraron que la transparencia mejoró en un 179,5 % después de la floculación de arcilla, el contenido de oxígeno disuelto aumentó un 24,1 %; el contenido de los nutrientes más representativos (nitrógeno y fósforo) presentes en el dicho ecosistema disminuyeron en 54,1 y 74,5 %, respectivamente. El pH cayó de 9,1 a 8,7, todo lo cual se puede atribuir a causa de las acciones para el control de la proliferación de cianobacterias. El análisis de datos también indicó que la transparencia mejoró el desarrollo y propagación de plántulas de *P. crispus* generando una disminución de los nutrientes y el rebrote de las floraciones algales. (Wang et al. 2016)

estudiaron a varias macrófitas y a metales pesados siendo su principal objetivo evaluar el potencial de retención de contaminantes metálicos en las hojas de dos especies de macrófitas más extendidas en los humedales del Himalaya de Cachemira, incluidos *Potamogeton natans* y *Ceratophyllum demersum*. La metodología consistió en obtener muestras de hojas compuestas de las macrófitas recolectados al azar de tres diferentes sitios del humedal, siendo posteriormente trasladadas al laboratorio para su posterior evaluación. Posteriormente, las macrófitas fueron debidamente lavadas con agua destilada y puesta secar en hornos de 60 °C. Se analizaron nueve metales (Aluminio, Manganeso, Zinc, Cobre, Plomo, Cobalto, Cromo, Niquel y Cadmio) por absorción atómica. Los resultados

mostraron la acumulación de los diferentes elementos estaban en el siguiente orden en *P. natans*: Aluminio>Manganeso >Plomo >Cobre >Zinc >Níquel >Cobalto >Cromo >Cadmio. Se pudo demostrar que *P. natans* acumula más metales en las hojas que los tallos, ya que la superficie a la relación de volumen es mayor en hojas. Los autores concluyeron que *C. demersum* y *P. natans* fueron buenas acumuladoras de metales y que el análisis del Factor de Bioconcentración revela que *C. demersum* sirve como un buen acumulador de metales Co, Mn y Cd mientras que *P. natans* sirve como un buen acumulador de Cd. Estas dos especies son recomendarse como posibles candidatos para la inoculación en humedales contaminados para la remoción de Co, Mn y Cd. (Ahmad et al. 2014)

investigaron la acumulación de metales y el potencial de tolerancia de *Potamogeton pectinatus* y *Potamogeton crispus* para Cu, Cr, Pb y Zn. En esta investigación las macrófitas sumergidas se recolectaron del río Gomti, Lucknow. Para el estudio experimental las plantas fueron aclimatadas en solución Hoagland al 10 % durante 4 semanas en condiciones de laboratorio. Las soluciones de Pb y Zn se prepararon en una solución Hoagland al 10% y a una concentración de 5,0 mg.L⁻¹. Todos los tratamientos fueron realizados con tres repeticiones en dos conjuntos en un diseño aleatorio (DCA). La cosecha de las plantas se llevó a cabo después de 5 días de duración del tratamiento y el conjunto de plantas se lavaron con agua repetidamente para la estimación de varios parámetros. Los resultados mostraron que la toxicidad del metal fue evidente por una disminución en el contenido de clorofila, aumento de malondialdehído (MDA) y fuga de electrolitos, particularmente bajo estrés con Cr y Pb. Además, se demostró que *P. crispus* exhibió mejor adaptación a elevadas cantidades de Cobre, Cromo, plomo y Zinc y mayor concentración acumulada de Pb y Cr en comparación con *P. pectinatus* en sus tejidos. Los autores concluyen que *P. crispus* podría es una mejor especie fitorremediadora, que podría ser considerada en el retiro de contaminantes metálicos de las aguas residuales. (Upadhyay et al. 2014)

Los antecedentes nacionales usados en la presente investigación fueron los siguientes:

estudiaron la actividad fitorremediadora de cinco plantas altoandinas procedentes de ambientes contaminados con los metales pesados plomo, zinc y cadmio. Para realizar este estudio se habilitó un ambiente climatizado correspondiente a Lachaqui, provincia de Canta, Lima. Fue necesario evaluar los tratamientos con los siguientes factores: 5 plantas de especies diferentes y 4 sustratos diferentes con relave de mina. Los resultados destacaron la generación de biomasa que se vio disminuida en todos los tratamientos aplicados con relaves de minas. La mayor concentración del metal plomo y zinc fue registrada en las raíces de la planta *Fuertesimalva echinata* con el tratamiento de mayor concentración, cuyo valor para plomo fue 2015,1 mg y para zinc de 1024.2 mg. En las raíces de *Lupinus ballianus* se concentró cadmio con 287,3 mg kg⁻¹. La macrófita *F. echinata* presentó el mayor índice de tolerancia (IT) con 41,5%. (Jara-Peña et al. 2018)

Los alcances teóricos más importantes para la presente investigación fueron:

Hoy en día existen tecnologías como la biorremediación que al compararlas con otras metodologías resulta ser más sencilla, fácil, efectiva y presenta niveles mínimos de riesgo para el medio ambiente y los diferentes organismos que lo componen. La biorremediación ha sido usada y estudiada en diferentes investigaciones relacionadas a la recuperación de ecosistemas afectadas por numerosos contaminantes. Pero esta metodología presenta limitantes ambientales como nutrientes, presencia de oxígeno, temperatura, complejidad del contaminante y entre otros (Rivera et al., 2018, p. 249).

Existen diferentes tipos de biorremediación Ex situ, In situ y la barrera permeable reactiva (PBR) la cual es una divergencia hipotética de las otras dos. Las técnicas de biorremediación Ex situ son Biopila, Hileras, Biorreactor y Land farming, estas técnicas involucran el traslado de muestras contaminadas de su lugar de origen a otro donde se realizará el tratamiento. La aplicación de las técnicas Ex situ se toman en consideración en función de costo del tratamiento, ubicación geográfica, geología del sitio contaminado, tipo, grado y profundidad de la contaminación. Aparte de esto también se toman en cuenta los criterios de máximo aprovechamiento, que determinan la elección de técnicas de biorremediación Ex situ. En cambio, las técnicas In situ son tratamientos de sustancias contaminadas en el lugar de la contaminación. Esta técnica no requiere las consideraciones

tomadas que la Ex situ, y en la mayoría de casos resulta ser más económica, estas técnicas tales como bioventilación, biodescarga, fitorremediación y atenuación natural han sido utilizadas con éxito para tratar sitios contaminados con diferentes tóxicos tales como metales pesados hidrocarburos entre otros (Chibueze et al., 2016, p. 179).

Una variante de esta tecnología es la fitorremediación, considerada como una actividad natural de las plantas y microorganismos que se desarrollan en conjunto en un ambiente contaminado para eliminar las sustancias nocivas mediante procesos biológicos, químicos y físicos. El efecto de la fitorremediación sobre la sustancia toxicas difiere según el contaminante, la especie de planta a usar y las condiciones ambientales (Steliga y Kluk, 2020, p. 1).

Existen dos tipos enfoques los conceptos tradicionales (fitoestabilización, fitovolatilización, fitoextracción) y el nuevo concepto (fitorremediación química mediada usando plantas que no concentra contaminantes metálicos en órganos aéreos (no hiperacumuladoras), fitorremediación mediada por biochar, fitorremediación mediada por microorganismos y uso de tecnologías usando plantas transgénicas). Los nuevos conceptos nacen de avances y modificaciones de los conceptos tradiciones, para poder garantizar la aplicación a gran escala; debido a las limitaciones que se tienen para la remediación: Requerimiento de mucho tiempo para remediar el suelo contaminado, alta potencialidad de fitoextracción de plantas hiperacumuladoras debido a la baja producción de biomasa, la disponibilidad del toxico biodisponible, la cual varía según las características físicas de pH, la materia orgánica, cationes competitivos, entre otros, solo es posible aplicarlo a sitios con contaminación baja y moderada, falta de conocimiento sobre agronomía y la especie a usar y la mala gestión o descuido puede resultar en una contaminación cruzada (Sarwar et al., 2017, p. 714).

Las plantas pueden ser tanto acumuladoras como excluidoras de metales como Zinc, Cobre, Cadmio y Plomo en raíz o brote; así a continuación se detalla los estudios realizados por (Fritioff 2005) en plantas emergentes y flotantes.

Algunas especies emergentes estudiadas como: *Alisma* (plátano de agua), *Sagittaria sagittifolia* (punta de flecha), *Juncus effusus* (junco suave), *Lythrum salicaria* (púrpura salicaria) y *Phalaris arundinacea* (alpiste), han demostrado una acumulación a bajas cantidades Zinc, Cobre, Cadmio y Plomo en sus brotes y altas concentraciones en sus raíces. Así, en los humedales las especies emergentes pueden usarse para estabilizar los metales en el sustrato. Las concentraciones de Zn en las raíces de todas las especies tienden a ser superiores en el sedimento circundante. Las concentraciones de metales en las especies descritas anteriormente se compararon además con los de otras dos especies que han sido muy estudiadas en humedales artificiales como son: *Phragmites australis* Cav. (junco común) y *Typha latifolia* L. (junco), resultando que las especies de plantas sumergidas y que flotan libremente aumentan la eliminación de metales por acumulación, pudiéndose retirar estos metales mediante la recolección de plantas (Scholes et al., 1998, p. 217).

Se ha observado; además, en *P. australis* y *T. latifolia* presentar una baja presencia de contaminantes metálicos en los brotes, y que los valores de Cu y Zn en raíz también estaban en el mismo rango, independientemente del sitio específico de la carga de metal en el sedimento y el agua. Así mismo, han observado que la concentración de los metales pesados Cd y Pb en órganos como las raíces fueron mayores en *P. australis*, y especialmente en *T. latifolia*, que en las especies emergentes *Alisma*, *S. sagittifolia*, *J. effusus*, *L. salicaria* y *P. arundinacea*. Por lo tanto, la alta concentración de metales pesados en raíces puede deberse a una alta biodisponibilidad en el sitio de muestreo y a la eficiencia en la retención de los metales Cd y Pb por la planta. (Scholes et al. 1998, p. 218)

En la Figura 1 se observan que las especies de plantas sumergidas y que flotan libremente aumentan la eliminación de metales por acumulación y los metales se eliminan mediante la recolección de plantas o se inmovilizan en sedimentos con descomposición de las plantas.

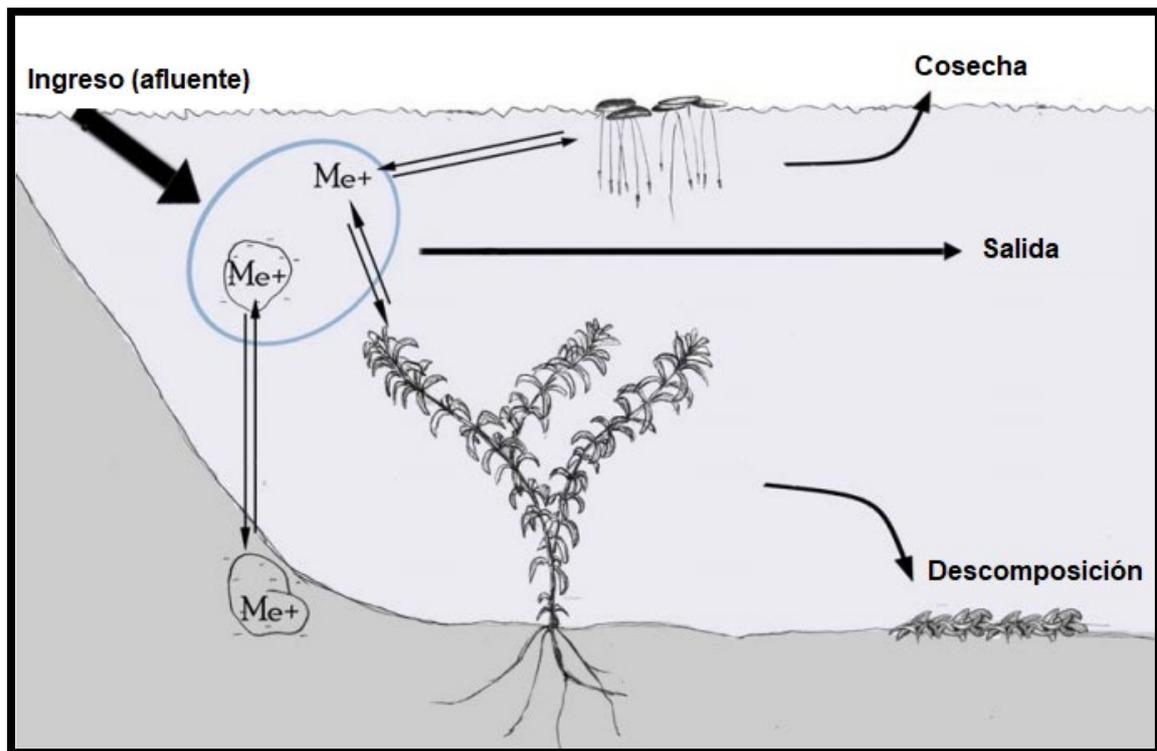


Figura 1. Mecanismos de eliminación de metales por plantas emergentes y flotantes, adaptado de Fritioff (2005, p. 22).

La especie flotante *Lemna minor* (lenteja de agua común) y en particular *Lemna gibba* (lenteja de agua grasa) son las especies que tienden a acumular niveles más altos de Zn, Cu y Cd que otras especies estudiadas. Además, hay otras especies de plantas como *Eichornia crassipes* Mart. (jacinto de agua) y *Spirodela polyrhiza* L. (lenteja de agua mayor) que se han reportado acumulando altas concentraciones de metales (Zayed *et al.*, 1998). Las bondades que se han reconocido en las plantas que flotan libremente son muchas, siendo las principales la rapidez de su crecimiento y su cosecha, siendo aún más fácil que las plantas emergentes (por ejemplo, *Typha domingensis* Pevs., o espadaña de hojas angostas), por lo que se ha concluido que es excelente para la remediación de agua contaminadas. Sin embargo, incluso si llenan su hábitat flotante, tienen una pequeña biomasa en comparación con el volumen total de agua incluso en un estanque poco profundo (Fritioff, 2005, p. 23).

Las especies sumergidas de estanques y humedales suelen acumular altos niveles de metal concentraciones en sus raíces y brotes; Asimismo, se ha evaluado en plantas como *Potamogeton natans* (alga de hoja ancha), encontrándose niveles elevados de metales en raíces y brotes, al igual que en *Potamogeton alpinus* (alga de estanque roja) y especialmente en *Elodea canadensis* (alga de agua canadiense) (Fritioff y Greger, 2001). Otras especies sumergidas, como *Ceratophyllum demersum* L. (Hornwort), *Myriophyllum brasiliense* Camb. (pluma de loro), y *Hippuris vulgaris* L. (cola de caballo), se ha reportado que concentran altas cantidades de elementos metálicos en sus brotes cuando crecen en aguas contaminadas. Los macrófitos acuáticos en los sistemas naturales se cree que depende de la absorción de minerales por la raíz y la translocación al brote para su nutrición. Las mediciones de campo sugieren que los sitios de captación para los iones metálicos difieren según la planta y la especie de metal. Las mediciones directas de *Potamogeton pectinatus* han indicado captación directa de brotes; así, tanto *P. natans* como *E. canadensis*, y posiblemente otros macrófitos de agua dulce sumergidos, obtienen metales directamente a través de sus brotes y, por lo tanto, pueden ser utilizable para la fitorremediación (Fritioff, 2005, p. 3).

III. METODOLOGÍA

3.1.1 Tipo de investigación

La investigación desarrollada fue de tipo aplicada porque a partir de los hallazgos obtenidos en este estudio, se espera la aplicación inmediata o futura en la solución de una problemática. Esta investigación buscó reducir los niveles de plomo aplicando la macrofito *Potamogeton* lo que permitió evidenciar la actividad fitoextractora de la planta, evidenciando un potencial organismo fitorremediador de contaminante metálicos en ecosistema acuáticos. (Vargas, 2009, p.159).

3.1.2 Diseño de investigación

La investigación realizada presentó un diseño experimental puro en donde se manipuló una variable con la finalidad de analizar la respuesta de la otra variable de tipo dependiente, cuya muestra fue tomada al azar y siendo contrastados con un tratamiento control, tal como lo refiere (Hernández-Sampieri y Mendoza 2018, p. 151).

3.1.3 Enfoque y alcance de la investigación

El estudio plantea un enfoque de tipo cuantitativo, en la que se contrastará los resultados obtenidos con los tratamientos realizados, validando cada una de las hipótesis propuestas en la investigación. En cuanto a su nivel, esta investigación es de tipo explicativo por que permitirá explicar los efectos en la planta por exposición a diferentes concentraciones de plomo (Hernández-Sampieri y Torres, 2018, p. 4).

3.2 Variables y operacionalización

Variable independiente: Concentración de plomo.

Variable dependiente : Fitoextracción de *Potamogeton* sp.

3.3 Población, muestra y muestreo

3.3.1 La población

La población de estudio estuvo conformada por las macrófitas existentes en el humedal Albuferas de Medio Mundo (HAMM) de la provincia de Huaura, Lima. Se describe a la población en estudio como “la agrupación total de objetos, o componentes que presentan caracteres comunes en un momento dado”. Según (Hernández-Sampieri y Torres 2018, p.196).

3.3.2 Muestra

La muestra estuvo representada por 15 plántulas de la macrófita *Potamogeton* sp. las que fueron distribuidas en cada unidad experimental, incluyendo al control, tal como lo recomienda (Fritioff, A. y Greger, M. 2006, p. 222).

3.3.3 Muestreo

Fue aplicado un muestreo de tipo no probabilístico por conveniencia, en la que el tamaño de la muestra fue dependiente de los investigadores; además, la muestra fue representativa en todo momento.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas

Se utilizaron de acuerdo a la investigación las técnicas siguientes:

- Observación: A través de ella se pudo establecer las características de fenómenos e interpretación de los mismos obteniendo los datos de las mediciones que fueron registradas en las fichas de recojo de datos.
- Documentación: Porque se utilizó las guías especializadas para la determinación de los parámetros a analizar.
Estas guías permitieron registrar las variaciones de los diferentes parámetros analizados en el transcurso de la ejecución del experimento.

3.4.2 Instrumentos:

Ficha de registro de datos primarios

En esta ficha se registró los valores obtenidos en las distintas mediciones realizadas antes y después de los tratamientos realizados.

Ficha de registro de datos procesados

En esta ficha se registraron los valores transformados de los resultados iniciales (Factor de Bioconcentración, Factor de Traslocación etc.)

3.5 Procedimientos

Obtención del material vegetal y condiciones de aclimatación

Fueron recolectadas las plantas enteras de *Potamogeton* sp. del HAMM (Vegueta, Huaura) en el verano del 2022, siendo los puntos de extracción referenciados en la Figura 2. Las plantas fueron recolectadas siguiendo el Protocolo de muestreo la flora acuática (macrófitos) en ecosistemas acuáticos (Ministerio de agricultura, alimentación y Medio Ambiente, 2013), para lo cual fueron trasladadas al Laboratorio en un frasco dentro de un cooler con hielo. Así también, las muestras prensadas fueron transportadas para su identificación correspondiente por especialistas del Museo de la UNMSM-Lima.

En el Laboratorio cada planta fue limpiada con agua corriente de grifo con la finalidad de eliminar los sedimentos y otras partículas que puedan interferir en la investigación; además serán enjuagadas con agua destilada. Posteriormente, para la búsqueda de la aclimatación de las macrófitas en el laboratorio, fueron colocadas cada 5 plantas en un balde transparente que contendrá 1,0 L de solución nutritiva hidropónica La Molina ®. El ambiente fue habilitado con equipos de iluminación suplementaria que permitieron un radio de horas claras a oscuras de 16:8. La temperatura del agua deberá estar con un promedio de $20 \pm 2,0$ °C, siendo siete días el tiempo máximo de aclimatación de la planta, tal como lo sugiere (Fritioff y Greger 2006, p. 222).

Fue preparada la solución contaminante del metal pesado plomo, a partir de sales de cloruro de plomo (ClPb_2) diluidos en agua desionizada. A su vez, para determinar la concentración del contaminante en los tratamientos fueron seguidas las recomendaciones dadas por Fritioff y Greger (2006, p. 221) preparándose concentraciones de Pb a 2,0; 4,0; 6,0 y 8,0 μM (correspondientes a 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de Pb). (Fritioff y Greger 2006, p. 221)

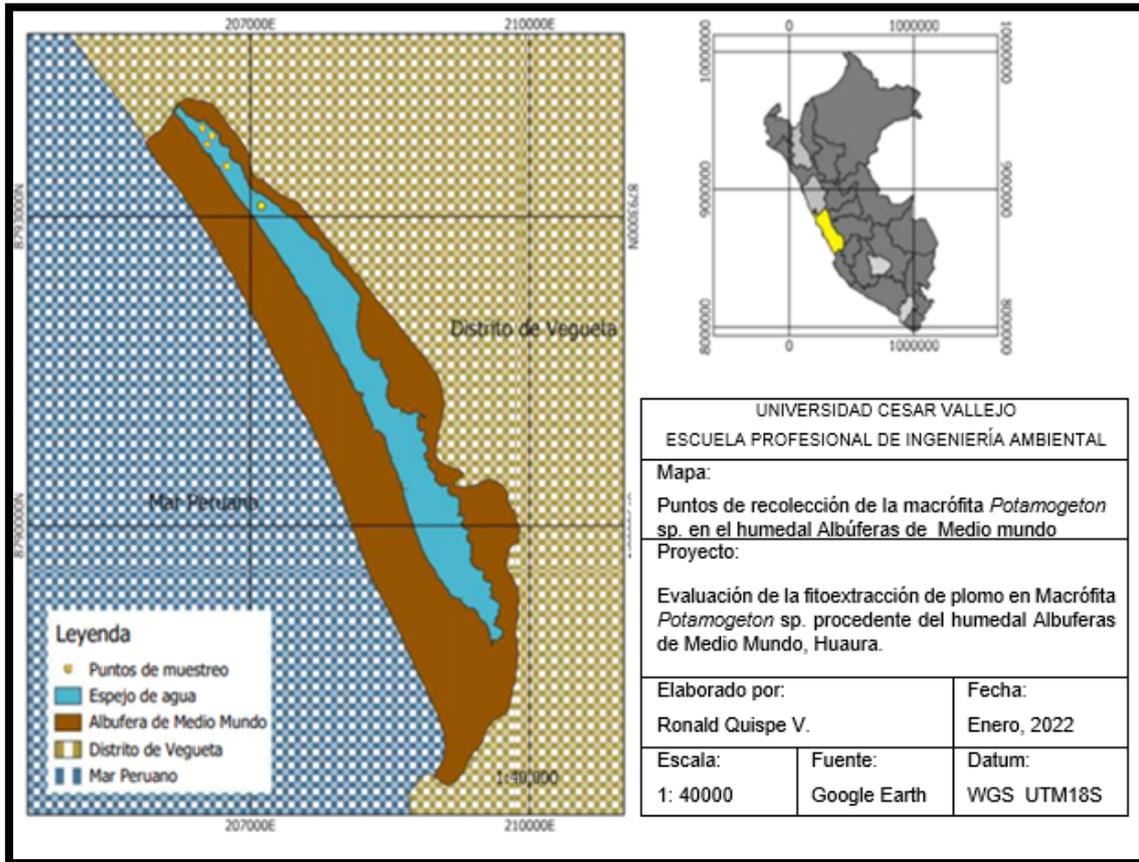


Figura 2. Puntos de recolección de la macrófita *Potamogeton* sp. en el HAMM.



Figura 3. Recolección de las macrófitas Potamogeton sp. en el HAMM.

Configuración de los tratamientos

Se investigó las diferencias entre la absorción del metal en raíces, hojas y tallos, seguido de la translocación del contaminante a otros órganos de la planta, usando para esto el Factor de Bioconcentración (FBC). Para esto se colocó a la planta de tal manera que las hojas, tallos y raíces quede intacta para recoger los metales de recipientes por separado (Figura 3). Los recipientes tuvieron un volumen de 1,0 L y fueron llenados con 0,6 L del medio nutritivo La Molina ® (7 % de concentración) más 0,3 L de la solución de plomo. Cada tratamiento contará con 3 repeticiones. El control estuvo conformado por la planta en medio nutritivo sin solución del contaminante. El medio líquido donde se realizó el experimento estuvo a pH ácido estable.

Determinación del contenido final de plomo

Para la determinación del contenido final del metal se siguió lo propuesto por Demirezen y Aksoy (2004, p. 688), donde las plantas después de los tratamientos, fueron enjuagadas con agua desionizada y secadas a 105 °C durante 24 horas. Posteriormente, se fraccionaron por separado (raíz, tallo y hojas) y se pesaron con una balanza de precisión. Seguidamente se incinerará las partes vegetales molidas en un horno de mufla a 460°C por 24 h, luego la ceniza pesada será digerida en 10 mL de HNO₃ en un tubo de digestión por 2 h a 105 °C. La muestra final fue trasladada a un volumen de 25 ml con HNO₃ (1%) y llevadas a un espectrofotómetro de absorción atómica para determinar la concentración del metal.

Los tratamientos se explican en la Tabla 1. El control y los demás tratamientos estuvieron conformado plantas de *Potamogeton* sp. depositados en contenedores (Taper) con medio nutritivo para suplir de minerales a la macrófita durante el experimento, tal como lo recomienda Miranda y Quiroz (2013, p.153). El control no se le aplicó el metal pesado.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos propuestos en la Investigación

Tratamientos	Descripción
Control	Plantas de <i>Potamogeton</i> sp. + Solución nutritiva (0,6 L)
T1	2,0 µM Pb (0,3 L) + Plantas de <i>Potamogeton</i> sp. +Sol. nutritiva (0,6 L)
T2	4,0 µM Pb (0,3 L) + Plantas de <i>Potamogeton</i> sp. +Sol. nutritiva (0,6L)
T3	6,0 µM Pb (0,3 L) + Plantas de <i>Potamogeton</i> sp. +Sol. nutritiva (0,6L)
T4	8,0 µM Pb (0,3 L) + Plantas de <i>Potamogeton</i> sp. +Sol. nutritiva (0,6L)

Fuente: Elaboración propia.

Unidades experimentales

La investigación estuvo constituida por 12 unidades experimentales más el control. Cada unidad experimental presentó de un sistema de tres contenedores de plástico transparente con capacidad de un litro, el cual albergó diferentes partes de la planta sometidos al contaminante, tal como se puede apreciar en la Figura 4.

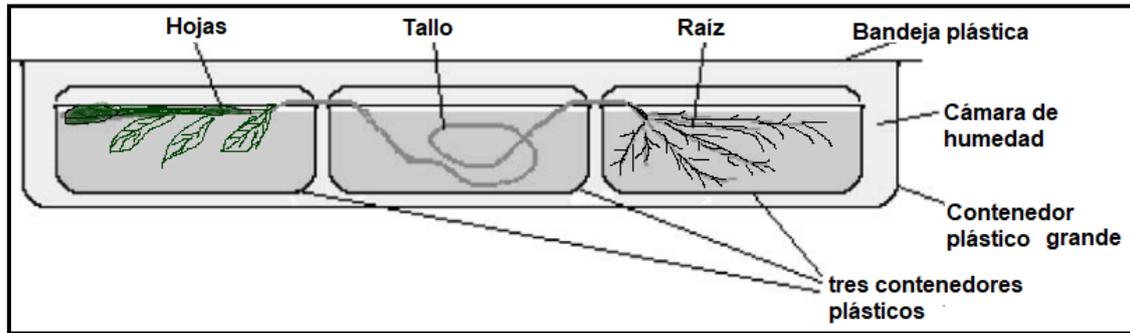


Figura 4. Configuración experimental: sistema de tres contenedores para investigar la absorción del contaminante metálico plomo en diferentes partes de una macrófita intacta. *Fuente:* Adaptado de (Fritioff y Greger 2006, pág. 222).

a. Factor de bioconcentración y factor de traslocación

Para determinar el factor de bioconcentración (FBC) del metal pesado plomo se realizó el cálculo de los valores del contaminante metálico acumulado en los órganos de especie vegetal (raíces y parte aérea) y la concentración de metales pesados del agua, y se denota por la siguiente expresión:

(Zayed et al., 1998, p. 716)

$$FBC = \frac{C \text{ tejido cosechado}}{C \text{ agua}}$$

Dónde:

C: es la concentración de metales en órganos cosechados

C agua: es la concentración de metales pesados en el componente hídrico.

3.6 Método de análisis de datos

Para realizar el análisis descriptivo de los resultados obtenidos (media y desviación estándar) fue utilizado el software Excel. Así mismo, se usó el análisis de la varianza (ANOVA) para determinar la influencia de los tratamientos sobre la concentración de plomo presente en los diferentes órganos de la planta. Además, se aplicó la correlación de Pearson con el objetivo de verificar la asociación que presentan las variables peso seco y el contenido de plomo de la macrofita. Para todas las evaluaciones estadísticas, así como para los gráficos se usó el software SPSSv.26. Para los cálculos inferenciales de los datos recolectados de la investigación se consideró un valor de significancia de $p < 0,05$, tal como lo recomendó (Hernández-Sampieri y Mendoza 2018, pág. 302).

3.7 Aspectos éticos

El presente estudio fue realizado usando bibliografía de diferentes estudios sin generar conflictos de autenticidad; además, el texto está acorde a lo sugerido por el ISO 690 del fondo editorial de la Universidad Cesar Vallejo, donde los autores del material consultado fueron referidos acatando los códigos de ética y los derechos de autor respectivos, tal como lo estipula el reglamento de Investigación de la UCV y que esta refrendada por la documentos oficiales emitidos por el Consejo Universitario N°0126-2017/UCV. Por otro lado, al presente documento que plasma la investigación se le sometió el software anti plagio Turnitin, la que permite comprobar la originalidad del trabajo intelectual.

IV. RESULTADOS

Los resultados obtenidos conforme a los objetivos propuestos en la Investigación se detallan y se muestran en las Tablas y gráficas siguientes. Además, se describe los valores máximos y mínimos registrados en las Tablas. Las diferencias de valores obtenidos fueron determinadas empleando el ANOVA aplicando, posteriormente, el estadístico de Tukey.

Absorción de plomo de los diferentes órganos de la planta *Potamogeton sp*

La concentración de plomo en los distintos tratamientos y órganos de la macrófita *Potamogeton* son mostrados en la Tabla 3. Así la raíz, mostró una máxima concentración promedio de plomo en el tratamiento 4 (T4) con $1,07 \pm 0,06$ mg/kg y menor concentración en el tratamiento 1 (T1) con $0,25 \pm 0,05$ mg/kg. El tallo mostro una máxima concentración promedio en T4 con $0,87 \pm 0,06$ mg/kg y menor concentración promedio en T1 con $0,18 \pm 0,012$ mg/kg. Las hojas presentaron concentraciones máximas en T4 con $1,09 \pm 0,04$ mg/kg y menor concentración en T1 con $0,11 \pm 0,009$ mg/kg. Por otro lado, el control que estuvo conformado por plantas de *Potamogeton sp.* y solución nutritiva, registraron el valor promedio de $0,06 \pm 0,026$ mg/kg de plomo para las raíces, seguido de la concentración en tallo con valor promedio de $0,013 \pm 0,005$ mg/kg para este metal. Mientras que las hojas registraron el valor promedio de $0,004 \pm 0,0005$ mg/kg de plomo. Todas las evaluaciones fueron realizadas a los seis días de exposición del contaminante plomo a *Potamogeton sp.*

Tabla 2. Valores promedio ($\bar{X} \pm D.S$) de la concentración de plomo (mg/kg) en diferentes tratamientos y órganos de *Potamogeton sp.*

Órganos de la planta	Tratamientos				
	Control	T1 ¹	T2 ²	T3 ³	T4 ⁴
Raíz	0,04	0,205	0,358	0,673	1,09
	0,05	0,269	0,403	0,544	1,121
	0,09	0,305	0,550	0,699	0,999
	0,06±0,026	0,25±0,05	0,43±0,10	0,63±0,08	1,07±0,06
Tallo	0,01	0,188	0,220	0,544	0,882
	0,01	0,201	0,231	0,405	0,933
	0,02	0,177	0,420	0,603	0,799
	0,013±0,005	0,18±0,012	0,29±0,11	0,51±0,10	0,87±0,06
Hoja	0,005	0,118	0,200	0,992	1,11
	0,004	0,103	0,199	1,020	1,05
	0,004	0,121	0,210	0,888	1,13
	0,004±0,0005	0,11±0,009	0,20±0,006	0,96±0,06	1,09±0,04

¹T1=0,5 mg/L de Pb.

²T2=1,0 mg/L de Pb.

³T3=1,5 mg/L de Pb.

⁴T4=2,0 mg/L de Pb.

Fuente: Elaboración propia

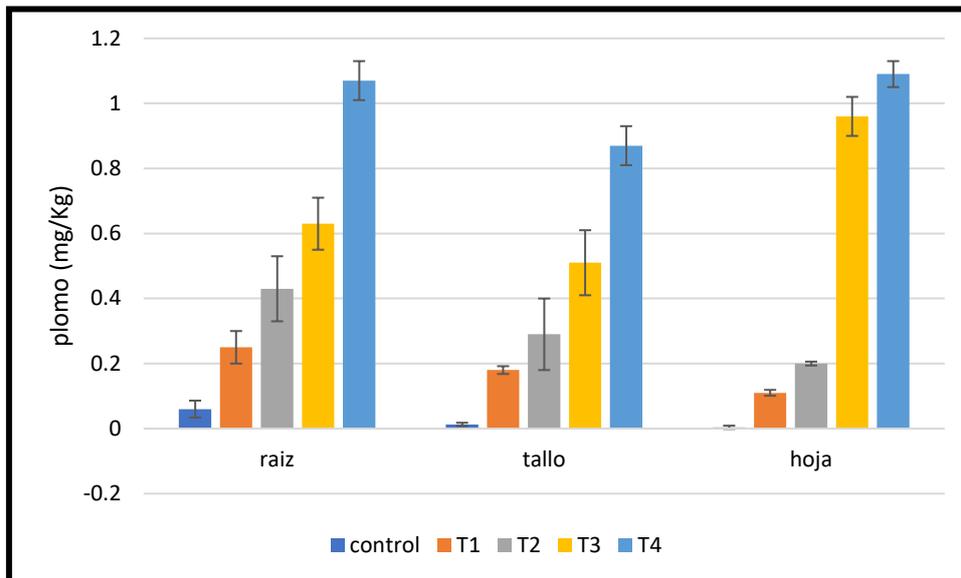


Figura 5. Valores de absorción de plomo en los distintos órganos de la macrófita *Potamogeton sp.*

Los valores de absorción de Pb en los distintos órganos de la macrófita *Potamogeton* sp son observados en la Figura 5. En ella se muestra que mediante el T4 (8,0 μ M Pb + Plantas de *Potamogeton* sp) obtuvo una mayor absorción del contaminante metálico en los tres órganos de la macrófita evaluada (raíz, tallo y hoja), seguida de T3, T2 y T1.

El ANOVA realizada a los valores obtenidos de los distintos tratamientos como factor fijo indicaron que existen diferencias significativas en la captación de plomo por la macrófita *Potamogeton* según la combinación de tratamientos (Anexo 1). El análisis de Tukey mostró una alta variación significativa ($p < 0,05$) en todas las comparaciones de la absorción de plomo con los tipos de tratamientos (Anexo 2). Así mismo, la Figura 6 muestra la concentración de plomo total en cada uno de los órganos de *Potamogeton* sp., observándose que los órganos que concentraron mayor plomo fueron la raíz (2,44 mg/kg y hoja (2,36 mg/kg), no existiendo entre ellas diferencia significativa ($p > 0,05$), mientras que el tallo fue el órgano que concentro menos plomo (1,863 mg/kg), existiendo diferencia significativa ($p < 0,05$) según la prueba de Tukey (Ver Anexo 3).

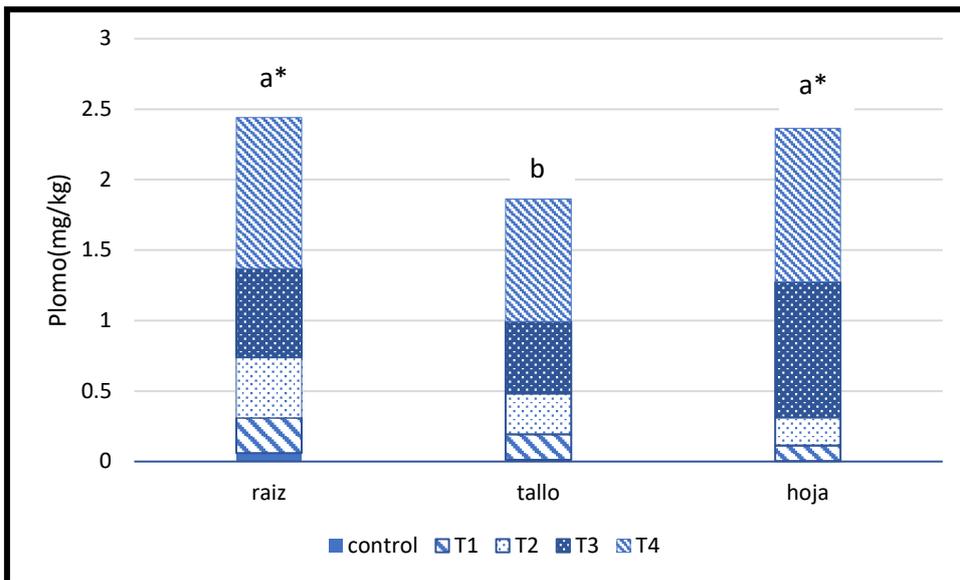


Figura 6. Concentración de plomo (mg/kg) en los distintos órganos de *Potamogeton* sp. Nota: (*) No existe diferencias significativas en letras iguales según la prueba de Tukey.

4.1 Efecto de los tratamientos en el factor de bioconcentración de los diferentes órganos de *Potamogeton sp.*

El factor de bioconcentración (FBC) y Factor de Traslocación (FT) son dos evaluadores que permiten establecer la viabilidad de una planta para ser usada en tareas de remediación de contaminantes metálico, tal como lo menciona Jara-Peña et al. (2017). La Tabla 4 muestra los valores obtenidos en los Factores de bioconcentración (FBC) y Factor de transferencia (FT) después de los tratamientos. En el caso de *Potamogeton sp.*, el valor más alto de factor de bioconcentración (336) se obtuvo en el tratamiento 4, seguido del T3 (175) y T1 (108) y el menor valor fue para T2 (92).

El factor de bioconcentración permite establecer si una especie vegetal es la adecuada para la actividad de fitoextracción (Whitfield et al, 2010, p. 508). Valores superiores a 1 indican una alta concentración del contaminante en la planta.

El factor de transferencia, es el índice que establece la manera de asociar la concentración de los contaminantes metálicos en órganos aéreos con respecto a los órganos basales como la raíz. El factor de transferencia (FT) en el caso de *Potamogeton sp.*, el valor más alto calculado se obtuvo en T3 (2,26), seguido de T4 (1,83), T1 (1,16) y T2 (1,13). Estos resultados se aprecian en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores de los Factores de bioconcentración (FBC) y Factor de transferencia (FT) obtenidos en *Potamogeton* después de los tratamientos.

	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
FBC	108	92	175	336
FT	1,16	1,13	2,26	1,83

Fuente: Elaboración propia.

Biomasa seca de cada órgano de *Potamogeton sp.*

Los valores de biomasa seca de cada órgano se pueden apreciar en la Tabla 5; así la raíces de la macrófita presentó un peso seco mayor en T4 con 272±76,3 mg, mientras que menor peso seco se registró en T2 con 175,3±45,0 mg, seguido de

T1 con $247 \pm 11,23$ mg y T3 con $250,6 \pm 46,4$ mg. Para los tallos de *Potamogeton* se registró un peso seco mayor en T1 con $297 \pm 47,7$ mg, mientras que el menor peso seco se registró en T2 con $244 \pm 43,0$ mg, seguido de T4 con $261,6 \pm 111,1$ mg y T3 con $266 \pm 49,5$ mg. Por otro lado, las hojas registraron un peso seco mayor en T4 con $84,3 \pm 17,2$ mg, a su vez, el menor peso seco se registró en T2 con $46,0 \pm 18,3$ mg, seguido de T1 con $63,66 \pm 7,7$ y T3 con $65,5 \pm 12,6$ mg.

Tabla 4. Valores del peso seco (mg) presente en los órganos del macrófita *Potamogeton* sp. (promedio \pm DS)

Órgano de la planta	Peso seco de <i>Potamogeton</i> sp.			
	T1	T2	T3	T4
Raíz	238	176	255	232
	260	220	295	224
	245	130	202	360
	$247 \pm 11,23$	$175,3 \pm 45,0$	$250,6 \pm 46,6$	$272 \pm 76,3$
Tallo	352	288	299	210
	264	202	290	390
	276	242	209	185
	$297 \pm 47,7$	$244 \pm 43,0$	$266 \pm 49,5$	$261,6 \pm 111,1$
Hoja	55	66	77	65
	66	30	68	90
	70	42	52	98
	$63,66 \pm 7,7$	$46,0 \pm 18,3$	$65,5 \pm 12,6$	$84,3 \pm 17,2$

Fuente: Elaboración propia

El ANOVA para los pesos secos obtenidos muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre diferentes órganos de la macrofita (Anexo 4). El análisis de Tukey presentó 2 subconjuntos diferenciando los valores del peso seco de la hoja con las raíz y tallo (Anexo 5). El Anexo 6 muestra las correlaciones realizadas a los valores del peso seco y la cantidad de Pb capturada por la planta. Se obtuvo una correlación directa ($r = 0,343$; $P = 0,021$) lo que explica una moderada asociación entre los valores de peso seco de la macrófita y la cantidad de plomo retenida en cada uno de los órganos evaluados.

V. DISCUSIÓN

Con respecto a la absorción del metal pesado plomo por la macrófita *Potamogeton sp.* después de los tratamientos se pudo observar y registrar que las concentraciones de plomo acumulada en la macrófita *Potamogeton sp.* fue alto (Ver Figura 6), comparado con los resultados de Homer y Parker (1988), quienes refieren que el máximo contenido total permisible en plantas frescas es de 2 mg/kg, al igual que otras especies acuáticas sugeridas para la captura de metales pesados, tal como lo mencionan Pires-Lira et al. (2020) y Wang et al. (2017) quienes estudiaron la captación de metales pesados por macrófitas como *Panicum acuticum* y *Potamogeton crispus*. La presente investigación encontró que todas los órganos de las macrófitas evaluadas (raíz, tallo y hojas) realizan la captura del metal pesado presente en cada unidad experimental (Tabla1). Esto corrobora hallazgos anteriores de que metales pesados como Zn, Cu, Cd, y Pb son absorbidos directamente por los hojas y raíces de muchas macrófitas como *Nymphaea odorata*, *P. crispus* y *P. pectinatus*, tal como lo refieren (Outridge, 2000 y Wang et al. 2016).

En la presente investigación, a través del análisis post hoc de Tukey se pudo establecer que los valores de plomo fueron significativamente mayores ($p < 0,05$) en órganos como las raíces y hojas que en tallo. Además, las concentraciones de plomo aumentaron significativamente en todos los órganos de la macrófita en presencia de concentraciones crecientes del metal pesado en los medios (Tabla 1 y Figura 5). En los controles, los valores de las concentraciones de plomo de los promedios mínimos y máximos estuvieron de 0,004 a 0,06 mg/kg respectivamente. Después de aumentar las concentraciones de Pb en el medio, las concentraciones del metal en los distintos órganos aumentaron. Similar resultado fue reportado por (Shafaqat et al. 2020) al referir un aumento de plomo en raíces y hojas de *Potamogeton pectinatus* y *Potamogeton malaianus*, al incrementar las concentraciones del metal en la solución bajo condiciones de laboratorio. De igual manera (Fritioff y Greger 2006) obtuvieron resultados similares en la acumulación de plomo en raíces y brotes de *P. natans*. Una posible razón de este aumento sería la alta absorción que realiza cada órgano de la macrófita y esto a su vez estaría relacionada con el volumen que expresa cada parte evaluada. Además, esta

macrófita ha demostrado una alta resistencia a la exposición de este metal, sumado a su fácil crecimiento y cosecha lo convierte en candidato ideal para ser usado en la limpieza de cuerpos de agua contaminados con metales pesados.

Con respecto al factor de bioconcentración (FBC) y el factor de translocación o transferencia (FT) evaluados en la investigación para establecer la viabilidad de las macrófitas y su potencial uso en actividades biorremediadoras como es la fitoextracción de metales pesados (Pandey, 2012). Del análisis y cálculos realizados del factor de bioconcentración para plomo en *Potamogeton* sp. Se consiguieron valores mayores de FBC en el rango de 92 a 336 correspondiente al T2 y T4 respectivamente, estos valores lo ubican como una macrófita que acumula metal en sus tejidos. Además, estos resultados indican que, aunque todos los órganos de la macrófita pueden acumular metales pesados, la capacidad de concentrar metales del medio externo varía entre las partes de la planta. Se ha encontrado significativos aumentos en los valores de concentración de Pb en órganos como la raíz, tallo y hojas. El factor de traslocación hallado fue superior a uno en todos los tratamientos, lo que ubica a la macrófita como una planta hiperacumuladora, tal como lo refiere Jara-Peña et al. (2017). Existen muchos estudios que evidencian este mecanismo en plantas extractoras de metales en cuerpos de agua; así, Pires-Lira et al (2020) analizó la traslocación de plomo de raíces a órganos aéreos de la macrofita *Potamogeton acuticum* evidenciando altos valores en el FT y una alta acumulación en brotes de esta planta. Esta translocación de plomo en *Potamogeton* sp. y *P. acuticum* estaría influenciada por las hojas que al ser generalmente flotantes aumentan la traslocación de agua de la raíz a brotes, generando movilidad de este metal.

Biomasa seca de cada órgano de *Potamogeton sp.*

En la presente investigación se registraron variaciones marcadas entre los pesos secos registrados en los órganos de las plantas ($p < 0,05$); el peso seco del tallo fue el más alto seguido de la raíz y las hojas con valores promedio de $297 \pm 47,7$, $272 \pm 76,3$ y $84,3 \pm 17,2$ mg respectivamente. Estos resultados muestran que hay mayor materia seca en tallos para acumular el metal pesado plomo, tal como lo refiere (Fritioff y Greger 2006), quien reporto valores similares de peso seco en la planta acuática *Potamogeton natans*. Así mismo, Tassi et al. (2008) al evaluar la fitoextracción de contaminantes metálicos con el crecimiento vegetal concluyeron que, el mecanismo de la fitoextracción puede verse mejorado al aumentar la masa seca del órgano y que las parte superiores como las hojas y flores tienden a acumularse en menor medida. En esta investigación se encontró una mayor concentración del contaminante en raíces, lo que hace suponer que la macrófita bioacumula en mayor grado, en las paredes celulares este contaminante, tal como lo sugiere Fernández et al. (2018), quienes estudiaron la fitoextracción de Pb y Zn en las macrófitas *Limnobium laevigatum* y *Ludwigia peploides* durante 4 días. Similares resultados fueron registrados y publicados por (Mishra et al. 2008) en las macrofitas *Eichornia crassipes*, *Lemna minor* y *Spirodela polyrrhiza* que concentraron en raíces más metales pesados. Además, se encontró una asociación directa moderada entre los valores de peso seco de la macrofita y la cantidad de plomo absorbida en cada uno de los órganos evaluados. Por lo que estas macrófitas podrían utilizarse en la eliminación del metal pesado en cuerpos de agua.

Fitoextracción de plomo en la macrófita *Potamogeton sp.*

La evaluación del potencial de fitoextracción de la macrófita *Potamogeton sp.* recolectada del humedal Albúferas de Medio Mundo, las cuales fueron sometidas a cuatro concentraciones del metal pesado plomo (0,5; 1,0; 1,5 y 2,0 mg/L) durante seis días, mostraron una alta concentración significativa ($p < 0,05$) del metal plomo demostrando que, esta macrófita sea una potencial herramienta en la absorción de metales pesados presentes en aguas contaminadas. Rai (2018) realizó

evaluaciones de fitoextracción de metales como Fe, Cu, Zn, Cr y Cd, para lo cual uso las macrófitas *Lemna minor*, *Azolla pinnata* y *Eichornia crassipes* recolectadas de un humedal. Estas plantas fueron creciendo a diferentes concentraciones (1,0; 2,0 y 5,0 mg/L) de metales durante 15 días, obteniendo altas absorciones de los metales, similar a los resultados de esta investigación. Menores tiempos de exposición al contaminante metálico fue reportado por (Fernández et al. 2018); quienes realizaron la fitoextracción de metales como Pb y Zn del agua en cuatro días, obteniendo una variación significativa ($p < 0,05$) de la concentración de plomo en las macrófitas. En este estudio la macrófita *Potamogeton* sp. realizó una acumulación importante de plomo principalmente en raíces y hojas (ver Anexo 3) donde se encontró concentraciones del contaminante muy similares, siendo esta una condición para evaluar la eficiencia de fitoextracción a metales, como lo explica (Fernández et al. 2018); además, esta macrófita toleró dosis altas de Pb lo que la hace eficiente para la absorción de metales en sistemas acuáticos.

VI. CONCLUSIONES

En la presente investigación, se pudo establecer que las concentraciones de plomo fueron significativamente mayores en raíces y hojas que en tallo. Además, las concentraciones de plomo aumentaron significativamente en todos los órganos de la macrófita en presencia de concentraciones crecientes del metal pesado en los medios.

En este estudio se obtuvieron valores mayores del Factor de Bioconcentración en el rango de 92 a 336 correspondiente al T2 y T4 respectivamente, estos valores lo ubican como una macrófita que acumula metal en sus tejidos y a través del factor de traslocación hallado, éste fue superior a 1,0 en todos los tratamientos, lo que ubica a la macrófita como una planta hiperacumuladora.

En la presente investigación se registraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los pesos secos registrados en los distintos órganos de las plantas; el peso seco del tallo fue el más alto seguido de la raíz y las hojas con valores promedio de $297 \pm 47,7$, $272 \pm 76,3$ y $84,3 \pm 17,2$ mg respectivamente. Estos resultados muestran que hay mayor materia seca en tallos para acumular el metal pesado.

En la presente investigación se evaluó la fitoextracción de plomo por la macrófita *Potamogeton sp.* obteniéndose, una acumulación importante de plomo principalmente en raíces y hojas. Además, se encontró concentraciones similares ($p > 0.05$) del metal pesado en ambos órganos y una alta tolerancia al metal por un periodo de seis días, lo que la hace eficiente para la absorción de plomo en sistemas acuáticos.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda ampliar la investigación científica a mayor número de períodos de tiempo que los realizados en el presente estudio para poder evidenciar la absorción total del contaminante en los sistemas acuáticos propuestos.

Se recomienda ampliar la cantidad de criterios utilizados en esta investigación, tales como ciertos parámetros físicos y químicos (Luminosidad, temperatura etc).

Desarrollar la investigación científica considerando otras especies de macrófitas y comparar sus resultados con los obtenidos en esta investigación.

Prestar mucha atención en el manejo de los nutrientes durante el experimento, evitando la precipitación de los mismos y una mala distribución de estos elementos traza en cada unidad experimental.

REFERENCIAS

- Ahmad, S., Reshi A., Shah, M., Rashid, I, Ara, R., Andrabi, S. (2014). Phytoremediation potential of *Phragmites australis* in Hokersar wetland—a Ramsar site of Kashmir Himalaya. *Int J Phytorem* 16:1183–1191.
- Aponte, H. y Ramirez, D. (2011). Humedales de la costa central del Perú: Estructura y amenazas de sus comunidades vegetales. *Ecología Aplicada*. 10(1):31-39.
- Arise, R.O., Aboyewa, J.A. y Osioma, E. (2015). Biochemical changes in *Lumbricus terrestris* and Phytoaccumulation of Heavy Metals from Ugberikoko Petroleum Flow Station Swamps, Delta State, Nigeria. *Nigeria Journal of Basic and Applied Science*. 23(2): 141- 155.
- Carpena, R. y Bernal, P. (2007). Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas*, 16(2): 1-3.
- Demirezen D y Aksoy A. (2004). Accumulation of heavy metals in *Typha angustifolia* (L.) and *Potamogeton pectinatus* (L.) living in Sultan Marsh (Kayseri, Turkey). *Chemosphere*; 56:685–96.
- Fan, J., Xiaodan, W., Weipin, Qiang, y Ma, Z. (2021). Function of restored wetlands for waterbird conservation in the Yellow Sea coast. *Science of The Total Environment*, 756.
- Fritioff, A. y Greger, M. (2001). *Submersed plant species for removal of copper, zinc and lead from stormwater*. Abstract, ICOBTE, 6th International Congress on Biogeochemistry of Trace Elements. Guelph, Canada.
- Fritioff, A. (2005). *Metal accumulation by plants - Evaluation of the use of plants in stormwater treatment*. (Tesis de Doctor en Filosofía), Universidad de Estocolmo, Suecia.
- Fritioff, A. y Greger, M. (2006). Captación y distribución de Z, Cu, Cd y P en una planta acuática *Potamogeton natans*. *Chemosphere*. 63(2): 220-7.
- Gomes, A. y Asaeda, T. (2013) Phytoremediation of heavy metals by calcifying macro-algae (*Nitella pseudoflabellata*): Implications of redox insensitive end products. *Chemosphere*. 92 (10):1328–1334.
- Hapke, H. (1991). Effects of metals on domestic animals. In: Merian E, Ed. *Metals and their compounds in the environment: Occurrence, analysis, and biological relevance*. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, 531–546.
- Hernández-Sampieri, R., y Torres, C. P. M. (2018). Metodología de la investigación (Vol. 4). México. Edit.: McGraw-Hill Interamericana.

- Hinchman, R., Negri, M., Gatliff, E. (1995). Phytoremediation: using green plants to clean up contaminated soil, groundwater, and wastewater. Argonne National Laboratory Hinchman, Applied Natural Sciences Inc, Hamilton.
- Ibrahim, N. y El-Afandi, G. (2020). Phytoremediation uptake model of heavy metals (Pb, Cd and Zn) in soil using Nerium oleander. *Heliyon*, 6 (7).
- Kalavrouziotis, I.K., Carter, J., Varnavas, S.P., Mehr, A. y Drakatos, P.A. (2007). Towards an understanding of the effect of road pollution on adjacent food crops: Zea mays as an example. *International journal of Environment and Pollution*. 30(3/4): 576-592.
- Kahlon, M., Lal, R. and Ann-Varughese M. (2013). Twenty two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio. *Soil & Tillage Research*: 151-158.
- Keser G, Topak Y, Sevgiler Y. (2020). Concentrations of some heavy metal and macroelements in sediment, water, macrophyte species, and leech (*Hirudo sulukii* n. sp.) from the Kara Lake, Adiyaman, Turkey. *Environ Monit Assess*;192(2): 75. doi: 10.1007/s10661-019-8035-6. PMID: 31897783.
- La Rosa, R., A. Flores-Nuñez, M. Chávez, G. Flores, M. Alcalde, H. Zeña, L. Arieta, N. Valderra-ma, C. Huerta y G. Sandoval. (2020). Ecofisiología de *Sarcocornia neei* (Amaranthaceae) proveniente de dos humedales de la costa central de Lima, Perú. *Acta Botanica Mexicana* 127: e1695.
- Li,X. Li, X. Zhang, X. Wang, Z. Cui (2019). Phytoremediation of multi-metal contaminated mine tailings with *Solanum nigrum* L. and biochar/attapulgitic amendments. *Ecotox. Environ. Safe*, 180 (2019), pp. 517-525, 10.1016/j.ecoenv.2019.05.033
- Liu, Ch., Lin, H., Dong, Y., Bing Li. y Liu, Y. (2018). Investigation on microbial community in remediation of lead-contaminated soil by *Trifolium repens* L. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 165: 52-60.
- Lord, B. (1987). Nonpoint source pollution from highway stormwater runoff. *Science of the Total Environment* 59:437–446.
- Madanan, M., Shah, I., Varghese, G. y Kaushal, R. (2021). Application of Aztec Marigold (*Tagetes erecta* L.) for phytoremediation of heavy metal polluted lateritic soil. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*. 3:17-22.
- Mishra, K., Upadhyaya, R., Kumar, P. y Tripathi, B. (2008). Heavy metal pollution induced due to coal mining effluent on surrounding aquatic ecosystem and its management through naturally occurring aquatic macrophytes. *Bioresource Technology*,99: 930–936.
- Miranda, M.G., & Quiroz, A.. (2013). Efecto del fotoperiodo en la remoción de plomo por *Lemna gibba* L. (Lemnaceae). *Polibotánica*, (36), 147-161.

- O'Brien, J.M., Lessard, J.L., Plew, D., Graham, S.E., McIntosh, A.R., (2014). Aquatic macrophytes alter metabolism and nutrient cycling in lowland streams. *Ecosystems*: 17: 405-417. <https://doi.org/10.1007/s10021-013-9730-8>.
- Ortiz-Cano, H., Trejo- Calzada, R., Valdez-Cepeda, R., Arreola-Avila. J., Flores-Hernández, A. y López-Ariza, B. (2009). Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (*Amaranthus hybridus* L.) y micorrizas. *Revista Chapingo* 15 (2) 161-168.
- Pettersson, T.J.R., German, J., Svensson, G., (1999). Pollutant removal efficiency in two stormwater ponds in Sweden. In: Proceedings of the Eighth International Conference on Urban Storm Drainage, Sydney, Australia, 30 August–3 September 1999, vol. 2, pp. 866– 873.
- Pires-Lira, M., De Castro, E., Lira, J., De Oliveira, C., Pereira, F., y Pereira, M. (2020). Potential of *Panicum aquaticum* Poir. (Poaceae) for the phytoremediation of aquatic environments contaminated by lead. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 193.
- Rai, K. (2018). Heavy metal phyto-technologies from Ramsar wetland plants: green approach Prabhat. *Chemistry and Ecology*, 34 (8): 786–796.
- Rakhshaei, R., Khosravi M, Ganji M. (2006) Kinetic modeling and thermodynamic study to remove Pb(II), Cd(II), Ni(II) and Zn(II) from aqueous solution using dead and living *Azolla filiculoides*. *J Hazard Mater* 134:120–129.
- Reitsema RE, Meire P, Schoelynck J. (2018). The Future of Freshwater Macrophytes in a Changing World: Dissolved Organic Carbon Quantity and Quality and Its Interactions With Macrophytes. *Front Plant Sci.* 14; 9: 629. doi: 10.3389/fpls.2018.00629. PMID: 29868084; PMCID: PMC5960680
- Rivera, P., Rivera, Jesús., Andrade, E., Heyer, L., Garza, F. y Castro, B. (2018). Bioestimulación y biorremediación de recortes de perforación contaminados con hidrocarburos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(2): 249-262.
- Samecka-Cymerman, A, Kempers, A.J. (2004) Toxic metals in aquatic plants surviving in surface water polluted by copper mining industry. *Ecotoxicol Environ Safe.* 59: 64–9.
- Sarwar, N., Imran, M., Shaheen, S., Ishaq, W., Kanram, A. y Hussain, S. (2016). Estrés ambiental individuales y concurrentes en las plantas: consecuencias, mecanismos de tolerancia y estrategias de mitigación. *Quimiosfera.* 171.

- Sarwar N, Imran M, Shaheen MR, Ishaque W, Kamran MA, Matloob A, Rehim A, Hussain S. (2017). Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: Modifications and future perspectives. *Chemosphere*. doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.12.116. Epub 2016 Dec 23. PMID: 28061428.
- Scholes, L., Shutes, R., Revitt, D., Forshaw, M. y Purchase, D. (1998). The treatment of metals in urban runoff by constructed wetlands. *Science of the Total Environment*. 214: 211–219.
- Steliga, T. y Kluk, D. (2020). Application of *Festuca arundinacea* in phytoremediation of soils contaminated with Pb, Ni, Cd and petroleum hydrocarbons. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 194.
- Tassi, E., Pouget, J., Petruzzelli, G. y Barbieri, M. (2008). The effects of exogenous plant growth regulators in the phytoextraction of heavy metals. *Chemosphere*, 71: 66-73.
- Upadhyay, A.; Singh, N. y Rai, U. (2014). Comparative metal accumulation potential of *Potamogeton pectinatus* L. and *Potamogeton crispus* L.: Role of enzymatic and non-enzymatic antioxidants in tolerance and detoxification of metals, *Aquatic Botany*, 117, 27-32.
- Vargas Cordero, Zoila Rosa (2009). La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación*, 33 (1),155-165.[fecha de Consulta 16 de Abril de 2022]. ISSN: 0379-7082. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44015082010>
- Wang, Y., Meng, D., Fei, L., Dong, Q., Wang, L. (2019). A novel phytoextraction strategy based on harvesting the dead leaves: Cadmium distribution and chelator regulations among leaves of tall fescue, *Science of The Total Environment*, 650 (2): 3041-3047.
- Whitfield, M., Lunney, A., Rutter, A., and Zeeb, B.A. (2010). Effects of amendments on the uptake and distribution of DDT in *Cucurbita pepo* ssp *pepo* plants. *Environ. Pollut.* 158: 508-513.
- Yadav K.K., Gupta N., Kumar A., Reece L.M., Singh N., Rezanian S., y Khan S.A. (2018). Mechanistic understanding and holistic approach of phytoremediation: A review on application and future prospects. *Ecol Eng.* 120, 274-298.
- Yoon, J., Cao, X., Zhou, y Ma, L.Q. (2006). Accumulation of Pb, Cu and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of the Total Environment*, 368: 456- 464
- Zayed, A. y Norman T. Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: I. *Journal of Environmental Quality*; 27, 3: 715-721

ANEXOS

Anexo N°1: Análisis de varianza de los tratamientos y la absorción de plomo

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: plomo

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	6,398 ^a	14	0,457	116,804	0,000
Interceptación	9,061	1	9,061	2315,987	0,000
Tratamientos	5,862	4	1,465	374,548	0,000
Organo	0,120	2	0,060	15,377	0,000
Tratamientos *	0,416	8	0,052	13,288	0,000
Organo					
Error	0,117	30	0,004		
Total	15,577	45			
Total corregido	6,515	44			

a. R al cuadrado = ,982 (R al cuadrado ajustada = ,974)

Anexo 2: Pruebas de Tukey a la concentración de plomo tomando en cuenta la variación de los tratamientos

Concentración de plomo

Tratamientos	N	Subconjunto				
		1	2	3	4	5
control	9	0,02589				
Tratamiento 1	9		0,18744			
Tratamiento 2	9			0,31011		
Tratamiento 3	9				0,70756	
Tratamiento 4	9					1,01267
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Anexo 3: Prueba de Tukey de la concentración de plomo teniendo en cuenta la variación el órgano de la planta

Concentración de plomo

Organo	N	Subconjunto		Sig.
		1	2	
tallo	15	,37620		
hoja	15			0,47693
raíz	15			0,49307
Sig.		1,000		0,762

.

.

Anexo 4: Análisis de la varianza para los pesos secos de la *macrófita Potamogeton sp*

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Peso seco

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	566463,244 ^a	14	40461,660	20,164	0,000
Interceptación	1034518,422	1	1034518,422	515,546	0,000
Tratamientos	273527,911	4	68381,978	34,078	0,000
Organo	228165,511	2	114082,756	56,853	0,000
Tratamientos * Organo	64769,822	8	8096,228	4,035	0,002
Error	60199,333	30	2006,644		
Total	1661181,000	45			
Total corregido	626662,578	44			

**Anexo 5: Prueba de Tukey de los pesos secos teniendo en cuenta la
variación el órgano de la planta**

Peso_seco

Organo	N	Subconjunto	
		1	2
hoja	15	51,9333	
raíz	15		189,1333
tallo	15		213,8000
Sig.		1,000	0,302

**Anexo 6: Correlaciones entre peso seco y cantidad de plomo absorbida
por *Potamogeton sp***

Correlaciones

		plomo	Peso_seco
plomo	Correlación de Pearson	1	0,343*
	Sig. (bilateral)		0,021
	N	45	45
Peso_seco	Correlación de Pearson	0,343*	1
	Sig. (bilateral)	0,021	
	N	45	45

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

INFORME DE ENSAYO N°220660 CON VALOR OFICIAL

Razón Social : RONALD QUISPE VALLEJO
 Domicilio Legal : Reservado para el cliente
 Solicitado por : RONALD QUISPE VALLEJO
 Referencia : Cotización N° 00339-22
 Proyecto : EVALUACIÓN DE LA FITOEXTRACCIÓN DE PLOMO EN MACRÓFITA
 POTAMOGETON SP PROCEDENTE DEL HUMEDAL ALBÚFERS DE MEDIO
 MUNDO
 Procedencia : HUAURA-LIMA
 Muestreo Realizado por : EL CLIENTE
 Cantidad de Muestra : 8
 Producto : Planta
 Fecha de Recepción : 12/02/2022
 Fecha de Ensayo : 12/02/2022 al 17/02/2022
 Fecha de emisión : 17/02/2022

I. Resultados

Código de Laboratorio	220660
Código del cliente	S01
Fecha del muestreo	03/02/2022
Hora de Muestreo	10:00
Ubicación geográfica	No consigna
Tipo de producto	Planta

Lugar de ensayo (Laboratorio Instrumental)				
Tipo de Ensayo	Unidad	Códigos	L.C.M	Resultado
Metales (ICP-AES) PESO SECO				
Plomo	mg/kg	220660-01	0,004	0,188
		220660-02		0,220
		220660-03		0,544
		220660-04		0,882
		220660-05		0,201
		220660-06		0,231
		220660-07		0,405
		220660-08		0,933

II. Métodos y Referencias

Tipo de Ensayo	Norma Referencia	Título
Laboratorio Instrumental		
Metales (ICP-AES)	EPA Methods 200.7 Rev. 4.4 1994// EPA Method 3050-B Rev. 02.1994	Determination of Metals and trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Atomic Emission Spectrometry ICP-OES.


 Ing. Felipe Cárminos Y.
 Jefe de Laboratorio
 CEP N° 136871

Los resultados presentados corresponden únicamente a la muestra recibida, según el sistema de control de calidad implementado. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto. El número de muestra de la muestra de la cual el laboratorio emite el informe es el número de laboratorio. El número de muestra del cliente de ensayo, antes de llegar al laboratorio, es el número de muestra de laboratorio de la muestra antes de ser recibida en las instalaciones del laboratorio. Este número de muestra debe ser incluido en el informe de resultados. Para cualquier duda o comentario, favor de comunicarse con el laboratorio.

** FIN DEL INFORME **

Anexo 8: Ficha de recolección de datos				
Fecha	20 febrero del 2022			
Nombre	Ronald Jyonatan Quispe Vallejo			
Título de la investigación	Evaluación de la fitoextracción de plomo en macrófita <i>Potamogeton</i> sp. procedente del humedal Albuferas de Medio Mundo, Huaura.			
Lugar: Laboratorio	Enviromental Testing Laboratory S.A.C (acreditado por INACAL)			
RESULTADOS				
órgano de la planta	Ficha de registro de datos primarios			
	Concentración de plomo en planta			
	T1	T2	T3	T4
Raíz	0,205	0,358	0,673	1,09
	0,269	0,403	0,544	1,121
	0,305	0,550	0,699	0,999
Tallo	0,220	0,188	0,544	0,882
	0,231	0,201	0,405	0,933
	0,420	0,177	0,603	0,799
Hoja	0,118	0,200	0,992	1,11
	0,103	0,199	1,020	1,05
	0,121	0,210	0,888	1,13

Anexo 9: Ficha de registro de datos procesados
Peso Seco (mg) de *Potamogeton sp* por cada órgano

Órgano de la planta	Peso seco de <i>Potamogeton sp</i> .			
Raíz	T1	T2	T3	T4
	238	176	255	232
	260	220	295	224
	245	130	202	360
Tallo	352	288	299	210
	264	202	290	390
	276	242	209	185
Hoja	55	66	77	65
	66	30	68	90
	70	42	52	98

Anexo 10

FICHA: ficha de recojo de datos



CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y nombre: Solorzano Vallejo Richard Ivan
 1.2. Cargo e institución donde labora: Jefe - (ODES) del (OEFA) - VRAEM
 1.3. Especialidad del validador: Biología ambiental
 1.4. Nombre del instrumento y finalidad de su aplicación:
Ficha de registro de datos primarios y ficha de registro de datos procesados, que tiene como finalidad registrar valores obtenidos y valores transformados de los resultados.
 1.5. Título de la investigación:
Evaluación de la fitoextracción de plomo en macrófita Potamogeton sp. procedente del humedal colbuferas de medio mundo, Huaura.
 1.6. Autor del instrumento: Quispe Vallejo, Ronald Jyonatan

II. ASPECTOS DE EVALUACIÓN:

CRITERIOS	INDICADORES	Deficiente 00 - 20 %	Regula 21- 40%	Buena 41-50%	Muy buena 61- 80%	Excelente 81 - 100 %
1. Claridad	Esta formulado con lenguajes apropiado y específico					98
2. Objetividad	Esta adecuado a las leyes y principio científico					93
3. Actualidad	Esta adecuado a los objetivos y a las necesidades reales de la investigación					95
4. Organizaciones	Existe una organización lógica					96
5. Suficiencia	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales					94
6. Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias					94
7. Consistencia	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos					98
8. Coherencia	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores					98
9. Metodología	La estrategia responde a una metodología y diseño experimental es de tipo cuantitativo para lograr probar las hipótesis					98
10. Pertinencia	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico					94
Promedio						95.8
Promedio de valoración						96

III promedio de valoración: 96 %

IV opinión de aplicabilidad

- El instrumento puede ser aplicado, tal como está elaborado (X)
 El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado ()

Lugar y fecha: Lima, 24 de marzo del 2022

Firma del experto informante:

DNI: 40708732

Teléfono: 990 483 834



Anexo 11

FICHA: ficha de recojo de datos



CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y nombre: Solorzano Vallejo Carlos Manuel
 1.2. Cargo e institución donde labora: Dirección de Proyectos - Dirección Regional de Construcción
 1.3. Especialidad del validador: Medio Ambiente y Recursos Hídricos
 1.4. Nombre del instrumento y finalidad de su aplicación:
Ficha de registro de datos primarios y ficha de registro de datos procesados, que tiene su finalidad registrar valores obtenidos y valores transformados de los resultados
 1.5. Título de la investigación:
Evaluación de la fitoextracción de plomo en macrofitas Potamogeton sp. procedente del humedal Albufejos de Medio Mundo, Huaura
 1.6. Autor del instrumento: Quispe Vallejo, Ronald Lyonatan

II. ASPECTOS DE EVALUACIÓN:

CRITERIOS	INDICADORES	Deficiente 00 - 20 %	Regula 21- 40%	Buena 41-60%	Muy buena 61- 80%	Excelente 81 - 100 %
1. Claridad	Esta formulado con lenguajes apropiado y específico					98
2. Objetividad	Esta adecuado a las leyes y principio científico					92
3. Actualidad	Esta adecuado a los objetivos y a las necesidades reales de la investigación					95
4. Organizaciones	Existe una organización lógica					97
5. Suficiencia	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales					93
6. Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias					93
7. Consistencia	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos					96
8. Coherencia	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores					97
9. Metodología	La estrategia responde a una metodología y diseño experimental es de tipo cuantitativo para lograr probar las hipótesis					97
10. Pertinencia	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico					96
Promedio						95.4
Promedio de valoración						95

III promedio de valoración: 95 %

IV opinión de aplicabilidad

- El instrumento puede ser aplicado, tal como está elaborado (X)
 El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado ()

Lugar y fecha: Lima, 27 de marzo del 2022

Firma del experto informante:

DNI: 28304766

Teléfono: 996 887 649



Anexo 12

FICHA: ficha de recojo de datos



CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y nombre: Mestas Valero Roger Manuel
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente UCSJ - UNFFSC
 1.3. Especialidad del validador: Ingeniero Agrónomo
 1.4. Nombre del instrumento y finalidad de su aplicación: Ficha de registro de datos primarios y ficha de registro de datos procesados, que tiene por finalidad registrar valores obtenidos
 1.5. Título de la investigación: Evaluación de la fitoextracción de plomo en macrofitas potamoquilon sp. procedentes del humedal Albiferas de Medio mundo, Iquitos.
 1.6. Autor del instrumento: Quispe Vallejo, Ronald Jonathan

II. ASPECTOS DE EVALUACIÓN:

CRITERIOS	INDICADORES	Deficiente 00 - 20 %	Regula 21-40%	Buena 41-60%	Muy buena 61-80%	Excelente 81 - 100 %
1. Claridad	Esta formulado con lenguajes apropiado y específico					95
2. Objetividad	Esta adecuado a las leyes y principio científico					95
3. Actualidad	Esta adecuado a los objetivos y a las necesidades reales de la investigación					96
4. Organizaciones	Existe una organización lógica					90
5. Suficiencia	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales					98
6. Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias					99
7. Consistencia	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos					90
8. Coherencia	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores					94
9. Metodología	La estrategia responde a una metodología y diseño experimental es de tipo cuantitativo para lograr probar las hipótesis					90
10. Pertinencia	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico					90
Promedio						93.7
Promedio de valoración						94

III promedio de valoración: 94 %

IV opinión de aplicabilidad

El instrumento puede ser aplicado, tal como está elaborado (X)

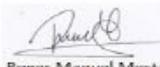
El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado ()

Lugar y fecha: Lima, 24 de marzo del 2022

Firma del experto informante

DNI: 23842285

Teléfono: 957772641


 Ing. Roger Manuel Mestas Valero
 CIP: 40630

Anexo 13: Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Variable independiente Metal pesado Plomo	El metal pesado plomo es un elemento ubicuo y tiende a bioacumularse en diferentes plantas hasta concentrarse a niveles tóxicos (Ortiz-Cano et al 2009, p 162)	Se refiere a las diferentes concentraciones del metal pesado plomo que se adicionara en cada tratamiento de la investigación (Fritioff y Greger, 2006, p 221)	Dosis de plomo	1: 0,5 mg/L 2: 1,0 mg/L 3: 1,5 mg/L 4: 2,0 mg/L (Fritioff y Greger, 2006, p 221)	Razón
Variable dependiente Fitoextracción en Macrófita	La fitoextracción es la fitorremediación más importante para la eliminación de metales y metaloides de suelos, agua, biosólidos y sedimentos (Sarwar et al., 2017, p 714)	Se refiere a los registros de absorción de plomo por la mácrofita y la evaluación de esta a través de los factores de bioconcentración y traslocación del metal	<ul style="list-style-type: none"> • Absorción de plomo • Factor de bioconcentración • Factor de Traslocación (Sarwar et al., 2017)	<ul style="list-style-type: none"> • $\mu\text{g/g}$ de plomo en órganos de la macrófita • Índices de bioconcentración • Índices de Traslocación. (Autor9, año1, p. N3)	Razón Razón Razón

Anexo 14: Cronograma de ejecución

La investigación constara de las siguientes etapas:

Tabla
Etapas y cronograma de ejecución (2022)

Etapas	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Revisión Bibliográfica	X	X	X	X		
Presentación del proyecto	X					
Obtención de materiales e insumo	X	X				
Ejecución de tratamientos		X				
Toma de datos evaluación		X	X			
Preparación del borrador de tesis				X	X	
Sustentación de tesis						X

Fuente: Elaboración propia

Anexo 15: Financiamiento del proyecto

Tabla

Financiamiento del proyecto

MATERIAL	CANTIDAD	COSTO
Bandejas plásticas	15	300.00
Cooler	01	150.00
Galoneras	05	25.00
Agua desionizada	50 L	250.00
Ácido nítrico	01 L	300.00
Bolsas ziploc	50 unid.	40.00
Servicio de empastado		200.00
Análisis de plomo	48	1440.00
Papelería		100.00
TOTAL		2,805.00

Fuente: Elaboración propia