

## POTENCIAL DE FITORREMIEDIACIÓN DEL MATECLO (*Hydrocotyle ranunculoides* L.f.) EN AGUAS CONTAMINADAS CON METALES PESADOS DE LA QUEBRADA PACCHANTAY

PHYTOREMEDIATION POTENTIAL OF MATECLO (*Hydrocotyle ranunculoides* L.f.) IN WATERS CONTAMINATED WITH HEAVY METALS OF THE PACCHANTAY STREAM

Raquelina Vera Damián<sup>1</sup>  Carolina Soto Carrión<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de los Andes, Abancay, Perú

### Correspondencia:

Dra. Carolina Soto Carrión  
csotoc@utea.edu.pe

**Como citar este artículo:** Vera, R., & Soto, C. (2024). Potencial de fitorremediación del mateclo (*Hydrocotyle Ranunculoides* L.f.) en aguas contaminadas con metales pesados de la quebrada pacchantay. *Hatun Yachay Wasi*, 3(1), 86 – 97. <https://doi.org/10.57107/hyw.v3i1.60>

### RESUMEN

Esta investigación determinó la capacidad fitorremediadora de *Hydrocotyle ranunculoides* L.f. en aguas contaminadas por metales pesados (Cu, Mn y Al) en la quebrada Pacchantay. Se realizó muestreo puntual de agua contaminada. La especie fue adaptada en un sistema hidropónico durante un mes, recibiendo nutrición semanalmente con solución de macro y micronutrientes. Se definieron un grupo control, que recibió agua de clorada y tres grupos, 5 L. cada uno de agua contaminada. Se agregaron 20 unidades de *Hydrocotyle ranunculoides* L.F. a cada cubeta, y se llevó a cabo la fitorremediación durante un mes. Se determinó la concentración de metales pesados (Espectroscopía de Absorción Atómica) en agua y plantas antes y después del proceso de fitorremediación. Se realizó prueba de Tukey con nivel de significancia estadística  $p < 0,05$ . La raíz presentó la mayor concentración pre y postratamiento para todos los metales. Después del tratamiento, las concentraciones de metales disminuyeron en hoja, raíz y tallo con diferencia significativa según partes de la planta, tratamientos y metales. La mayor capacidad fitorremediadora de la especie en orden decreciente fue para el Cu (98,97 %) > Mn (73,01 %) > Al (59,40 %). La planta acuática *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. posee un buen potencial de fitorremediación.

**Palabras clave:** *Hydrocotyle ranunculoides* L. f., fitorremediación hidropónica, metales pesados, contaminación, agua

### ABSTRACT

This research determined the phytoremediation capacity of *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. in waters contaminated by heavy metals (Cu, Mn, and Al) in the Pacchantay stream. Spot sampling of contaminated water was carried out. The species was adapted in a hydroponic system for a month, receiving nutrition weekly with macro- and micronutrient solutions. A control group was defined, which received dechlorinated water and three groups, 5 L. each of contaminated water. 20 units of *Hydrocotyle ranunculoides* L.F. were added. to



each bucket, and phytoremediation was carried out for one month. The concentration of heavy metals was determined (Atomic Absorption Spectroscopy) in water and plants before and after the phytoremediation process. The Tukey test was performed with statistical significance level  $p < 0.05$ . The root presented the highest pre- and post-treatment concentration for all metals. After treatment, metal concentrations decreased in leaf, root and stem with a significant difference depending on parts of the plant, treatments, and metals. The greatest phytoremediation capacity of the species in decreasing order was for Cu (98.97 %) > Mn (73.01 %) > Al (59.40 %). The aquatic plant *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. It has good phytoremediation potential.

**Keywords:** *Hydrocotyle ranunculoides* L. f., hydroponic phytoremediation, heavy metals, contamination, water

## INTRODUCCIÓN

Los metales pesados, dada su naturaleza no biodegradable, representan un considerable riesgo para la vida humana y acuática. Incluso en concentraciones bajas en las fuentes de agua, tienen la capacidad de acumularse y magnificarse biológicamente, planteando una amenaza para la vida humana y acuática (Mokarram et al., 2020; Sharma et al., 2021). Estos agentes contaminantes, caracterizados por su notable estabilidad y escasa degradabilidad, ingresan al ecosistema, generando impactos, tanto en las fuentes de agua superficiales como en las subterráneas. El aumento en la demanda de agua y la disminución de sus suministros, juntamente con actividades perjudiciales para el medio ambiente, subrayan la importancia de monitorear la calidad del agua, principalmente en lo que respecta a las reservas destinadas al consumo humano (Mokarram et al., 2020).

Aunque no existe una definición precisa para los metales pesados, se los reconoce como aquellos que tienen una densidad específica superior a  $5 \text{ g/cm}^3$ ; entre ellos se incluyen arsénico, plomo, cromo, mercurio, cobalto, cadmio, níquel y selenio. Las fuentes de contaminación del agua por estos metales se pueden clasificar, de manera general, en dos categorías: naturales y antropogénicas (Sharma et al., 2021). La contaminación antropogénica del ambiente por metales pesados puede ocurrir a

través de diversos medios, tales como minería, riego de tierras agrícolas con aguas residuales no tratadas y efluentes industriales, quema de carbón, utilización de fertilizantes y desechos farmacéuticos; así como, instalaciones de reciclaje (Hama et al., 2023; Sharma et al., 2021).

La fitorremediación, una estrategia ampliamente adoptada, económica y respetuosa con el medio ambiente, se fundamenta en la utilización de plantas para eliminar contaminantes. Sin embargo, en este proceso, las plantas tienen la capacidad de absorber cantidades significativas de metales tóxicos, lo cual podría ocasionar la contaminación de cultivos destinados a la alimentación. Además, cabe destacar que esta técnica demanda un periodo de tiempo más prolongado, para eliminar de manera efectiva los metales perjudiciales de las fuentes ambientales contaminadas, como el agua, el aire y el suelo (Da Silva et al., 2017; Sharma et al., 2021).

Las plantas macrófitas acuáticas se distribuyen por todo el mundo en diferentes ambientes y tienen varias características favorables para la acumulación de elementos y, en consecuencia, para su uso en fitorremediación. Es por ello, Demarco et al. (2018) evaluaron el potencial fitorremediador natural del *Hydrocotyle ranunculoides* L., macrófita acuática flotante ubicada en un ambiente acuático

contaminado en el sur de Rio Grande do Sul, Brasil, concluyendo que posee una capacidad para fitoextraer P, Na y As, es decir, mostró capacidad de absorber estos elementos del agua y translocarlos a los brotes de las plantas; siendo que, el mayor potencial de biorremoción de esta planta fue para K, Ca, P, Fe y Al.

En este mismo contexto, Raza et al. (2023), investigaron la capacidad de las plantas nativas para llevar a cabo la fitorremediación de aguas residuales domésticas e industriales, tanto de manera individual como en combinación. Concluyeron que los experimentos con *Lemna gibba*, *Lemna minor* e *Hydrocotyle umbellata* lograron una eliminación completa (100 %) y un 81 % del plomo (Pb) presente en aguas residuales industriales, respectivamente. Asimismo, el tratamiento con *Alternanthera philoxeroides* logró una remoción total del Pb y Zn de las aguas residuales domésticas. Respecto al zinc (Zn) en aguas residuales industriales, la eliminación alcanzó el 81 % con *Hydrocotyle umbellata* con tratamientos combinados. Adicionalmente, el tratamiento con *Pistia stratiotes* resultó en una eliminación del 88 % y 77 % de cloruro en aguas residuales industriales y domésticas, respectivamente. En comparación con otros tratamientos, *Alternanthera philoxeroides* exhibió el mayor potencial de fitorremediación.

De acuerdo con el monitoreo participativo de la calidad del agua realizado en la cuenca del Río Pachachaca (ANA, 2017), según el Informe Técnico N° 016-2017-ANA-AAA.PA-SDGCRH, los resultados de análisis del agua de la quebrada Pacchantay, la cual está hidrográficamente vinculada a esta cuenca fueron: oxígeno disuelto (4.56 mgO<sub>2</sub>/L), pH (3.54), aluminio (12.17 mg/L), cobre (21.63 mg/L) y manganeso (0.679 mg/L). La razón de estos resultados se atribuye a los pasivos ambientales generados por la actividad minera; así como, a las prácticas de minería informal e ilegal llevadas a cabo en la parte alta de esta quebrada.

Dada la alta concentración y diversidad de contaminantes presentes en el curso de la quebrada Pacchantay, con posibles repercusiones en la salud humana; así como, en la flora y fauna, este estudio evaluó la capacidad fitorremediadora de la planta acuática *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. en aguas contaminadas por metales pesados en la quebrada Pacchantay.

## MATERIALES Y MÉTODOS

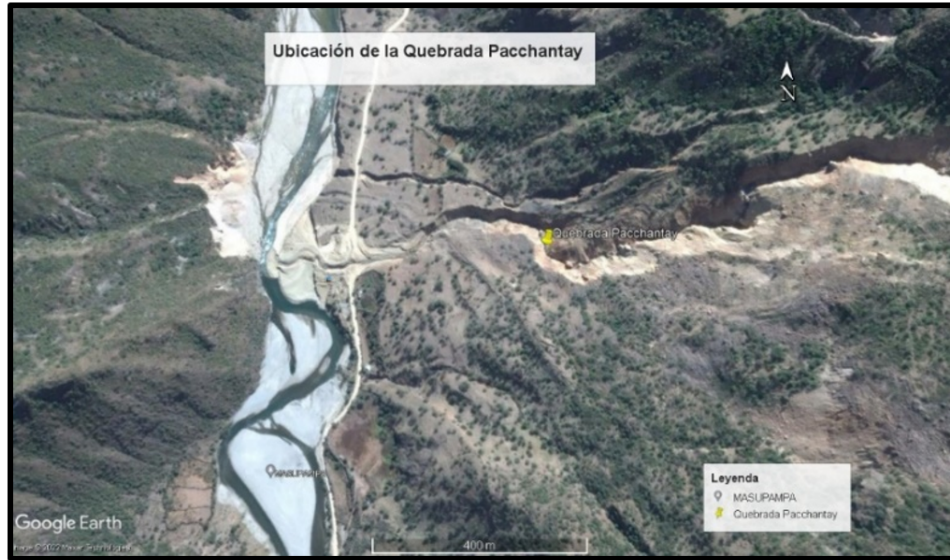
Este estudio tuvo un diseño cuasiexperimental. La población de estudio fue la quebrada Pacchantay, situada en el Distrito de Tapairihua, Provincia de Aymaraes, Apurímac (Fig.1), la cual se encuentra ubicada en las coordenadas iUTMi Estei 700554i, Nortei 8432839i, a una altitud de 2619 m s. n. m. i Hidrográficamente, está limitada en la parte alta de la cuenca Antabamba.

La investigación se desarrolló en el laboratorio de la Universidad Tecnológica de los Andes, en la ciudad de Abancay y las muestras fueron analizadas en un laboratorio especializado en la ciudad de Lima.

El muestreo fue realizado según Protocolo del monitoreo de la calidad de los Recursos Hídricos - Autoridad Nacional del Agua (ANA) – Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos (DGCRH). Se extrajo una alícuota de 20 L de agua contaminada, la cual fue depositada en un recipiente adecuado (Fig. 2). Los resultados del ensayo del agua se compararon con los Estándares de calidad ambiental para agua Categoría 3i: Riego de vegetales yibebidasideianimales (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017).

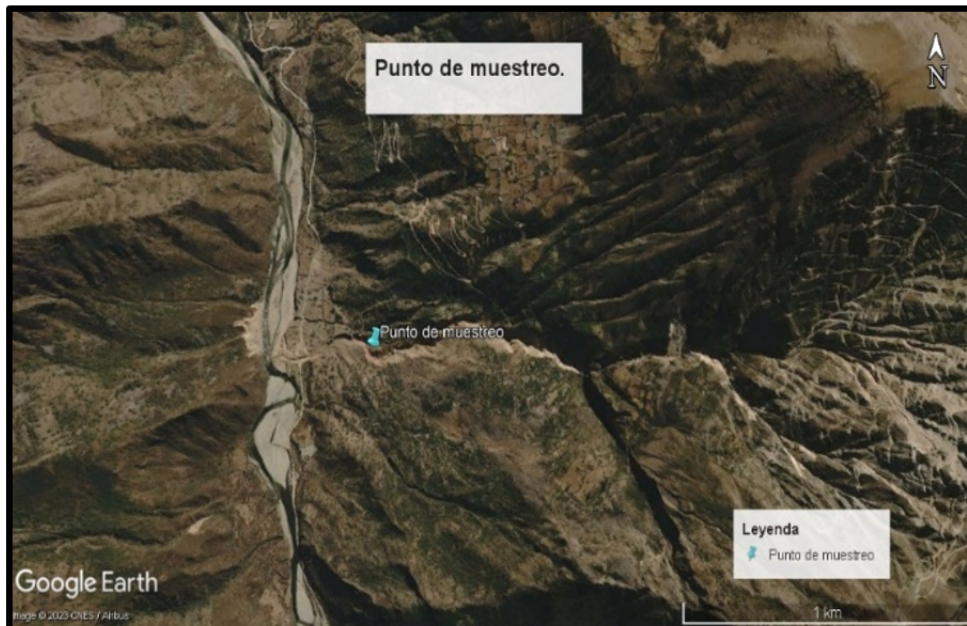
**FIGURA 1**

*Ubicación de la quebrada Pacchantay*



**FIGURA 2**

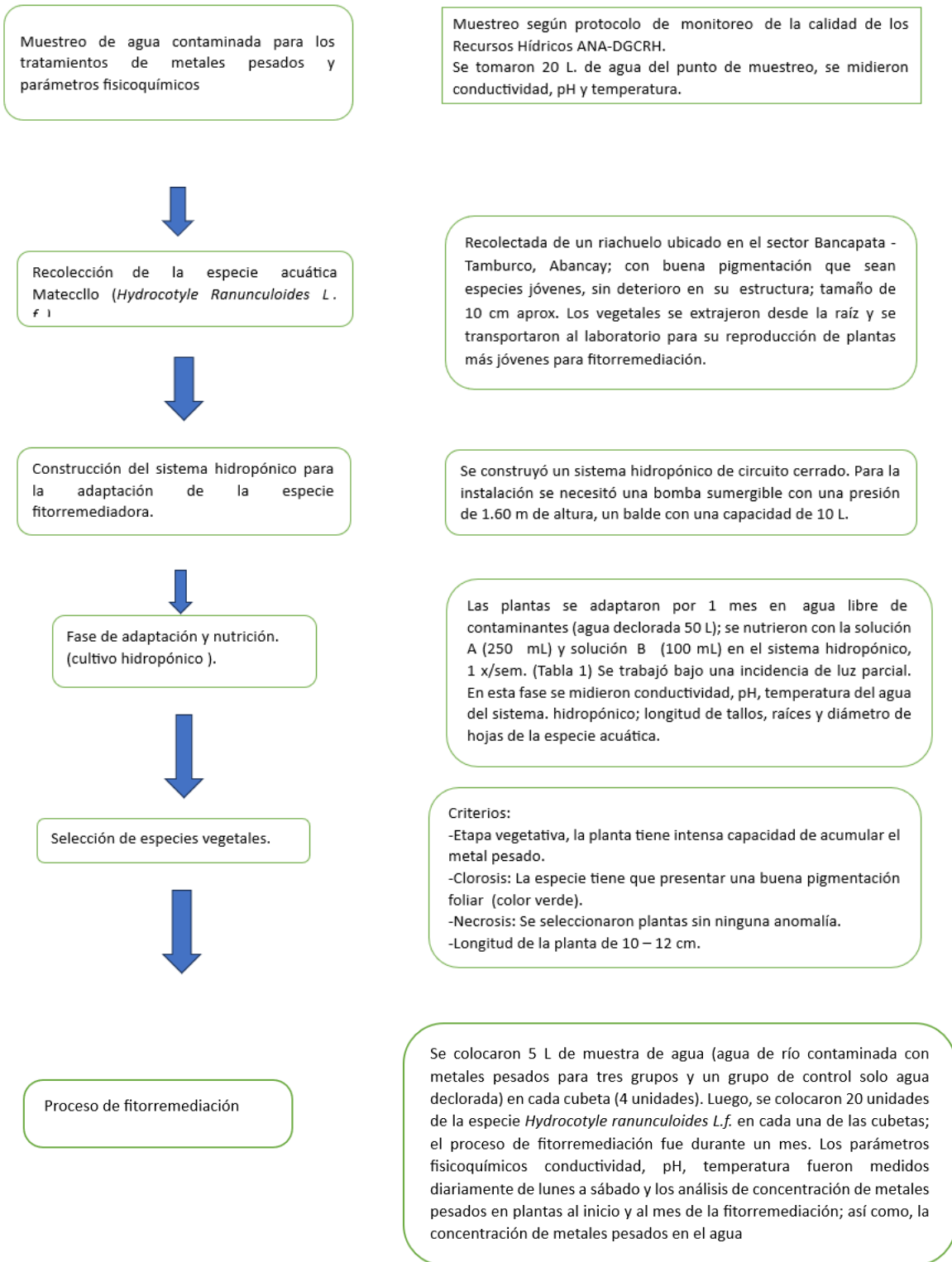
*Ubicación de punto de muestra*



La Figura 3 señala el procedimiento general para la recolección de muestras (especie vegetal y agua), adaptación de la especie acuática y fitorremediación.

**FIGURA 3**

*Procedimiento general para la recolección de muestras (especie vegetal y agua), adaptación de la especie acuática y fitorremediación*



Al inicio y final de la fitorremediación, se determinaron la concentración de metales pesados (Cu, Mn y Al) en agua, raíces y parte aérea (hojas y tallos) mediante espectroscopía de absorción atómica; los parámetros fisicoquímicos (conductividad, potencial de hidrogeno y temperatura). Después del proceso, se determinó la capacidad fitorremediadora o capacidad de la planta, para absorber metales, mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ remoción} = \frac{Ci - Cf}{Ci} \times 100$$

Donde:

Ci: concentración inicial del metal

Cf: concentración final del metal

La composición química de la solución hidropónica "La Molina", la cual contiene nutrientes esenciales, fundamentales para el adecuado crecimiento de las macrofitasiacuáticas se muestra en la Tabla 1.

**TABLA 1**

*Composición química de la solución hidropónica A y B*

Nutriente	Solución A	solución B
K	210	---
N	190	---
Ca*	150	---
S*	70	---
Mg*	45	---
P	35	---
Fe	---	1.00
Mn	---	0.50
B*	---	0.50
Zn	---	0.15
Cu	---	0.10
Mo	---	0.05

**Consideraciones éticas**

Se construyó y se acondicionó sistema hidropónico, para que los aspectos ambientales no interfirieran negativamente en el ensayo. Las especies vegetales al final del tratamiento de fitorremediación se incineraron de manera controlada por expertos en la materia.

**Procedimiento estadístico**

Se utilizó el programa estadístico SPSS versión 25.0, realizándose la prueba de Tukey, para verificar si hubo o no diferencia significativa entre los promedios de los grupos de plantas, con

un nivel de significancia estadístico de p: <0,05. i

**RESULTADOS**

La Tabla 2 evidencia los parámetros fisicoquímicos en el agua, antes y después de la fitorremediación. En relación con el pH, el grupo control presentó el mayor valor, tanto en la fase pretratamiento como postratamiento; mientras que, se observó que el grupo 3, fue el tuvo la más baja concentración. En el grupo control se mostró la conductividad más baja en las dos fases. La temperatura fue similar, tanto en el pre como postratamiento.

**TABLA 2**

*Parámetros fisicoquímicos en el agua antes y después de fitorremediación*

	pH		Conductividad (µS/cm)		Temperatura (°C)	
	Pre-tratamiento	Pos-tratamiento	Pre-tratamiento	Pos-tratamiento	Pre-tratamiento	Pos-tratamiento
Grupo 1	3,84	6,51 <sup>b</sup>	520,25	503,31 <sup>a</sup>	17,72	17,65
Grupo 2	3,84	6,43 <sup>b</sup>	520,25	504,02 <sup>b</sup>	17,72	17,52
Grupo 3	3,84	6,35 <sup>b</sup>	520,25	501,22 <sup>c</sup>	17,72	17,64
Control	6,61	7,46 <sup>a</sup>	108,38	104,31 <sup>d</sup>	17,41	17,50

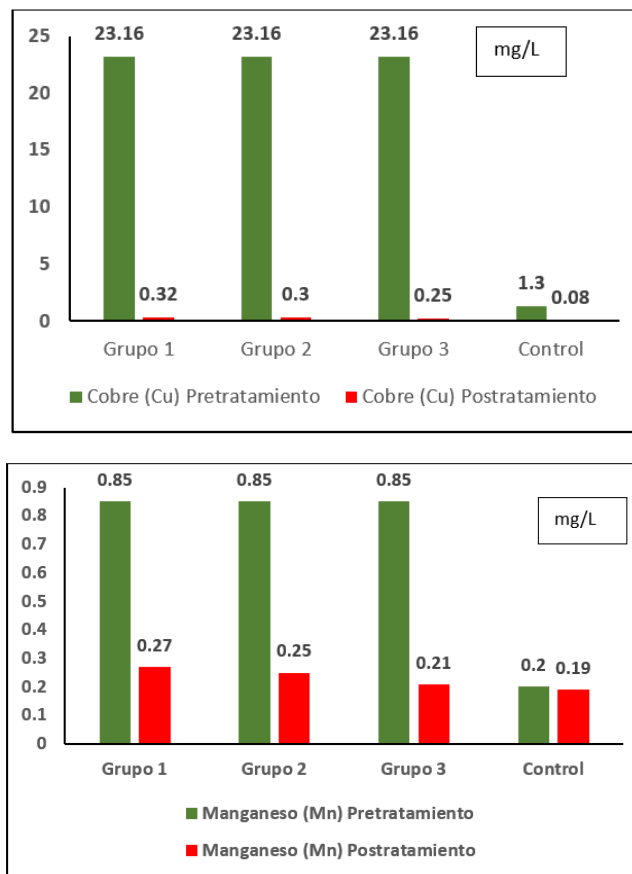
Nota: Tukey p: <0,05

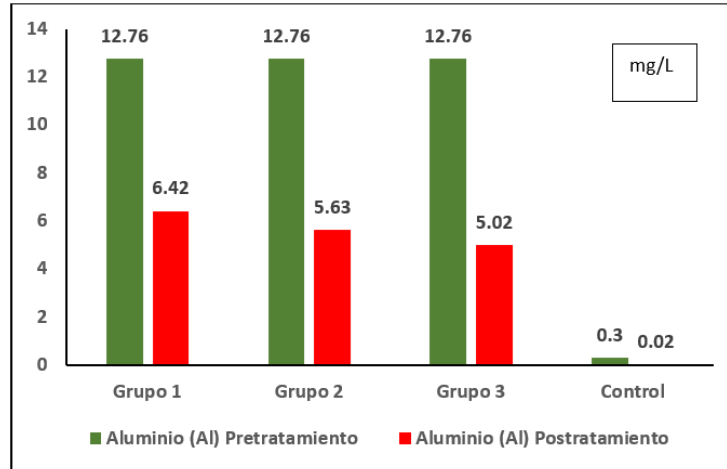
La Figura 4 muestra las concentraciones de los metales pesados antes y después de la fitorremediación. Todos los grupos presentaron similares concentraciones de cobre, manganeso y cobre en agua antes de la fitorremediación; sin embargo, disminuyeron significativamente al final;

observándose que el grupo 3 tuvo el menor valor. El grupo control presentó cifras muy bajas antes y después de la fitorremediación. El cobre fue el que mostró la mayor concentración antes de la fitorremediación.

**FIGURA 4**

*Concentración de metales pesados en agua antes y después del tratamiento en los grupos de estudio y control*



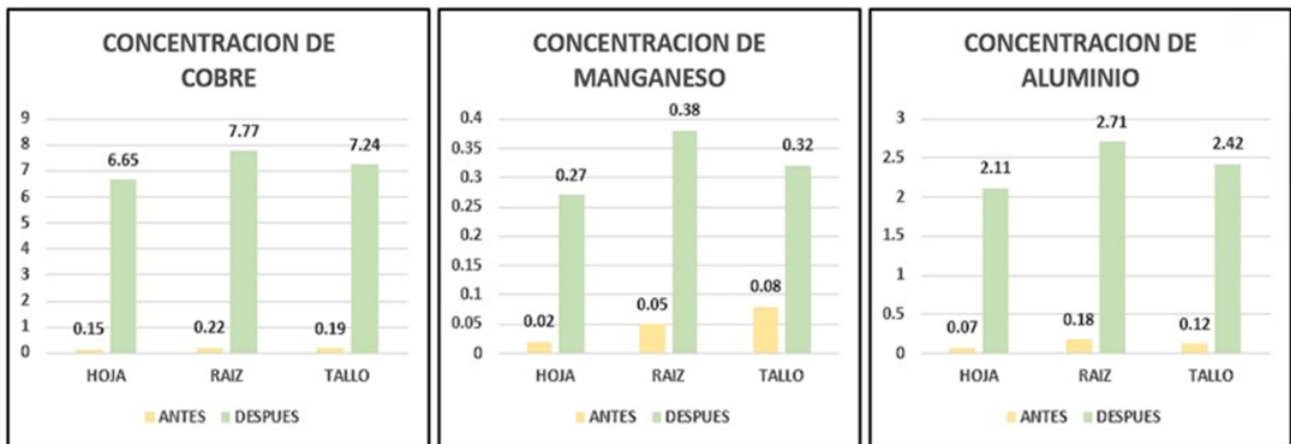


En la Figura 5 se evidencian las concentraciones de cobre, manganeso y aluminio pre y postratamiento de *Hydrocotyle ranunculoides* L.f. en la raíz y parte aérea (hojas y tallos). Las concentraciones de todos los metales estuvieron presentes, tanto en la raíz como en hojas y tallos; siendo la raíz donde se

observó la mayor concentración. El cobre fue el metal que presentó el valor más elevado. Hubo diferencia significativa entre la concentración de los metales, en la raíz y parte aérea (hojas y tallos) y en el pre y postratamiento.

**FIGURA 5**

Concentraciones de cobre, manganeso y aluminio pre y postratamiento de *Hydrocotyle ranunculoides* L.f. en la raíz y parte aérea (hojas y tallos).



Tukey: p: <0,05

La Tabla 3 muestra los promedios de las concentraciones iniciales y finales de los metales evaluados en el agua, pre y postratamiento y variación (absorción) de la especie *Hydrocotyle ranunculoides* L.f. Se observa que el metal que presentó la mayor capacidad postratamiento fue el aluminio; sin embargo, el metal que más presentó

variación; es decir, la absorción de la planta fue el cobre.



**TABLA 3**

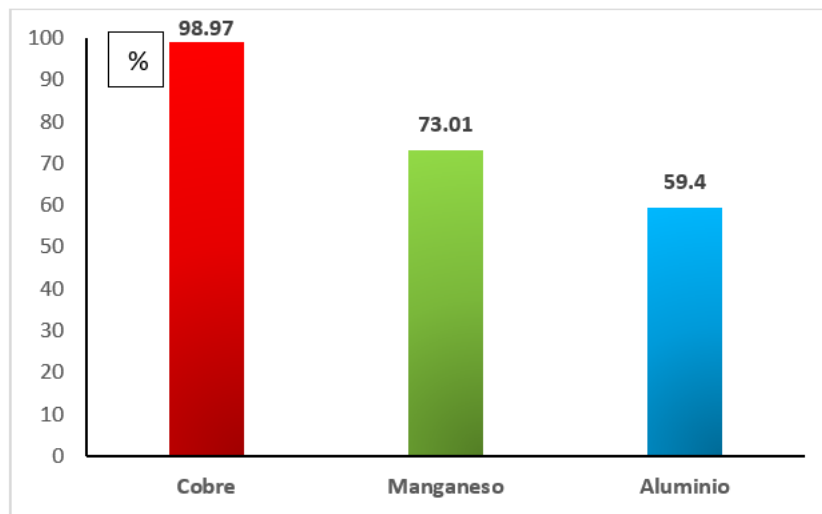
Concentraciones iniciales y finales de los metales evaluados (metales) en el agua, pre y postratamiento y variación (absorción) de la especie *Hidrocotyle ranunculoides* L.f.

Metales	Pretratamiento (en el agua)	Postratamiento (en el agua)	Variación (absorción de la planta)	Capacidad fitorremediadora (%)
Cobre (mg/L)	23,16	0,24	22,92	98,97
Manganeso (mg/L)	0,85	0,23	0,62	73,01
Aluminio (mg/L)	12,76	5,18	7,58	59,40

La Figura 6 reporta la capacidad fitorremediadora de *Hidrocotyle ranunculoides* L.f donde se observa que en orden decreciente de absorción, los metales fueron cobre, manganeso y aluminio.

**TABLA 6**

Capacidad fitorremediadora de *Hidrocotyle ranunculoides* L.f



**DISCUSIÓN**

La liberación de desechos en cuerpos de agua naturales puede tener consecuencias negativas para los ecosistemas acuáticos, representando una seria amenaza para el hábitat natural y la salud humana. Por lo tanto, es necesario someter las aguas residuales a un tratamiento adecuado antes de ser descargadas en el medio ambiente. Una estrategia efectiva para este propósito es la utilización de plantas acuáticas, ya que poseen la capacidad de eliminar, tanto contaminantes orgánicos como inorgánicos. La fitorremediación, una subdisciplina de la biorremediación, se basa en

la aplicación de plantas para llevar a cabo el proceso de remediación de aguas residuales. Las especies vegetales seleccionadas para este método exhiben la habilidad de acumular una amplia variedad de contaminantes, bien sea de forma específica o generalizada (Mustafa & Hayder, 2021).

Las plantas acuáticas tienen la capacidad de acumular metales a partir de agua y sustratos contaminados, atrapando los metales pesados mediante procesos de absorción y translocación, y liberándolos a través de la excreción (Bokhari et al.,

2016). Los resultados de la zona evaluada en este estudio revelaron una elevada contaminación por metales pesados en el agua (ANA, 2017), superando los estándares de calidad ambiental establecidos para la Categoría 3i, que abarca el riego de vegetales y la obtención de agua para el consumo de animales (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017).

Entre los metales pesados, el cobre desempeña un papel crucial en los procesos metabólicos de las células vegetales, siendo un nutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de la planta. Sin embargo, se vuelve altamente tóxico para animales y humanos cuando está presente en concentraciones excesivas en el agua (Bokhari et al., 2016; Coimbra & Borges, 2023). En el presente estudio, se observó que el cobre exhibió la concentración inicial más alta, tanto en las raíces como en las partes aéreas (tallo y hojas). Este resultado concuerda con hallazgos anteriores, como los de Bokhari et al. (2016), quienes reportaron una acumulación y absorción significativamente superior de cobre en la biomasa seca de la planta acuática *Lemna minor* en comparación con otros metales

En cuanto al manganeso (Mn), este metal es uno de los 17 elementos esenciales para el crecimiento y la reproducción de las plantas. Desempeña diversas funciones en los procesos vitales del ciclo de vida vegetal, incluyendo la fotosíntesis, la respiración, la eliminación de especies reactivas de oxígeno (ROS), la defensa contra patógenos y la señalización hormonal (Alejandro et al., 2020). A su vez, el Mn se encuentra presente en ambientes acuáticos como resultado de actividades antropogénicas (Coimbra & Borges, 2023). En este estudio, se observó un aumento en las concentraciones, tanto en las raíces como en el tallo y las hojas. Es relevante destacar que estudios previos, como el de Mazumdar & Das (2021), han indicado mayores concentraciones de diversos metales, incluyendo Cu, Zn, Ni, Cr, Mn, Fe y Mg, en los tejidos aéreos (brotes) en comparación con los subterráneos (raíces), al emplear la

fitorremediación con *Centella asiática* para la extracción de metales pesados provenientes de efluentes industriales.

En lo que respecta al aluminio (Al), se identificó su presencia en la raíz, hojas y tallos en este estudio, a diferencia de lo reportado por Demarco et al. (2018), donde solo se observó en la raíz.

Cabe resaltar que, en la tecnología de fitorremediación hidropónica, el sistema de raíces o incluso las hojas de las plantas acuáticas, también conocidas como macrófitos, asociadas con microorganismos, desempeñan la función de filtros naturales al entrar en contacto directo con el agua contaminada. En estos sistemas, la clasificación de los macrófitos utilizados en fitorremediación se basa en su hábitat estructural acuático (biotopo) o en la forma acuática de la macrófita, que puede ser flotante, emergente o sumergida (Coimbra & Borges, 2023; Mazumdar & Das, 2021; Nabi, 2021).

La eficacia de la fitoextracción es la capacidad que posee la planta para absorber y transportar el metal (o su óxido) desde las raíces hasta la parte aérea, al mismo tiempo que genera biomasa.

Las plantas hiperacumuladoras destacan en este aspecto, ya que tienen la capacidad de absorber y concentrar cantidades excepcionalmente altas de metales en su parte aérea (Da Silva et al., 2017). Entre los factores que influyen en este proceso se encuentran el rendimiento y la selección de la planta, la biodisponibilidad del metal pesado; así como, las propiedades del suelo y de la rizosfera (Naveed et al., 2023).

En esta investigación, se observó la mayor capacidad de fitorremediación para el cobre, alcanzando casi el 100 %; para el manganeso y el aluminio, las prevalencias fueron 73,01 % y 59,40 %, respectivamente. En este mismo contexto, Saha et al. (2017) lograron eliminar el 99,5 % del cromo

hexavalente de las aguas residuales de una mina en la India, mediante el desarrollo de una tecnología adecuada de fitorremediación utilizando la planta acuática *Eichhornia crassipes*.

### CONCLUSIONES

El matecillo (*Hydrocotylei ranunculoidesi* L.f.) presentó un elevado potencial de fitorremediación. Los valores de los metales pesados encontrados superan los Estándares de Calidad Ambiental para agua en la Categoría 3, que se refiere al riego de vegetales y bebida de animales.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alejandro, S., Höller, S., Meier, B., & Peiter, E. (2020). Manganese in Plants: From Acquisition to Subcellular Allocation. *Frontiers in Plant Science*, 11, 300. doi: 10.3389/fpls.2020.00300.
- Akinbile, C., Ogunrinde, T., Che, H., & Aziz, H. (2016). Phytoremediation of domestic wastewaters in free water surface constructed wetlands using *Azolla pinnata*. *International Journal of Phytoremediation*, 18(1), 54-61. doi: 10.1080/15226514.2015.1058330.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA) (2017). ANA desarrolla monitoreo participativo de calidad del agua en Apurímac. <https://www.gob.pe/institucion/ana/noticias/841108-ana-desarrolla-monitoreo-participativo-de-calidad-del-agua-en-apurimac>
- Bokhari, S., Ahmad, I., Mahmood, M., & Mohammad, A. (2016). Phytoremediation potential of *Lemna minor* L. for heavy metals, *International Journal of Phytoremediation*, 18 (1), 25-32, DOI: 10.1080/15226514.2015.1058331
- Coimbra, E., & Borges, A. (2023). Removing Mn, Cu and Fe from Real Wastewaters with Macrophytes: Reviewing the Relationship between Environmental Factors and Plants' Uptake Capacity. *Toxics*, 11(2):158. doi: 10.3390/toxics11020158
- Da Silva, W., da Silva, F., Araújo, P., & do Nascimento, C. (2017). Assessing human health risks and strategies for phytoremediation in soils contaminated with As, Cd, Pb, and Zn by slag disposal. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 144, 522–530. doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.06.068
- Demarco, C., Afonso, T., Pieniz, S., Quadro, M., Camargo, F., & Andreazza, R. (2018). *In situ* phytoremediation characterization of heavy metals promoted by *Hydrocotyle ranunculoides* at Santa Bárbara stream, an anthropogenic polluted site in southern of Brazil. *Environmental Science and Pollution Research International*, 25(28), 28312-28321. doi: 10.1007/s11356-018-2836-y
- Hama, K., Mustafa, F., Omer, K., Hama, S., Hamarawf, R., & Rahman, K. (2023). Heavy metal pollution in the aquatic environment: efficient and low-cost removal approaches to eliminate their toxicity: a review. *Royal Society of Chemistry advances*, 13(26), 17595-17610. doi: 10.1039/d3ra00723e
- Mazumdar, K., & Das, S. (2021). Multi-metal effluent removal by *Centella asiatica* (L) Urban: Prospects in phytoremediation. *Environmental Technology & Innovation*, 22, 101511. doi: 10.1016/j.eti.2021.101511
- Mokarram, M., Saber, A., & Sheykhi, V. (2020). Effects of heavy metal contamination on river water quality due to release of industrial effluents. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123380. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123380>
- Mustafa, H., & Hayder, G. (2021). Recent studies on applications of aquatic weed plants in

phytoremediation of wastewater: A review article. *Ain Shams Engineering Journal*, 12, 355-365 <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.05.009>

Nabi, M. (2021). Heavy metals accumulation in aquatic macrophytes from an urban lake in Kashmir Himalaya, India. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 16, 100509. doi: 10.1016/j.enmm.2021.100509

Naveed, S., Olusakin, P., & Adekunle, Y. (2023). Toxic heavy metals: A bibliographic review of risk assessment, toxicity, and phytoremediation technology. *Sustainable Chemistry for the Environment*, 2. 100018. <https://doi.org/10.1016/j.scenv.2023.100018>

Raza, M., Nosheen, A., Yasmin, H., Naz, R., Usman, S., Ambreen, J., El-Sheikh, M. (2023). Application of aquatic plants alone as well as in combination for phytoremediation of household and industrial wastewater. *Journal of King Saud University-Science*, 102805. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102805>

Saha, P., Shinde, O., & Sarkar, S. (2017). Phytoremediation of industrial mines wastewater using water hyacinth. *International Journal of Phytoremediation*, 19(1), 87-96. doi: 10.1080/15226514.2016.1216078

Sharma, R., Agrawal, P., Kumar, R., Gupta, G., Ittishree. (2021). Chapter 4. *Current scenario of heavy metal contamination in water*. In: Contamination of water. Health Risk Assessment and Treatment Strategies <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824058-8.00010-4>

Universidad Nacional Agraria La Molina, (UNALM). (2003). Centro de investigación de hidroponía y nutrición mineral. *Red hidroponía*. [http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/sol\\_presentacion.htm](http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/sol_presentacion.htm)