

## Remoción de aluminio y plata usando de *Lemna minor*

### Aluminum and silver removal using *Lemna minor*

Mayra Vanessa Lizcano Toledo<sup>1</sup>  
Universida de Estadual Paulista, Sao Paulo, Brasil  
mayra.lizcano@unesp.br  
<https://orcid.org/0000-0002-4092-1838>

Fecha de recibido: 7-11-2021

Fecha de aceptación: 12-4-2023

### Resumen

La contaminación del agua por metales es una problemática que compromete la salud de los organismos vivos en el planeta. En este documento, se presenta los resultados de la remoción que posee la macrófita *Lemna minor* para aluminio y plata. La metodología utilizada consistió en exponer la macrófita, en condiciones *in vitro*, a concentraciones de 2 y 3 ppm de los metales seleccionados, en donde, pasada una semana, se realizó el análisis por medio de la técnica espectrofotometría de absorción molecular a partir de la que se determinó que la *Lemna minor* presentó una eficiente remoción de aluminio, mientras que, en el caso de la plata, se obtuvo solo una remoción de 10% que, en conjunto con la fitotoxicidad presentada, la hacen no recomendable para su uso. Finalmente, al realizar una comparación con la remoción de otras macrófitas, para estos metales, fue identificado que la macrófita es apta para su uso en la sustracción de aluminio.

**Palabras clave:** agua contaminada, fitorremediación, lenteja de agua, macrófita, metales

### Abstract

Water pollution by metals is a problem that jeopardizes the health of living organisms on the planet. This document presents the results of the removal capacity of the macrophyte *Lemna minor* for aluminum and silver. The methodology used consisted of exposing the macrophyte, under *in vitro* conditions, to concentrations of 2 and 3 ppm of the selected metals. After one week, analysis was carried out using molecular absorption spectrophotometry, from which it was determined that *lemma minor* showed efficient removal of aluminum, while in the case of silver, only 10% removal was obtained. Considering the phytotoxicity presented, it is not recommended for use. Finally, a comparison was made with the removal of other macrophytes for these metals, and it was identified that this macrophyte is suitable for use in the subtraction of aluminum.

**Key words:** contaminated water, phytoremediation, duckweed, macrophyte, metals

1 Doctoranda en ciencias ambientales en la Universidad Estadual Paulista, Campus Sorocaba (UNESP), Brasil.

## I. Introducción

El agua (H<sub>2</sub>O) es la sustancia de mayor relevancia para todos los organismos que habitan el planeta, esto a causa de su requerimiento para su bienestar; sin embargo, el conocimiento de dicha importancia no ha evitado el aumento de su contaminación (Paredes-Salazar, 2015).

Existe una gran variedad de contaminantes, que se pueden encontrar en dicho compuesto, entre ellos están los metales, elementos que componen los minerales que hacen parte de la corteza terrestre, estos se encuentran caracterizados por sus propiedades fisicoquímicas, que hacen posible sus diversos usos para las industrias (Ferrer, 2003; Villanueva-Rodríguez, 2008; Kim *et al.*, 2019).

Entre los metales que pueden estar presentes en el agua se encuentran el aluminio, metal ligeramente liviano, no esencial para los organismos vivos que está caracterizado por su elevada resistencia a la corrosión y abundancia en el planeta; este posee diversos usos en el campo antropogénico, baste como muestra su utilización en procesos de fundición, construcción de buques y estructuras, industria eléctrica, fabricación de cables e hilos conductores, entre otros (Torrellas-Hidalgo, 2012). En lo que concierne a su toxicidad, este elemento es asociado a enfermedades inherentes a diálisis renal (Barquero *et al.*, 2001). Además, recientes investigaciones lo vinculan como una posible causa del Alzheimer (Herrera Flores, 2009; Matías *et al.*, 2018).

Otro metal presente en cuerpos de agua contaminados es la plata, elemento escaso en la superficie del planeta, aunque el más abundante de los metales preciosos tales como el oro, el platino y el paladio; este metal es utilizado en la industria fotográfica, química, médica y electrónica. En cuanto a las enfermedades ocasionadas por este metal se encuentra la argiria, enfermedad caracterizada por el cambio de tonalidad de la piel a gris o azul. Además, la acumulación de plata provoca daños en el sistema

nervioso central y el cerebro (Vega; Sámano, 2013; Fuster *et al.*, 2020).

En cuanto a la remoción de estos contaminantes, existen diversos métodos para lograr este objetivo, en primera instancia están los tradicionales que se encuentran caracterizados por su elevado costo económico y por el uso de agentes químicos, lo cual provoca la generación de lodos que posteriormente requiere un tratamiento que ocasiona un incremento en el costo, baste como muestra los procesos de electrocoagulación los cuales consisten en la adición de coagulantes metálicos que desestabilizan las partículas promoviendo la formación de flóculos, los cuales serán removidos posteriormente con mayor facilidad (Martínez-Navarro, 2007; Izquierdo-Sanchis, 2010; Caviedes *et al.*, 2015).

Por otro lado, se encuentra la biorremediación, técnica que hace uso de la capacidad de algunos organismos vivos para acumular y tolerar altas concentraciones de estos elementos con el fin de sustraerlos del medio acuoso (Delgadillo *et al.*, 2011). Una de las alternativas derivadas de la biorremediación es la fitorremediación, la cual aprovecha la capacidad de las plantas para sustraer los contaminantes del agua; caracterizada por su bajo costo y elevada eficiencia y eficacia; sin embargo, al momento de emplearla se debe tener en cuenta que su funcionamiento se limita a la longitud de la macrofita empleada. Además de la rápida reproducción que presentan las plantas (Carpena; Bernal, 2007; Bresp *et al.*, 2012; Hanks *et al.*, 2015).

Las macrófitas son organismos vegetales que viven en sistemas acuáticos, algunas de estas se encuentran caracterizadas por su alto porcentaje de remoción de aquellos elementos en el agua conocidos como contaminantes (Gallego-Maldonado, 2015; Cortés y Flores, 2017). Entre los estudios realizados se encuentra el de Jawad *et al.* (2022), el cual compara el rendimiento de las macrófitas *Brachia mutica*, *Typha domingensis*, *Phragmites australis* y *Leptochala fusca* para la remoción de Fe, Mn, Ni, Pb y Cr, identificando el elevado potencial que presentaron las macrófitas

en la absorción y traslocación de los metales; de la misma forma también fue evaluado el potencial de bioacumulación de las macrófitas *Phragmites australis*, *Typha capensis* y *Eichhornia crassipes* en el humedal Blesbokspruit, el cual presenta una contaminación antrópica latente que se debe al vertimiento de agua residuales mineras y escorrentías agrícolas. Fue determinante que las macrófitas removieron una cantidad significativa de los metales As, Pb, Ni y Cr, siendo consideradas como hiperacumuladoras (Heisi *et al.*, 2023).

Una de las macrófitas más conocidas para la remediación de cuerpos de agua es *Lemna minor*, planta acuática flotante destacada por su alta tolerancia y eficacia ante la remoción de contaminantes, esta planta es originaria de África, Asia, Europa y Norteamérica, no obstante, también se encuentra presente en Australia y Suramérica (Arroyave, 2004; Ekperusi *et al.*, 2019).

Existe una amplia gama de estudios que sustentan el potencial de la *Lemna minor* en el tratamiento de agua contaminada por metales, por ejemplo, la investigación llevada a cabo por Samaz *et al.* (2015), en la que evidencian que las macrófitas poseen una alta capacidad de remoción para cobre (Cu), plomo (Pb), zinc (Zn) y arsénico (As); asimismo, se ha reportado la viabilidad del uso de la *Lemna minor* para la remoción de cadmio (Cd), y talio (Tl) (Sasmaz *et al.* 2019).

La mayor parte de los estudios relacionados con la eliminación de metales en el agua se centra principalmente en As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb y Zn; no obstante, es importante tener en cuenta que metales como la plata y el aluminio son frecuentemente utilizados en actividades industriales y agrícolas, pero de los cuales las principales técnicas de remoción se asocian a los métodos tradicionales (Nordberg, 1989; Alarcon, 2008; Ardilla, 2008; Fu *et al.*, 2013; ATSDR, 2015).

Esta investigación tuvo como objetivo la identificación de la remoción que posee la macrófita *Lemna minor* para los metales plata y aluminio, a través del uso de la espectrofotometría de absorción

molecular, técnica basada en la absorción de la radiación ultravioleta o visible de moléculas concretas (Valladares, 1993; Oliveros *et al.*, 2009).

## II. Materiales y métodos

La investigación se realizó en el laboratorio de física y química de la Fundación Escuela Tecnológica de Neiva “Jesús Oviedo Pérez”, cuyo campus universitario se encuentra ubicado (2° 50'11,53" N, 75°17'23,77" O), con una temperatura media de 25°C y 49% de humedad relativa.

### 2.1. Bioética

Se expuso *Lemna minor*, organismo vegetal acuático a niveles de agentes contaminantes como lo son el aluminio y la plata para determinar su capacidad de remoción destacando que estos resultados positivos abren la posibilidad de implementar esta técnica como una medida de mitigación potencialmente eficiente y económica para tratar aguas contaminadas con aluminio y así reducir los efectos negativos sobre los organismos.

### 2.2. Crecimiento de la *Lemna minor*

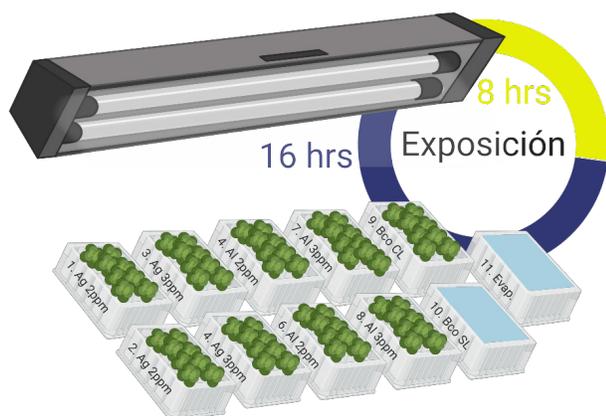
La muestra inicial de *Lemna minor* contenía 360 plántulas, que se encontraban en un recipiente con un litro de agua desmineralizada al cual se le incorporó triple 15 (Forza®) y se expusieron a 6 h de radiación solar, con una temperatura media de 27°C y un pH neutro (6,5), según lo recomendado por Arroyave (2004).

A medida que se observaba el aumento de plántulas de la *Lemna minor*, a tal punto de cubrir la superficie del recipiente, se trasladaba una gran parte de los individuos a otro recipiente, ocupándose un total de tres de estos, en donde dos eran de igual proporción, mientras que el tercero tenía el doble del tamaño de uno de los otros recipientes. Además, que a los recipientes con las macrófitas se les realizaba un cambio de agua cada 72 horas con el fin de reducir el riesgo de propagación de vectores.

### 2.3. Tratamiento de la *Lemna minor* con metales

Para determinar la capacidad de remoción que posee *Lemna minor* para aluminio y plata se siguieron las descripciones de Posada y Arroyave (2006) en cuanto a las condiciones experimentales para el tratamiento *in vitro* de la macrófita, tales como: tipo de ensayo, agua de dilución, temperatura y la duración del tratamiento. Considerando lo anterior, como se visualiza en la Figura 1, se situaron 11 recipientes en donde se colocaron concentraciones de 2 ppm y 3 ppm, con duplicado, con una densidad de siembra de 25 g en peso húmedo. Además, un blanco con *Lemna minor*, control del metal y control para la evapotranspiración; cabe resaltar que el tratamiento tuvo una duración de siete días en donde la macrófita fue expuesta a fotoperiodos de 8 horas a través de una lámpara tubo LED T8 18W de 50-60 Hz.

**Figura 1.**  
Montaje para la investigación



### III. Estandarización de los metales

La estandarización del aluminio y la plata se realizó con base en el protocolo del IDEAM (2004) donde se prepararon concentraciones de 0,2 ppm y 15 ppm del respectivo metal teniendo en cuenta que se requiere la formación de un complejo. Para esto se hace uso de agentes quelantes los cuales promueven la unión

de los iones de las moléculas al átomo central del metal. En esta investigación, para la formación del complejo, se utilizó una solución de Ditizona (Dz) más dodecilsulfato sódico (SDS), para luego ejecutar la medición de sus absorbancias en el espectro de onda visible (400 nm – 700 nm).

Una vez identificada la longitud de onda apropiada para la medición de las muestras, se procedió a realizar la curva de estandarización para cada metal, donde se estandarizaron concentraciones de 0,2 ppm, 0,5 ppm, 1 ppm, 5 ppm, 10 ppm y 15 ppm, luego, se fijó la longitud de onda determinada para cada metal, se midieron las absorbancias y finalmente se graficaron.

### IV. Análisis de aluminio y plata por espectrofotometría de absorción molecular

El análisis de las muestras de aluminio y plata se realizó de manera directa con adición de la solución seguido de la lectura de su absorbancia para la posterior identificación del porcentaje de remoción a través de un espectrofotómetro de absorción atómica UV-visible marca Kasvi proveniente de Brasil.

#### 4.1. Evaluación del método

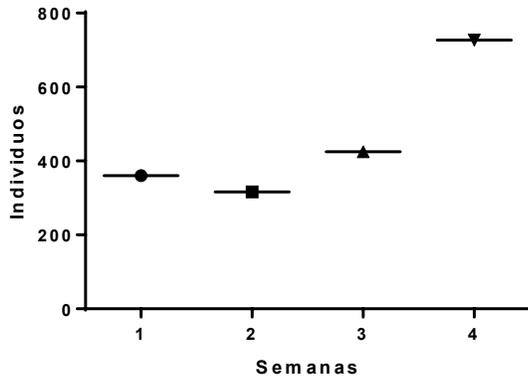
La evaluación del método se llevó a cabo a través de un ANOVA unidireccional que se realizó en el software GraphPad Prism 6 identificando la significancia de los resultados, así como su margen de error. El test de Tukey fue aplicado utilizando el software estadístico PSPPIRE.

### V. Resultados

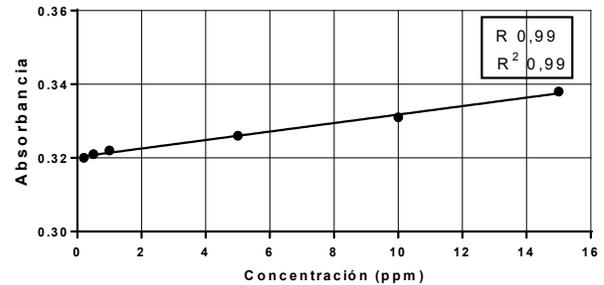
#### 5.1. Crecimiento de la *Lemna minor*

La *Lemna minor* presentó un crecimiento acelerado (Figura 2), lo cual era lo que se esperaba para la investigación, ya que esta contaba con las condiciones ideales para su crecimiento.

**Figura 2.**  
*Crecimiento de la macrófita en 4 semanas.*



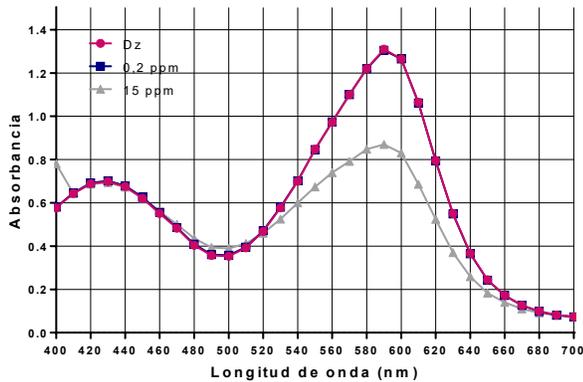
**Figura 4.**  
*Estandarización de aluminio.*



En cuanto a la estandarización del aluminio (Figura 4), se obtuvo un límite de detección (LD) de 0,05, mientras que para el límite de cuantificación (LQ) el valor fue de 0,17, respectivamente.

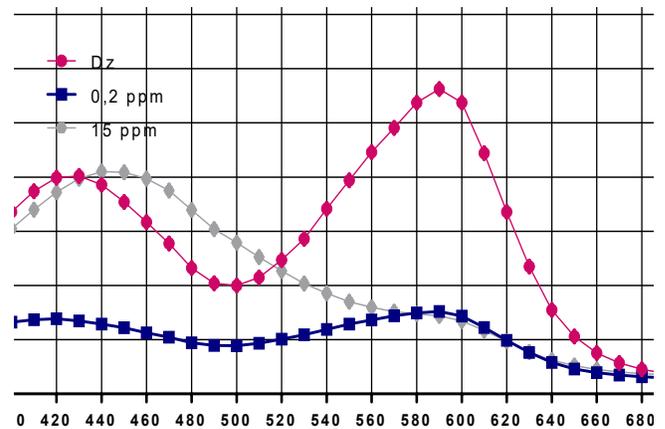
## 5.2. Estandarización de los metales

**Figura 3.**  
*Identificación de la curva de estandarización para aluminio.*



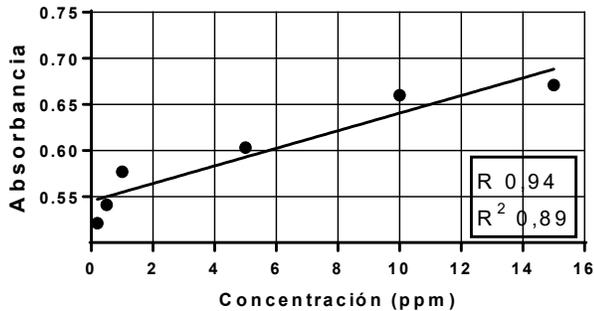
Como se visualiza en la Figura 3. la longitud de onda identificada para el análisis de las muestras de aluminio fue la 500 nm.

**Figura 5.**  
*Identificación de la longitud de onda para plata.*



Con respecto a la identificación de longitud de onda para la medición de las muestras de plata, se estableció 450 nm como longitud de onda idónea, esto puede ser observado en la Figura 5.

**Figura 6.**  
Estandarización de plata.



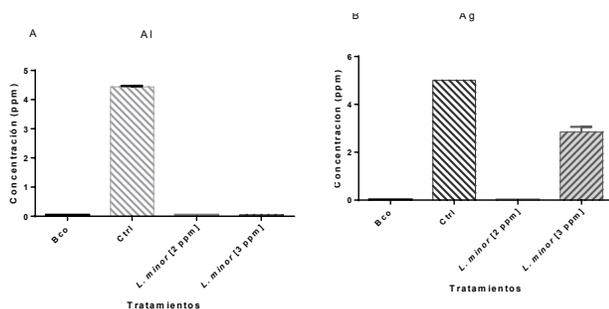
Por otro lado, para la estandarización de la plata (Figura 6) se obtuvo un límite de detección (LD) de 0,03, mientras que para el límite de cuantificación (LQ) el valor fue de 0,11.

### 5.3. Determinación de los metales en las muestras y evaluación del tratamiento

Como se evidencia en la Figura 7A, al realizarse el debido cálculo para determinar la concentración de la muestra, a partir la absorbancia dada en los tratamientos con aluminio al final del diseño experimental, se identificó que contaban con una concentración inferior al límite de detección; al realizar la comparación entre los tratamientos fue significativa ( $P \leq 0.01$ ) y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 1.0 y un error de 0,0008.

**Figura 7.**

Evaluación del tratamiento A) Aluminio B) Plata



Con respecto a la evaluación de la remoción de plata (Figura 7B) a través de *Lemna minor*, el resultado respecto a la comparación entre los tratamientos fue significativo con un  $P$ -valor menor a 0,0001, coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0,99 y un error de 0,048, siendo generado por la variación entre la remoción de los dos tratamientos, destacando que para las concentraciones de 3 ppm presenta una variación respecto al de 2 ppm ya que sólo hubo una remoción del 10%.

En la Tabla 1 es visualizado el resultado correspondiente al test de Tukey para el tratamiento realizado para aluminio, siendo observado que el valor de significancia para todas las combinaciones de tratamientos es mayor que 0,05, lo que indica que no hay diferencias significativas en la concentración absorbida por la macrófita entre los tratamientos de 2 ppm y 3 ppm. En adición, los intervalos de confianza para cada combinación de tratamientos incluyen el valor 0, indicando que no hay diferencias significativas entre los tratamientos. Además, se observa que los intervalos de confianza son bastante estrechos, lo que sugiere que los resultados son precisos.

**Tabla 1.**  
*Test de Tukey para tratamiento con aluminio*

tratamiento		media	Error estándar	Significancia Intervalo inferior	95 % de intervalo de media	
					Intervalo superior	
2 ppm	3 ppm	0,00	4,21	1	-2,9E-007	-2,9E-007
	Bco	0,00	5,16	1	-3,58E-007	-3,58E-007
	Ctrl	-4,47	5,16	0	-4,47	-4,47
3 ppm	2 ppm	0,00	4,21	1	-2,9E-007	-2,9E-007
	Bco	0,00	5,16	1	-3,58E-007	-3,58E-007
	Ctrl	-4,47	5,16	0	-4,47	-4,47
Bco	2 ppm	0,00	5,16	1	-3,58E-007	-3,58E-007
	3 ppm	0,00	5,16	1	-3,58E-007	-3,58E-007
	ctrl	-4,47	5,96	0	-4,47	-4,47
Ctrl	2 ppm	4,47	5,16	0	4,47	4,47
	3 ppm	4,47	5,16	0	4,47	4,47
	Bco	4,47	5,96 E-008	0	4,47	4,47

En el caso del tratamiento para la plata, la prueba de Tukey (Tabla 2) muestra intervalos de media que indican que la verdadera media poblacional para el tratamiento de 2 ppm se encuentra en un rango de -4.68 a 0.04, mientras que para el tratamiento de 3

ppm se encuentra en un rango de -0.04 a 4.68. Esto sugiere que el tratamiento de 3 ppm puede ser más efectivo en la remoción de plata que el tratamiento de 2 ppm.

**Tabla 2.**  
*Test de Tukey para tratamiento con aluminio*

tratamiento		media	Error estándar	Significancia Intervalo inferior	95 % de intervalo de media	
					Intervalo superior	
2 ppm	3 ppm	-2,32	0,34	0,051	-4,68	0,04
	Bco	0	0,42	1	-2,89	2,89
	Ctrl	-7,47	0,42	0,008	-10,36	-4,58
3 ppm	2 ppm	2,32	0,34	0,051	-0,04	4,68
	Bco	2,32	0,42	0,076	-0,57	5,21
	Ctrl	-5,15	0,42	0,016	-8,04	-2,26
Bco	2 ppm	0	0,42	1	-2,89	2,89
	3 ppm	-2,32	0,42	0,076	-5,21	0,57
	ctrl	-7,47	0,48	0,011	-10,80	-4,14
Ctrl	2 ppm	7,47	0,42	0,008	4,58	10,36
	3 ppm	5,15	0,42	0,016	2,26	8,04
	Bco	7,47	0,48	0,011	4,14	10,8

## VI. Discusión

La remoción de metales por diferentes macrófitas es un tema de investigación interesante debido a la capacidad de estas plantas acuáticas para adsorber y acumular metales pesados en sus tejidos (Caviedes *et al.*, 2016).

Varios estudios han demostrado que diferentes macrófitas tienen diferentes tasas de remoción de metales, lo que sugiere que algunas especies pueden ser más efectivas que otras en la eliminación de metales del agua (Jiménez, 2021). Por ejemplo, se ha demostrado que la especie de macrófita *Lemna minor* es capaz de eliminar altas concentraciones de níquel del agua, mientras que la especie *Pistia stratiotes* ha demostrado ser eficaz en la eliminación de arsénico y hierro (Marchand *et al.*, 2010; Bresp *et al.*, 2012). Además, se ha demostrado que las macrófitas pueden ser más efectivas en la eliminación de metales (Peña-Salamanca *et al.*, 2013).

Se demostró que la macrófita *Lemna minor* posee un elevado porcentaje de remoción para el aluminio bajo condiciones *in vitro*; sin embargo, es necesario realizar una prueba piloto en donde se efectuó la evaluación de su comportamiento en condiciones naturales antes de considerarla eficaz para el tratamiento de aguas contaminadas con este elemento; un estudio realizado por Su *et al.* (2019) identificó que la macrófita al cabo de 15 días de ser expuesta a concentraciones de 0,3 mM de aluminio presentó una remoción del 43%.

En el caso de la plata, un estudio realizado por Radíc *et al.* (2019), para determinar la toxicidad de las nanopartículas de plata (AgNP) y micotoxina fumonisina (FB) sobre la *Lemna minor* a concentraciones de 0.5 y 1 mg/L, tuvo como resultado que para el tercer día de la investigación el tratamiento AgNP estaba por debajo del límite de cuantificación (LOQ), sin embargo, la macrófita sufrió fitotoxicidad siendo mayor para AgNP. Cabe destacar que, en este estudio se evaluó la eliminación de plata y aluminio por *Lemna minor*, comparando

diferentes concentraciones de metales y observando los efectos en la biomasa y la fitotoxicidad de la macrófita.

Los resultados mostraron que *Lemna minor* presentó una alta capacidad de eliminación para el aluminio, mientras que para la plata la eliminación fue baja, esto se debe a las propiedades químicas de los metales, que determinan su forma de unión y transporte en los componentes celulares de la planta.

En el caso de la remoción del aluminio, este puede explicarse por la formación de complejos con compuestos orgánicos presentes en la pared celular, en el citoplasma o en los cloroplastos, reduciendo así la toxicidad del metal (Panizza, 2009). Además, *Lemna minor* puede presentar mecanismos de tolerancia al aluminio, como la síntesis de fitoquelatinas, la inducción de antioxidantes y la regulación del transporte de iones. Estos mecanismos permiten que la planta mantenga su crecimiento y actividad fotosintética incluso en condiciones de estrés (González-Mendoza; Zapara-Pérez, 2008).

Por otro lado, la eliminación de plata por *Lemna minor* puede estar limitada por la alta reactividad y afinidad del metal por los grupos sulfhidrilo presentes en las proteínas y enzimas de la planta (Sobrero, 2010). La plata puede causar daños oxidativos, inhibir la respiración celular, alterar el equilibrio osmótico y afectar la división celular de *Lemna minor* causando una mayor fitotoxicidad observada en los tratamientos con plata en este estudio (Thu; Doan, 2010; Radíc *et al.*, 2019).

De esta manera, se puede afirmar que *Lemna minor* es una macrófita prometedora para la fitoremediación de aguas contaminadas con aluminio, pero no con plata. Sin embargo, se requieren más estudios para evaluar el potencial de la planta en condiciones naturales y en combinación con otros tratamientos.

## VII. Conclusión

La *Lemna minor* es una macrófita que tuvo un crecimiento óptimo en condiciones *in vitro*; por otro lado, se identificó que la longitud de onda para la medición de muestras de aluminio y plata son: 500 nm y 450 nm, respectivamente cuyos resultados de correlación al efectuar la estandarización muestran un comportamiento lineal positivo. Además, la macrófita *Lemna minor* mostró una capacidad diferencial para remover los metales aluminio y plata de las soluciones acuosas, mientras que el aluminio fue removido en gran medida, la plata presentó una baja remoción y causó fitotoxicidad en la planta.

Estos resultados pueden estar relacionados con las propiedades químicas de los metales y los mecanismos de interacción y tolerancia de la planta. Así, se sugiere que la *Lemna minor* es una macrófita prometedora para la fitorremediación de aguas contaminadas con aluminio, pero no con plata; sin embargo, es necesario realizar más estudios para evaluar el potencial de la planta en condiciones naturales y en combinación con otros tratamientos.

## VIII. Referencias bibliográficas

- Alarcon, A., & Ardilla, N. (2008). Determinación de la concentración letal media (CL50-48) de daphnia pulex por medio de bioensayos de toxicidad acuática con aluminio y plata.
- Arroyave, M. d. (2004). Lenteja de agua (Lenteja de agua): Una planta acuática promisoría. *Revista EIA*(1), 33 - 38. Obtenido de Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1492/149217763003>
- ATSDR, (. f. (2015). *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*. Obtenido de Toxicological Profiles, Toxic Substances Portal.: <https://www.atsdr.cdc.gov/>
- Barquero, M., Vargas, R., & Blanco, R. (2001). Neurotoxicidad y enfermedades óseas provocadas por la contaminación. *Revista Costarricense de Ciencias Médicas*, 22(3 - 4), 179 - 189.
- Bres, P., Crespo, D. C., Rizzo, P., & La Rossa, F. (2012). Capacidad de las macrofitas *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes* para eliminar el níquel. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 38(2). Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3983900>
- Carpena, R., & Bernal, M. (2007). Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas*, 16(2), 1 - 3. Obtenido de <https://digital.csic.es/bitstream/10261/16683/1/eco.pdf>
- Caviedes, D., Muñoz, R., Perdomo, A., Rodríguez, D., & Sandoval, I. (2015). Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión. *Revista Ingeniería y Región*, 13(1), 73 - 90.
- Cortés, P., & Florez, J. (2017). *Universidad de Cali*. Obtenido de Evaluación un vitro de la taruya (*Eichhornia crassipes*) como agente biorremediador en aguas contaminadas con cromo: [http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/bitstream/10819/4530/1/Evaluaci%C3%B3n%20in%20vitro%20de%20la%20taruya\\_Pedro%20Cort%C3%A9s%20S\\_2017.pdf](http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/bitstream/10819/4530/1/Evaluaci%C3%B3n%20in%20vitro%20de%20la%20taruya_Pedro%20Cort%C3%A9s%20S_2017.pdf)
- Delgadillo, A., Gonzáles, C., Prieto, F., Villagómez, J. R., & Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 597 - 612. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-04622011000200002&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002&lng=es&nrm=iso)

- Ekperusi, A., Sikoki, F., & Nwachukwu. (2019). Application of common duckweed (*Lemna minor*) in phytoremediation of chemicals in the environment: State and future perspective. *Chemosphere*, 223, 285 - 309. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.02.025>
- Ferrer, A. (2003). Intoxicación por metales. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 26(1), 141 - 153. Obtenido de [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1137-66272003000200008&lng=es&lng=es](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272003000200008&lng=es&lng=es).
- Fu, H.-Z., Wang, M.-H., & Ho, Y.-S. (2013). Mapping of drinking water research: A bibliometric analysis of research output during 1992–2011. *Science of The Total Environment*, 443, 757 - 765. doi:[doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.11.061](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.11.061)
- Fuster, E., Candela, H., Arias, A., Vilanova, E., & Sogorb, M. (2020). Effects of silver nanoparticles on T98G human glioblastoma cells. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 404. doi:[10.1016/j.taap.2020.115178](https://doi.org/10.1016/j.taap.2020.115178)
- Gallego Maldonado, D. (Febrero de 2015). *Universidad Santo Tomás*. Obtenido de Caracterización de las macrofitas del humedal meandro del say como insumo de las herramientas de conservación: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/2543>
- Hanks, N., Caruso, J., & Zhang, P. (2015). Assessing *Pistia stratiotes* for phytoremediation of silver nanoparticles and Ag(I) contaminated waters. *Journal of Environmental Management*, 164, 41 - 45. doi:[dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.08.026](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.08.026)
- Heise, H., Awosusi, A., Nkuna, R., Matambo, T. (2023) Phytoextraction of anthropogenic heavy metal contamination of the Blesbokspruit wetland: Potential of wetland macrophytes. *Journal of Contaminant Hydrology*. 253, doi:[doi.org/10.1016/j.jconhyd.2022.104101](https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2022.104101)
- Herrera, K. (01 de 11 de 2009). *Evaluación de la contaminación por plomo en suelos del cantón Sitio del Niño Municipio de San Juan Opico departamento de la Libertad*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/277835636\\_Evaluacion\\_de\\_la\\_contaminacion\\_por\\_plomo\\_en\\_suelos\\_del\\_canton\\_Sitio\\_del\\_Nino\\_Municipio\\_de\\_San\\_Juan\\_Opico\\_departamento\\_de\\_la\\_Libertad](https://www.researchgate.net/publication/277835636_Evaluacion_de_la_contaminacion_por_plomo_en_suelos_del_canton_Sitio_del_Nino_Municipio_de_San_Juan_Opico_departamento_de_la_Libertad)
- Ideam, (. d. (23 de Julio de 2004). *Determinación de metales pesados totales con digestión ácida y solubles lectura directa por espectrofotometría de absorción atómica*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Metales+en+agua+por+Absorci%C3%B3n+At%C3%B3mica..pdf/e233a63d-378c-4f83-9311-d9375043cf2a>
- Izquierdo, M. (2010). Eliminación de metales pesados en aguas mediante bioadsorción. Evaluación de materiales y modelación del proceso.
- Jawad, M., Ali, S., Shabir, G., Siddique, M., Rizwan, M., Seleiman, M., Afzal, M. Comparing the performance of four macrophytes in bacterial assisted floating treatment wetlands for the removal of trace metals (Fe, Mn, Ni, Pb, and Cr) from polluted river water. *Chemosphere*. 243. doi: [doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125353](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125353)
- Jiménez, A. (2021). *Eichhornia crassipes* y su uso en técnicas de aprovechamiento y fitorremediación de cuerpos de agua.

- Kim, J., Kim, Y. S., & Kumar, V. (2019). Heavy metal toxicity: An update of chelating therapeutic strategies. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 54, 226 - 231. doi:doi.org/10.1016/j.jtemb.2019.05.003
- Martínez, F. (2007). *Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional*. Obtenido de <https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/984/251%20Tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20industriales.pdf?sequence=1>
- Matías, C., Lopéz, S., Matías, D., & García, I. (2018). El aluminio empleado en el tratamiento de aguas residuales y su posible relación con enfermedad de Alzheimer. *Journal of Negative and No Positive Results: JONNPR*, 3(2), 139 - 143. doi:10.19230/jonnpr.1704
- Nordberg, G. (1989). Metales: Propiedades químicas y toxicidad. En J. Stellman, *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo* (pág. 76). Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Obtenido de <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+63.+Metales+propiedades+qu%C3%ADmicas+y+toxicidad>
- Olvieros, A., Carrera, C., & Marín, D. (2009). Estudio por espectrofotometría uv-vis de la reacción entre los iones cianuro y picrato. un ejemplo práctico de aplicaciones analíticas y estudios cinéticos. *Revista Colombiana de Química*, 38(1), 61 - 82.
- Panizza de León, A. (2009). Evaluación de la fitoextracción de aluminio en condiciones ácidas.
- Paredes, J. (2015). *Repositorio institucional*. Obtenido de Optimización de la fitorremediación de mercurio en humedales de flujo continuo empleando Eichhornia crassipes Jacinto de agua: <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/927>
- Peña, E., Madera-Parra, C. A., Sánchez, J. M., & Medina-Vásquez, J. (2013). Bioprospección de plantas nativas para su uso en procesos de biorremediación: caso Heliconia psittacorum (Heliconiaceae). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 37(145), 469-481.
- Posada, M., & Arroyave, M. d. (2006). Efectos del mercurio sobre algunas plantas acuáticas tropicales. *Revista EIA*(6), 57 - 67.
- Radíc, S., Domijan, A., Glavas, K., Kresimir, M., Ivesic, M., Peharec, Krivohlavek, A. (2019). Toxicity of nanosilver and fumonisin B1 and their interactions on duckweed (Lemna minor L.). *Chemosphere*, 86 - 93. doi:doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.004
- Samaz, M., Arslan, E., Obek, E., & Ahmet, S. (1 de Noviembre de 2015). The potential of Lemna gibba L. and Lemna minor L. to remove Cu, Pb, Zn and As in gallery water in a mining area in Keban, Turkey. *Journal of environmental management*, 163, 246 - 253. doi:10.1016/j.jenvman.2015.08.029
- Sasmaz, M., Öbek, E., & Sasmaz, A. (2019). Bioaccumulation of cadmium and thallium in Pb-Zn tailing waste water by Lemna minor and Lemna gibba. *Applied Geochemistry*, 100, 287 - 292. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2018.12.011>
- Sobrero, M. (2010). Estudio de la fitotoxicidad de metales pesados y del herbicida glifosato en ambientes acuáticos (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).

Su, C., Jiang, Y., Yang, Y., Zhang, W., & Xu, Q. (2019). Responses of duckweed (*Lemna minor* L.) to aluminum stress: Physiological and proteomics analyses. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 170, 127 - 140. doi:doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.113

Thu, T., & Doan, C. (2010). Comportamiento de las plantas de henequén (*Agave fourcroydes* L.) cultivadas en altas concentraciones de metales pesados (Doctoral dissertation, Universidad de Matanzas. Facultad de Ciencias Agropecuarias).

Torrellas, R. (2012). La exposición al aluminio y su relación con el ambiente y la salud. *Revista Tecnogestión*, 9(1), 3 - 11. Obtenido de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/view/5646/7164>

Valladares, S. (1993). Espectrofotometría de absorción molecular ultravioletavisible. En O. d. agricultura, *Control de la calidad de insumos y dietas acuicolas*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/ab482s/AB482S03.htm>

Vega, E., & Sámano, A. (2013). Usos y ocurrencia de los principales metales que se producen en sonora. *Epistemus*, 14(7), 83 - 89.

Villanueva, T. (2008). *Los metales en castilla león*. Domènech e-learning multimedia, S.A. Obtenido de <http://www.siemcalsa.com/images/pdf/Los%20metales.pdf>