

17

Fecha de presentación: enero, 2021

Fecha de aceptación: marzo, 2021

Fecha de publicación: abril, 2021

EFICIENCIA FITORREMIADORA DE AZOLLA SPP. BAJO DIFERENTES CONCENTRACIONES DE PLOMO EN AGUA

PHYTOREMEDIATION EFFICIENCY OF AZOLLA SPP. AT DIFFERENT CONCENTRATIONS OF LEAD IN WATER

Leonor Margarita Rivera Intriago¹

E-mail: lrivera@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9407-1525>

Irán Rodríguez Delgado¹

E-mail: irodriguez@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6453-2108>

Sara Enid Castillo Herrera¹

E-mail: scastillo@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9559-6422>

Hugo Italo Romero Bonilla¹

Email: hromero@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7846-0512>

José Lauro Conde Solano¹

E-mail: jconde@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2538-1770>

¹ Universidad Técnica de Machala. Ecuador.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Rivera Intriago, L. M., Rodríguez Delgado, I., Castillo Herrera, S. E., Romero Bonilla, H. I. & Conde Solano, J. L. (2021). Eficiencia fitorremediadora de Azolla spp. bajo diferentes concentraciones de plomo en agua. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(1), 145-151..

RESUMEN

La contaminación por metales pesados en agua y suelo constituye uno de los principales problemas ambientales que se presentan en la actualidad, debido a que ocasionan problemas de toxicidad en plantas, animales y seres humanos, sin embargo, existen especie acuáticas que presentan capacidad de fitorremediación en ecosistemas. El objetivo de la investigación fue evidenciar la eficiencia fitorremediadora de la especie acuática Azolla bajo diferentes concentraciones de plomo en agua. Para ello, se utilizaron tres concentraciones de plomo (25, 50 y 75 ppm) para contaminar el agua presente en suelo agrícola destinado para el cultivo de arroz con 100 g de Azolla. La capacidad de absorción de la Azolla, se determinó midiendo cada 20 minutos, mediante voltametría de onda cuadrada tomándose un volumen de 10 ml de solución sobrenadante en contacto con Azolla spp. Se evidenció que cuando la concentración de plomo en agua es de 50 ppm la Azolla presenta mayor capacidad de adsorción del metal pesado, alcanzando el 100% de adsorción al concluir el experimento. A concentraciones de 25 y 75 ppm, donde mostró una eficiencia fitorremediadora de 80,8 y 65,2% respectivamente.

Palabras clave:

Especie acuática, fitorremediación, metales pesados.

ABSTRACT

Contamination by heavy metals in water and soil is one of the main environmental problems that occur today. It causes toxicity problems in plants, animals and humans; however, there are aquatic species that have phytoremediation capacity in certain ecosystems. The objective of the research was to demonstrate the phytoremediation efficiency of the aquatic species Azolla under different concentrations of lead in water. For this purpose, three concentrations of lead (25, 50 and 75 ppm) were used to contaminate the water in a soil prepared for rice cultivation with 100 g of Azolla. The adsorption capacity of Azolla was determined by measurements taken every 20 minutes, using square wave voltammetry, which consisted on taking a volume of 10 ml of supernatant solution in contact with Azolla spp. The study revealed that Azolla showed the highest adsorption capacity of the heavy metal when the concentration of lead in water was 50 ppm, reaching 100% adsorption at the end of the experiment. On the other hand, concentrations of 25 and 75 ppm showed a phytoremediation efficiency of 80.8 and 65.2% respectively.

Keywords:

Aquatic species, phytoremediation, heavy metals.

INTRODUCCIÓN

La aplicación de prácticas agroecológicas en sistemas de producción agropecuarias integrales constituyen en la actualidad una opción viable ante las limitaciones energéticas, edafoclimatológicas y financieras que se presentan a escala mundial (Gliessman, 2018). Casimiro, et al. (2019), demostraron que en estos sistemas el uso de tecnologías apropiadas para el aprovechamiento de fuentes renovables de energía, la demanda energética se abastece en un 83,7%, además, del ahorro de recursos económicos.

Por otro lado, los metales pesados constituyen uno de los elementos más importantes a tener en cuenta al momento de realizar un manejo holístico de los sistemas productivos, ya que constituyen contaminantes que provocan afectaciones al suelo, aguas y la salud de las personas.

Los metales pesados son considerados como los más antiguos de los contaminantes, los mismos que representan un riesgo de toxicidad en función de varios factores como la forma química, las dosis, las vías de exposición, la capacidad de biotransformación, la edad y el género de las personas expuestas; y con el plomo en particular, la afectación a niños en estado prenatal (Burger & Román, 2010). Los riesgos de toxicidad por metales pesados se relacionan con la disponibilidad y reactividad con otros componentes del sistema productivo, además del pH, el tipo de materia orgánica y la temperatura del suelo. Investigaciones realizadas por McBride (1995) a protection attributable largely to the added organic matter. This protection cannot be considered to be permanent or effective for all toxic metals, as indicated by data from old sludged sites. Differences in degree of protection are evident for greenhouse and field experiments, largely attributable to different rooting patterns and degree of sludge mixing in these two situations. The USEPA reliance on field data for metal uptake by corn (*Zea mays* L., establecieron que la materia orgánica del lodo contribuye al mejoramiento de las propiedades del suelo y sobre todo la solubilidad de los metales, lo cual contribuye a la protección de la planta de una posible contaminación, que puede reducirse con el tiempo debido a la mineralización de la fracción orgánica de los lodos. En el mundo se han comprobado las afectaciones del suelo y acuíferos por incidencia de los metales pesados.

Las actividades antropogénicas son un medio de contaminación por metales pesados en el suelo a través de desechos de aguas residuales, industriales y agrícolas, lo que representa toxicidad tanto para el hombre, la biota y el medio ambiente, así como también a través del sedimento al medio marino. Se considera que un metal es tóxico en el suelo cuando supera los valores permitidos, los cuales pueden causar daño a los seres que habitan en este ambiente como plantas,

animales y los consumidores de la vegetación presente como los herbívoros (Acosta, et al., 2003).

Las aguas residuales cuando entran en contacto con suelos agrícolas pueden aportar metales pesados, aunque los cultivos bioacumulan metales pesados en sus tejidos, variando entre especies vegetales y la capacidad de retención por el suelo y a la interacción entre la planta, raíz y metal. Chen, et al., (2013) mencionan que en varios estudios realizados en verduras se ha determinado la acumulación de metales pesados que representan riesgo para la salud humana.

El plomo (Pb) es un metal pesado con número atómico 82, peso atómico 207, color azulado, que forma muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos, que debido a las actividades industriales, agrícolas, mineras y el uso no adecuado de los fertilizantes se incorporan en los ríos, animales, vegetales y alimentos que forman parte de la cadena trófica, ocasionando problemas graves a la salud del hombre y al medio ambiente (Reyes, et al., 2016).

El plomo es un metal pesado que se lo utiliza desde hace muchos años por su resistencia a la corrosión, ductibilidad, maleabilidad y facilidad para formar aleaciones. En México se han encontrado casos de envenenamiento por plomo proveniente de fuentes industriales. El plomo es absorbido por inhalación, ingestión y a través de la piel (Nava & Méndez, 2011) y provoca varias afectaciones en tejidos, huesos y dientes de las personas.

El proceso en que los metales pesados se bioacumulan en los tejidos de las plantas se realiza mediante acción capilar, que se asocia a la tensión superficial; principio basado en la cohesión y que permite el ingreso de agua por las raíces y tallos de las plantas, para posteriormente ascender y acumular dichos metales dentro del micrófito (Rodríguez, 2018).

Para remediar los suelos contaminados por metales pesados como el plomo, se han generado diferentes tecnologías, entre las cuales se encuentran las biológicas como: biorremediación, bioestimulación, fitorremediación, donde las actividades metabólicas de ciertos organismos permiten la degradación, transformación o remoción de los contaminantes a productos metabólicos inocuos. Para ello, se deben conocer los criterios para elegir el método correcto que posibilite enmendar los suelos, entre las que se encuentran las características del sitio, tipo de contaminante, concentración y características fisicoquímicas, propiedades fisicoquímicas, tipo de suelo a tratar y costo (Volke & Velasco, 2002).

La fitorremediación consiste en utilizar plantas para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes (Cho, et al., 2008). Se considera a la fitorremediación como una fitotecnología que ofrece diversidad de ventajas en

relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad, entre ellas, su amplia aplicabilidad y bajo costo. De igual manera, la fitorremediación aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo (Delgadillo, et al., 2011).

Se han identificado una amplia diversidad de especies de plantas que presentan una gran capacidad para acumular metales pesados (hiperacumuladoras), entre las que se encuentra *Azolla* spp.

Según Sánchez (2012), la *Azolla* es considerada como un helecho acuático eficiente para la desintoxicación de aguas contaminadas, asociado a su capacidad de retener en sus tejidos metales y/o metaloides.

Kumar & Bihari (2020), indican que la *Azolla*, por ser un helecho con una alta tasa de crecimiento y productividad, al parecer es una alternativa muy prometedora para mejorar la calidad del agua sobre todo las residuales urbanas tratadas.

La *Azolla* es un helecho de fácil propagación en medios húmedos y temperaturas cálidas (Rivera, et al., 2017), presenta múltiples aplicaciones: como fertilizante, alimento para rumiantes, aves y peces, biofiltro y concentración de metales pesados en distintas clases de aguas (Singh, et al., 2010).

Bennicelli, et al. (2004), mencionan que en varias investigaciones realizadas se ha demostrado la capacidad de la *Azolla* spp. en simbiosis con la *Anabaena* de acumular iones metálicos o metaloides mediante la formación de complejos en la pared celular, como el ácido poligacturónico; también se ha comprobado otro mecanismo que ocurre posterior a la absorción de los metales a través de las raíces, como la formación de complejos entre los grupos tiol presentes en las fitoquelaninas que transportan los metales pesados.

Akhtar, et al. (2019), demostraron que la *Azolla* es muy eficiente en la remoción de metales como el cobre y el Zn, además observaron que su crecimiento ante la presencia de dichos metales fue diferencial y sustancial.

Sánchez (2012), menciona que los mecanismos de tolerancia y acumulación de Plomo, Cadmio, Níquel y Zinc en *Azolla* se encuentran afectados por las formas del Nitrógeno. El uso de nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) incrementa el crecimiento del helecho y la capacidad de acumulación de metales pesados, mientras que el nitrato de potasio (KNO_3) favorece el crecimiento de *Azolla*, sin embargo, disminuye su capacidad de acumulación de metales. Por otro lado, menciona que el helecho acuático resulta una opción biotecnológica para el tratamiento, así como, la eliminación de

metales pesados y metaloides presentes en aguas contaminadas.

En base a las diferentes características benéficas que la *Azolla* brinda, se propone la presente investigación con el objetivo de evidenciar la eficiencia fitorremediadora de la especie acuática *Azolla* bajo diferentes concentraciones de plomo en agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las pruebas experimentales fueron realizadas en el laboratorio de electro analítica y bioenergía de la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud de la Universidad Técnica de Machala, provincia de El Oro, Ecuador.

Se evaluó la capacidad de absorción de Pb por parte del helecho acuático *Azolla* spp. que se encontraba sobrenadante en suelo agrícola destinado para el cultivo de arroz. Se evaluó la capacidad fitorremediadora de *Azolla* sobre tres concentraciones de Pb (25, 50 y 75 ppm). Las muestras de suelo fueron recolectadas del sector La Cuca, cantón Arenillas, Provincia de El Oro, Ecuador, las mismas que fueron trituradas mediante un mortero de porcelana hasta su pulverización (tamaño de partícula uniforme). El experimento fue repetido tres veces. Se prepararon reactores plásticos para el proceso de absorción, colocando 500 g de suelo agrícola molido y 500 ml de solución de plomo. Se saturó el suelo con las soluciones de plomo en 24 horas, luego se compensó la solución absorbida de plomo en el suelo hasta completar la diferencia de volumen absorbido hasta una línea previamente marcada. Después de 24 horas de alcanzar este proceso de equilibrio, se colocaron sobre la superficie de cada reactor 75 g de *Azolla* spp. Posteriormente cada 20 minutos se tomaron 10 ml de solución sobrenadante en contacto con *Azolla* spp, para medir su concentración de Pb mediante voltimetría de onda cuadrada; para determinar la capacidad de absorción de *Azolla*, calculando la diferencia de concentraciones en el intervalo de tiempo antes mencionado durante la experimentación.

La descripción estadística de la eficiencia fitorremediadora de *Azolla* establecida en las distintas concentraciones de plomo en agua evaluadas (25, 50 y 75 ppm) se realizó con el cálculo de las medidas de resumen de datos, las que incluyen medidas de tendencia, dispersión o variabilidad, así como, los intervalos de confianza al 95%.

Para determinar si se presentan o no diferencias estadísticas significativas entre las diferentes concentraciones de plomo en función de la eficiencia fitorremediadora de *Azolla* se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para grupos independientes, debido a que la distribución de datos contenidos en el estudio no cumple con el supuesto de normalidad de datos.

La representación de los datos se realizó mediante gráficos de perfil que muestran la información de las tres variables utilizadas en el estudio (en el primero se utilizó las horas de efectuada la medición, concentraciones de plomo y plomo absorbido; y en el segundo se utilizaron las horas de realizada la medición, concentraciones de plomo y eficiencia fitorremediadora de Azolla).

El procesamiento de los datos se realizó con el paquete estadístico SPSS versión 22 de prueba para Windows y se utilizó una confiabilidad en la estimación del 95% ($\alpha=0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestra el plomo absorbido por la Azolla, en las diferentes horas de medición en el experimento, bajo las diferentes concentraciones de plomo estudiadas, donde se evidencia primeramente que la especie acuática cuando se contaminó el agua con 50 ppm de plomo, completó su absorción a las 2h20 minutos, sin embargo, después de transcurrido este lapso de tiempo, la planta absorbió 49,0 ppm de 75 utilizadas en la contaminación y 20,2 ppm cuando se emplearon 25 ppm de plomo en la contaminación del agua.

Por otro lado, se evidencia una tendencia al incremento de la absorbancia de plomo por parte de Azolla cuando se contaminó el agua con 25 y 50 ppm; no así, en el caso de 75 ppm, donde se muestra en comportamiento errático y una caída drástica trascurridas las 2h20 minutos.

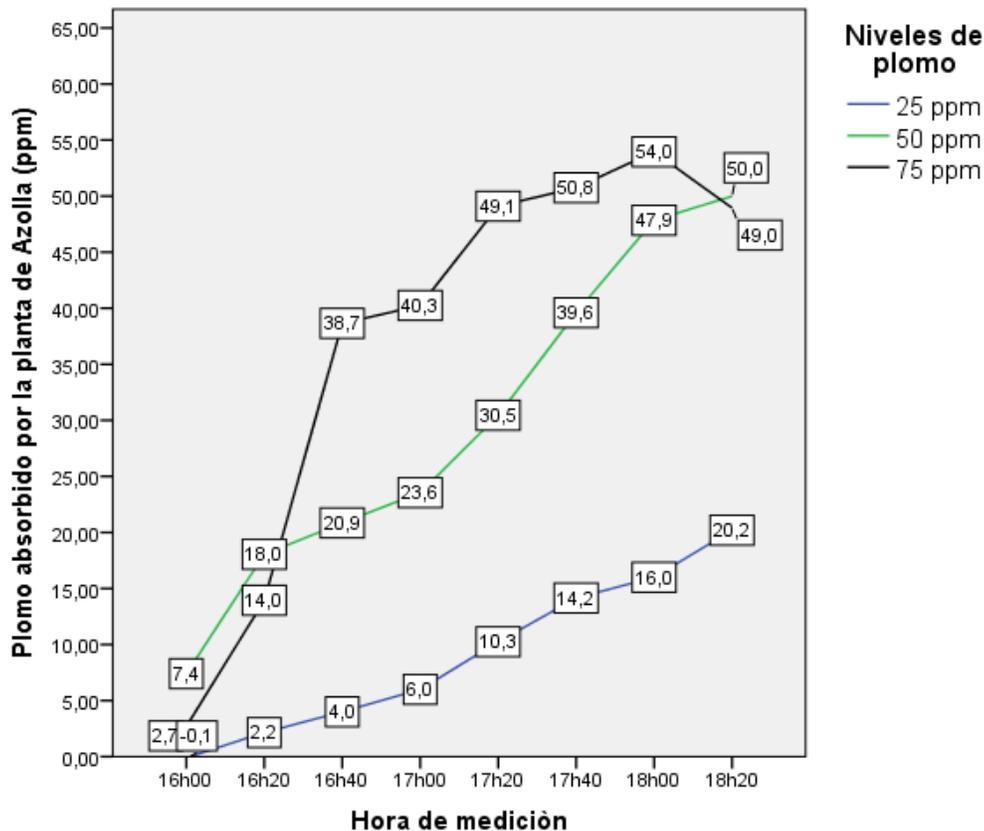


Figura 1. Plomo absorbido (ppm) por la especie acuática Azolla en las diferentes horas en que transcurrió el experimento en los diferentes niveles de plomo utilizados en la contaminación del agua.

Durante las 2h:20 minutos de duración del experimento, el comportamiento de la eficiencia fitorremediadora (%) de Azolla bajo las concentraciones de contaminación del agua con plomo (25, 50 y 75 ppm) muestra el menor valor (=36,4% y un =10,4%) cuando se contamina con 25 ppm y el mayor valor (=59,4% y un =10,7%) cuando se contamina con 50 ppm de plomo (Tabla 1).

Tabla 1. Estadísticos descriptivos que caracterizan la eficiencia fitorremediadora (%) de Azolla bajo las concentraciones de plomo en agua durante el periodo del experimento.

Concentraciones de Pb (ppm)	n	Media ()	Desviación estándar ()	Error estándar de la media ()	95% del intervalo de confianza para la media	
					Límite inferior	Límite superior
25	8	36,4	28,7	10,4	12,5	60,5
50	8	59,4	30,1	10,7	34,2	84,6
75	8	49,7	25,1	8,9	28,7	70,7
Total	24	48,5	28,5	5,8	36,	60,6

No se presenta diferencia estadística significativa entre las concentraciones de plomo en función de la eficiencia fitorremediadora de Azolla en el tiempo de duración del experimento, ya que el p-valor obtenido en la prueba de Kruskal-Wallis para grupos independientes fue de 0,353, sin embargo, la tendencia evidencia que cuando la concentración del metal es mayor la especie acuática estudiada alcanza una menor eficiencia (Figura 2).

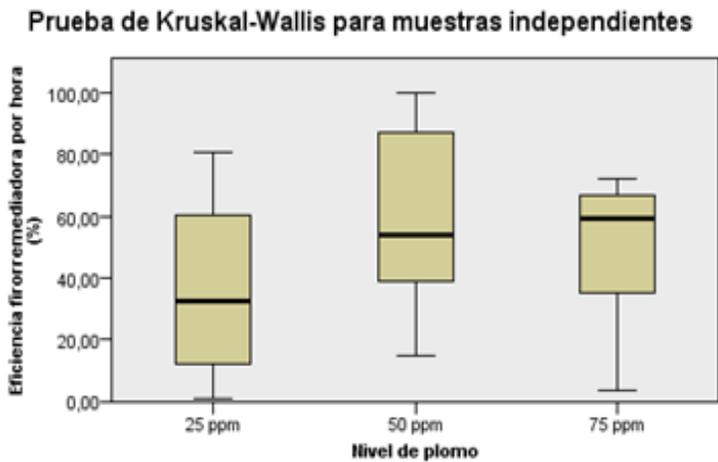


Figura 2. Diagrama de caja y sesgos que muestra la eficiencia fitorremediadora de Azolla en los niveles de Plomo utilizados en la contaminación del agua.

En la Figura 3 se evidencia la eficiencia de absorción de plomo durante el tiempo de experimentación por parte de la Azolla, mostrándose similar comportamiento que la Figura 1, concluyéndose que la *Azolla* presenta mayor eficiencia fitorremediadora de plomo a concentraciones de 50 ppm (Figura 3).

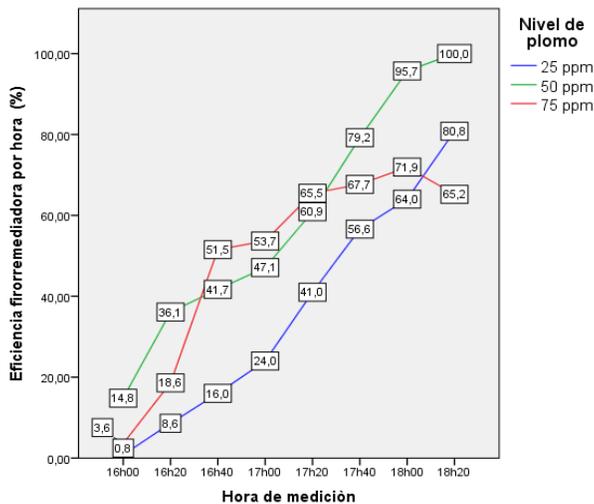


Figura 3. Eficiencia fitorremediadora de Azolla en las horas en que transcurrió el experimento en los diferentes niveles de plomo utilizados en la contaminación del agua.

Por otro lado, el análisis realizado en los dos momentos de las mediciones efectuadas, en la primera y segunda hora de duración del experimento, la Azolla mostró una eficiencia fitorremediadora superior con 50 ppm; aunque no diferente estadísticamente en el momento 1 (p-valor=0,113) y en el momento 2 (p-valor=0,052). Al comparar la diferencia en la eficiencia fitorremediadora de Azolla en la primera y segunda hora de duración del experimento se muestra que a 25 ppm alcanzó 48,3% de diferencia, a 50 ppm la diferencia fue 49,3%, sin embargo, a 75 ppm presentó una diferencia de 35,8%, lo que podría ser un indicador de la baja eficiencia de Azolla, cuando se presentan altas concentraciones de plomo en el agua, constituyendo un argumento sólido para utilizarla combinada con otras especies acuáticas con capacidad de fitorremediación (Figura 4).

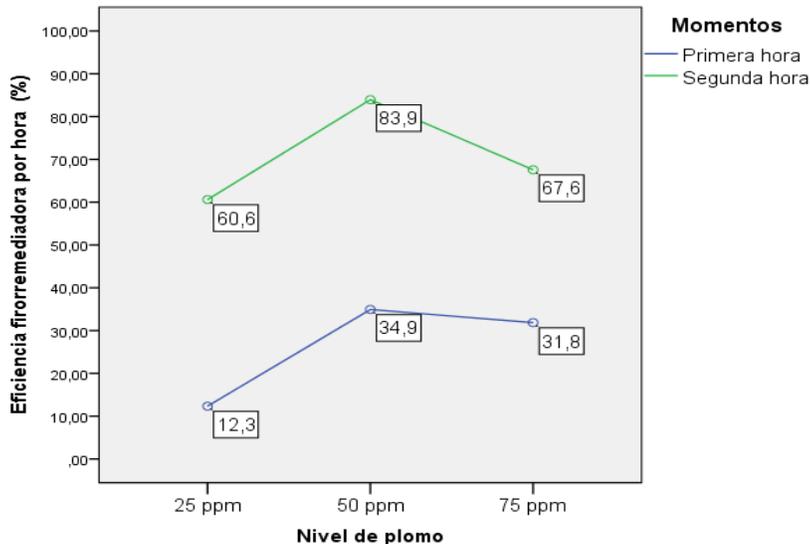


Figura 4. Eficiencia fitorremediadora de Azolla en la primera y segunda hora de transcurrido el experimento en los diferentes niveles de plomo utilizados en la contaminación del agua.

Estudios recientes han determinado la presencia de plomo en hortalizas entre ellas se cita a la lechuga, repollo, calabaza y brócoli (Chen, et al., 2013).

CONCLUSIONES

Durante el tiempo de duración del experimento se evidenció que de las tres concentraciones de plomo con que fue contaminada el agua, la Azolla absorbió mejor el metal pesado a 50 ppm; de acuerdo al análisis estadístico realizado no se presenta diferencia estadística significativa entre las concentraciones de plomo, aunque si de forma numérica. El helecho acuático presenta mayor eficiencia fitorremediadora de plomo cuando la concentración es de 50 ppm, debido a que una vez transcurridas las dos horas y 20 minutos de contacto entre la Azolla y la solución de plomo que satura suelo agrícola, su concentración determinada mediante voltametría de onda cuadrada fue de 0 ppm, es decir se alcanzó 100% de adsorción de plomo en el agua después de concluido el experimento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, Y., Paolini, J., Flores, S; Benzo, Z., & Zauahre, M; Toyo, L; Senior, A. (2003). Evaluación de metales pesados en tres residuos orgánicos de diferente naturaleza. *Multiciencias*, 3(1).
- Akhtar, M. S., Oki, Y., Bich, B. T. N., & Nakashima, Y. (2019). *Estimation of Phytofiltration Potential for Cu and Zn and Relative Growth Response of Azolla japonica and Azolla Pinnata*. 21, 895–909.
- Bennicelli, R., Stępniewska, Z., Banach, A., Szajnocha, K., & Ostrowski, J. (2004). The ability of *Azolla caroliniana* to remove heavy metals (Hg(II), Cr(III), Cr(VI)) from municipal waste water. *Chemosphere*, 55(1), 141–146.
- Burger, M., & Román, D. P. (2010). *Plomo Salud y Ambiente. Experiencia en Uruguay*. Organización Panamericana de la Salud, Universidad de la República.
- Casimiro, L., Casimiro, J. A., Suárez, J., Martín, G., & Rodríguez, I. (2019). Índice de aprovechamiento de fuentes renovables de energía, asociadas a tecnologías apropiadas en fincas familiares en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 42(4), 253–261.

- Chen, Y., Hu, W., Huang, B., Weindorf, D. C., Rajan, N., Liu, X., & Niedermann, S. (2013). Accumulation and health risk of heavy metals in vegetables from harmless and organic vegetable production systems of China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *98*, 324–330.
- Cho, C., Corapcioglu, M. Y., Park, S., & Sung, K. (2008). Effects of grasses on the fate of VOCs in contaminated soil and air. *Water, Air, and Soil Pollution*, *187*(1–4), 243–250.
- Delgadillo, A., Ramírez, C. A., Prieto, F., Villagomez, J. R., & Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: Una Alternativa para Eliminar la Contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *14*(2), 597–612.
- Gliessman, S. (2018). Transforming our food systems. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, *42*(5), 475–476.
- Kumar, P., & Bihari, K. (2020). Phytoremediation of waste water by using *Azolla-anabaena* consortium and its aquatic associates: A review. *Plant Archives*, *20*(1), 1933–1943.
- McBride, M. B. (1995). Toxic Metal Accumulation from Agricultural Use of Sludge: Are USEPA Regulations Protective? *Journal of Environmental Quality*, *24*(1), 5–18.
- Nava, C., & Méndez, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, *16*(3).
- Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, M., & González, E. E. (2016). Resolutions Adopted at the General Session of the VIII All India Pediatric Conference at Vellore on the 21st December, 1956. *The Indian Journal of Pediatrics*, *24*(1).
- Rivera, L., Vargas, O., Cun, M., & Rodríguez, I. (2017). Comportamiento de la azolla (*Azolla* spp.) bajo diferentes condiciones ambientales y de manejo. *Cumbres*, *3*(2), 9–16.
- Rodríguez Ayala, S. M. (2018). *Bioacumulación de metales pesados en schoenoplectus californicus (Cyperaceae) de las áreas bentónicas en dos estaciones climáticas: El caso de estudio del Lago San Pablo. Imbabura-Ecuador*. (Tesis Doctoral). Universidad de Sevilla.
- Sánchez, G. (2012). *Mecanismos de tolerancia del simbiosistema Azolla-Anabaena azollae ante arsénico y cobre*. (Tesis Doctoral). Colegio de Postgraduados.
- Singh, S. S., Mishra, A. K., & Upadhyay, R. S. (2010). Potentiality of *Azolla* as a suitable P-biofertilizer under salinity through acid phosphatase activity. *Ecological Engineering*, *36*(8), 1076–1082.
- Volke, T., & Velasco, J. A. (2002). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. Instituto Nacional de Ecología.