

Capacidad de fitorremediación de hierro de las lentejas de agua (*Lemna minor*) y la hydrilla (*Hydrilla verticillata*)

Iron phyto remediation capacity of duckweed (*Lemna minor*) and hydrilla (*Hydrilla verticillata*)

Bustamante, Alexandra; González, Marieth; Montero Solano, Alejandra I.; Valdivieso, Eileen; Domínguez, Viccelda

Alexandra Bustamante

Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil, Panamá

Marieth González

Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil, Panamá

Alejandra I. Montero Solano

Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil, Panamá

Eileen Valdivieso

Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil, Panamá

Viccelda Domínguez

viccelda.dominguez@utp.ac.pa

Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Hidráulica, Sanitaria y Ciencias Ambientales, Panamá

Revista de Iniciación Científica

Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

ISSN: 2412-0464

ISSN-e: 2413-6786

Periodicidad: Semestral

vol. 8, núm. 2, 2022

orlando.aguilar@utp.ac.pa

Recepción: 07 Febrero 2022

Aprobación: 14 Mayo 2022

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/338/3383367005/>



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NonComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Resumen: Este artículo describe el análisis realizado a la capacidad de las lentejas de agua (*Lemna minor*) de fitorremediar concentraciones de hierro, comparándolas con la capacidad de la hydrilla (*Hydrilla verticillata*) durante siete días. Para realizar este estudio se utilizó agua de clorada, a la cual se le agregó sulfato ferroso (II) heptahidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y se analizó las diferentes características químicas y físicas del agua. Tanto las lentejas de agua como la hydrilla presentaron una capacidad inicial de absorción similar durante las primeras 48 horas del experimento, presentando un porcentaje de reducción de la concentración de hierro en el agua de 49.07% por parte de la lenteja de agua y un 42.90% para la hydrilla. Al incrementar el intervalo de tiempo ($t > 1$ día) se ralentizó el proceso de absorción gradualmente hasta obtener un porcentaje de reducción mínimo de 1.10% para las lentejas de agua y un 15.93% para la hydrilla antes de presentar una desorción de 4.44% y 22.73% respectivamente al final del experimento. La hydrilla, con un porcentaje de reducción de hierro del 53.02%, en comparación al 51.44% de las lentejas de agua. Ambas especies demostraron una gran capacidad para remover hierro en agua, con potencial a ser un método económicamente viable para la fitorremediación del hierro en un medio acuático.

Palabras clave: Fitorremediación, hierro, *Hydrilla verticillata*, *Lemna minor*.

Abstract: This article describes the analysis of the ability of duckweed (*Lemna minor*) to phyto remediate iron concentrations, comparing them with the ability of hydrilla (*Hydrilla verticillata*) for seven days. To carry out this study, dechlorinated water was used, to which ferrous sulfate (II) heptahydrate ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) was added, and the different chemical and physical characteristics of the water were analyzed. Both the duckweed and the hydrilla presented a similar initial absorption capacity during the first 48 hours of the experiment, presenting a reduction percentage of the iron concentration in the water of 49.07% by the duckweed and 42.90% by the water lentils. for the hydrilla. By increasing the time interval ($t > 1$ day), the absorption process was gradually slowed down until a minimum reduction percentage of 1.10% was obtained for duckweed and 15.93% for hydrilla before presenting a desorption of 4.44% and 22.73% respectively at the end of the experiment. The hydrilla, with a percentage of iron reduction of

53.02%, compared to 51.44% of duckweed. Both species showed a great capacity to remove iron in water, with the potential to be an economically viable method for the phytoremediation of iron in an aquatic environment.

Keywords: Phytoremediation, iron, *Hydrilla verticillata*, *Lemna minor*.

1. INTRODUCCIÓN

La industrialización y falta de supervisión en industrias ha ocasionado que fuentes de agua se contaminen con residuos tóxicos. Los metales pesados son ejemplos de residuos tóxicos que son causantes de problemas ambientales que, además de

afectar a las plantas y animales, puede llegar a ocasionar daños nocivos al ser humano. Usualmente estos residuos son desechados a cuerpos de agua.

La eliminación de metales pesados de los efluentes inorgánicos se puede lograr mediante procesos de tratamiento convencionales. La eliminación de metales pesados de las aguas residuales industriales se puede lograr a través de varias opciones de tratamiento, que incluyen operaciones unitarias como precipitación química, coagulación, adsorción con carbón activado, intercambio iónico, extracción con solvente, flotación de espuma, electro-deposición, cementación y operaciones de membrana [1].

Debido a los altos costos y complejidad en la implementación de estos tratamientos, a lo largo de los años se han investigado nuevos métodos para eliminar metales pesados. La atención se ha enfocado en utilizar microorganismos, hongos o plantas para disminuir los niveles de sustancias tóxicas. Muchas plantas han demostrado ser efectivas para este trabajo, aprovechando las capacidades naturales de las plantas para absorber, acumular, almacenar o degradar sustancias orgánicas e inorgánicas. Esta tecnología se basa en la notable capacidad de las plantas para captar concentrados, desintoxicar o metabolizar diferentes elementos y compuestos presentes en el entorno [2]. La lenteja de agua es una de estas plantas. Esta planta tiene una capacidad para la adsorción de metales pesados y otras sustancias presentes en aguas residuales[3]. Es una planta acuática flotante de crecimiento rápido, ampliamente distribuida en regiones tropicales y subtropicales, que crece principalmente en lagos[4].

Las lentejas de agua tienen alta productividad, alta eficiencia de remoción de nutrientes y contaminantes y fácil producción. Gracias a esto ha sido utilizada en sistemas de tratamiento de aguas [5]. En la tabla 1 se presentan diferentes estudios sobre la capacidad de fitorremediación de las lentejas de agua.

TABLA 1.
Estudios sobre fitorremediación utilizando las lentejas de agua

Sustancias	Tiempo de experimento	Porcentaje de remoción	Referencia
Methylene blue (tinte azul)	24 horas	80.56 ± 0.44%	Imron et al. [6]
Nutrientes	30 días	Amoniaco nitrogenado total: 41%	Sarkheil and Safari[7]
		Fósforo total: 37.80%	
		Conductividad eléctrica: 2.60%	
		Sólidos totales suspendidos: 81.11%	

Sustancias	Tiempo de experimento	Porcentaje de remoción	Referencia
Zinc (Zn), Plomo (Pb), Hierro (Fe), Cobre (Cu), níquel(Ni)	15 días	Cu: 91% Zn: 83% Pb: 78% Fe: 77% Ni: 76%	Daud et al. [8]
Cadmio (Cd)	22 días	42-78%	Chaudhuri et al.[9]
Arsénico (As)	22 días	70%	Goswani et al.[10]
Plomo acuoso	7 días	95%	Hurd and Sternberg [11]
Cloruro y sulfato	21 días	Cloruro: 30% Sulfato: 16%	Saha et al. [12]
Isoproturon y Glyphosate	4 días	Isoproturon: 25% Glifosato: 8%	Dosnon-Olette et al. [13]
Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Plomo (Pb), Níquel (Ni)	31 días	Efluente industrial mezclado de aguas residuales Cd: 94.7% Cu: 94.5% Pb: 97.4% Ni: 99% Efluente municipal Cd: 94.3% Cu: 92.2% Pb: 89% Ni: 84.2%	Bokhari et al.[14]

Elaboración propia en base a [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14].

El hierro es parte de nuestra dieta, sin embargo, se han reportado muertes después de la ingestión de concentraciones de 40 mg / kg de peso corporal [15].

El exceso de hierro induce daño a los órganos en el hígado, el corazón, el páncreas, la tiroides y el sistema nervioso central. La principal causa de daño a los órganos se debe a la sobreproducción de especies reactivas de oxígeno (ROS) en presencia de exceso de hierro.

La reacción de Fenton, responsable de la producción de ROS, formas radicales de hidroxilos a partir de peróxido de hidrógeno. El radical hidroxilo es la fracción más tóxica entre

las ROS, su reacción con ácido nucleico base 8-hidroxi guanina (8-OHG) está altamente correlacionada con la teratogenicidad y la carcinogenicidad por estrés oxidativo. Otro ROS tóxico es el hidróxido de hidroxilo lipídico: ROOH.

En exceso de hierro aumentan los productos peroxidativos lipídicos, que forman los radicales ROO- (alquinoxirradical) y RO- (radical alcoxi). Estos poseen vidas medias más largas que los radicales hidroxilos y un mayor grado de toxicidad celular crónica y daño en el ADN [16].

Además de la lenteja de agua, la hydrilla también presenta un potencial como posible fitorremediador. Presenta características óptimas para su uso en diferentes tipos de cuerpos de agua: habilidad para crecer en un amplio rango de condiciones químicas en al agua, amplio rango de pH y nivel de salinidad del 7% o incluso

mayor. Mejora las condiciones de los nutrientes, como el nitrógeno y el fósforo, en ambientes controlados [17].

Con el fin de analizar la capacidad de las lentejas de agua en la fitorremediación de hierro y compararlo con la capacidad de la hydrilla, se aborda en este artículo las concentraciones de hierro a lo largo de los días de experimento.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se colocaron cuatro recipientes con nueve litros de agua dechlorada y se le agregó 2.241 g de sulfato ferroso (II) heptahidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), dos de estos envases contenían hydrilla y las otras dos lentejas de agua, obteniendo dos réplicas por cada planta estudiada. Posteriormente se colocaron tres controles con cinco litros de agua dechlorada, el primero de hydrilla, el segundo de lentejas de agua y por último solo agua dechlorada (figura 1).



FIGURA 1.

Colocación final de las muestras en el invernadero de las áreas verde.

2.1 Materiales y equipos

Para llevar a cabo la investigación se utilizaron los siguientes materiales y equipos (figura 2):

- 4 envases de 10 litros cada uno.
- 3 envases de 9.4 litros cada uno.
- 3 plantas de hydrilla.
- 40 lentejas de agua.
- Balanza analítica, marca OHUS, modelo Pioneer.
- Dechlorificador Aqua Safe.
- Reactivos iron phenanthroline.
- Multiparámetros, marca YSI, modelo Pro DSS.
- Espectrofotómetro, marca HACH, modelo DR 1900.
- PHmetro, marca OHAUS, modelo Starter 2100.
- Materiales misceláneos (vasos plásticos, tijeras, batas, guantes, papel toalla, jabón desinfectante, envoltura plástica, vasos químicos de 250 ml, matraz volumétrico de 50 ml).



FIGURA 2.
Algunos equipos utilizados en el laboratorio: A).
Espectrofotómetro, B). Multiparámetros y C). Balanza analítica.

2.2 Procedimiento

1. Se procedió a recortar los envases. Tres de estos fueron llenados con cinco litros de agua y otros cuatro con nueve litros de agua.
2. Se vertieron cuatro gotas por litro de clorificante y se dejó reposar por una hora reloj.
3. Posteriormente en dos de los envases de nueve litros se colocó hydrilla, en los otros dos, lentejas de agua, Luego en los envases de cinco litros a uno se le colocó hydrilla; al siguiente, lentejas de agua y al último solamente agua desclorificada.
4. Se rotularon los envases para tener un control del experimento y luego fueron colocados en una mesa dentro del invernadero en áreas verdes de la Universidad Tecnológica de Panamá.
5. Se pesó 2.241 g de sulfato ferroso (II) heptahidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) en la balanza analítica y se agregó a los cuatro envases de nueve litros.
6. Se inició el muestreo, tomando 250 ml en vasos desechables de cada muestra. Las muestras fueron llevadas al laboratorio de sanitaria de la Facultad de ingeniería civil, para iniciar los estudios.
7. Se analizaron las muestras utilizando el pHmetro para determinar pH, el espectrofotómetro para determinar la concentración de hierro y el multiparámetro para conocer la conductividad, temperatura, salinidad, presión y sólidos suspendidos.
 - Para realizar los estudios con el pHmetro se lavaron los electrodos con agua destilada, fueron secados con papel toalla y luego sumergidos en un vaso químico con 100 ml de muestra, este procedimiento fue realizado en todas las muestras [19].
 - Al realizar el análisis en el espectrofotómetro se vertió 10 ml de muestra en dos celdas de vidrio, una fue colocada en el equipo y se presionó el botón “cero” para señalar al equipo que es la muestra original y a la segunda celda se le colocó un sobre de reactivo iron phenanthroline, que fue agitado y luego medido. Si la lectura de concentración era superior al rango del espectrofotómetro (0 a 3 mg/l) se procedía a realizar diluciones tomando 1ml de muestra con la pipeta y vertiéndola en un matraz volumétrico de 50 ml, se agregaba 49 ml de agua destilada lentamente, dando pequeños giros al matraz mientras se vertía, para completar el volumen total del matraz. Posteriormente se procedió a realizar las mediciones de concentración y el resultado obtenido se multiplicó por 50[19] ver figura 3.

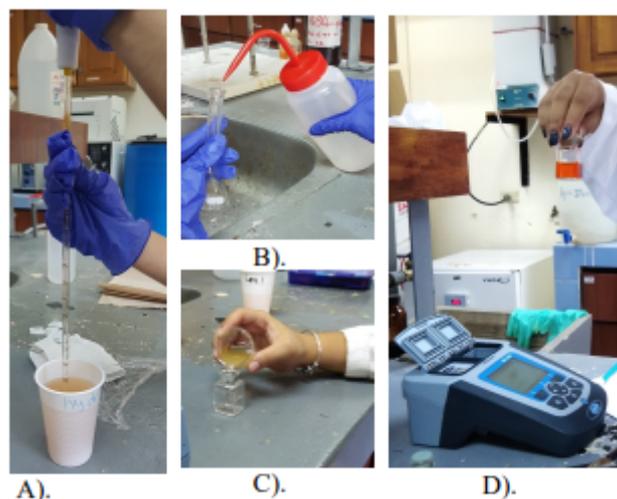


FIGURA 3.

Proceso para la lectura con el espectrofotómetro: A). Recolección de muestra con pipeta, B). Agregando 49 ml de agua destilada al matraz volumétrico, C). Vertiendo disolución en celda y D). Colocando la celda con reactivo en el equipo.

· Para obtener las lecturas del multiparámetro se lavó el electrodo con agua destilada y luego se secó con papel toalla, al secarlo se colocó el electrodo en un vaso químico con 100 ml de muestra [20].

8. Los estudios se realizaron durante siete días obteniendo diferentes resultados que fueron analizados y estudiados. El día cero (0) fue 24 h después de haber agregado el sulfato ferroso a los envases con las plantas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2, tanto para la concentración de hierro como el pH, temperatura, conductividad, sólidos totales disueltos y salinidad. Se observa en la figura 4 que tanto la lenteja de agua como la hydrilla poseen una capacidad inicial de absorción similar durante las primeras 48 horas del experimento, presentando un porcentaje de reducción de la concentración de hierro en el agua de 49.07% por parte de las lentejas de agua y un 42.90% para la hydrilla. Al incrementar el intervalo de tiempo ($t > 1$ día) se ralentizó el proceso de absorción gradualmente hasta obtener un porcentaje de reducción mínimo de 1.10% para la lenteja de agua y un 15.93% para la hydrilla antes de presentar una desorción de 4.44% y 22.73% respectivamente al final del experimento. Esta observación permite la comparación del porcentaje de hierro retirado del medio por ambas plantas acuática, con una mayor acumulación de hierro por parte de la hydrilla, con un porcentaje de reducción de hierro del 53.02%, en comparación al 51.44% de la lenteja de agua, aunque el comportamiento de las concentraciones sea semejante (figura 4).

TABLA 2.
Promedio de resultados de la lenteja de agua e hydrilla

	Días	Concentración de hierro (mg/l)	pH	T (°C)	Conductividad (S/cm)	Sólidos totales disueltos (g/L)	Salinidad (ppt)
Lentejas de agua	0	94.75	4.9	27.5	267.6	0.175	0.125
	1	48.25	5.5	22.5	267.3	0.170	0.130
	4	45.50	5.0	23.0	286.8	0.185	0.135
	6	45.00	4.4	23.5	280.6	0.180	0.130
	7	47.00	4.4	24.2	280.3	0.185	0.130
Hydrilla	0	82.75	5.4	28.7	268.1	0.175	0.128
	1	47.25	5.7	23.8	265.5	0.175	0.125
	4	39.25	4.5	24.0	275.6	0.180	0.130
	6	33.00	4.4	24.3	278.5	0.180	0.130
	7	40.50	4.7	23.8	287.0	0.185	0.135

El porcentaje de reducción presentado es inferior al obtenido en otros estudios de fitorremediación utilizando lentejas de agua para hierro [8]. Este estudio [8] tuvo duración de 15 días, 7 días más. Sin embargo, las concentraciones utilizadas fueron menor. Con una concentración inicial de 1.17 mg/L da como diferencia 93.75 mg/L. La concentración de hierro inicial es un factor importante en el análisis de la capacidad de fitorremediación de hierro de la lenteja de agua y la hydrilla.

En la figura 5 se observa que el medio de la solución de hierro es ligeramente ácido debido que el pH registrado está entre 4.35 a 5.51. Se observa que la relación entre la concentración de hierro retirado del medio por la lenteja de agua y el pH es inversamente proporcional, el ascenso máximo en el pH, aproximadamente un incremento de 12.67%, se registra con la máxima reducción en la concentración de hierro. En el caso de la hydrilla primero hay un aumento de 0.3 unidades, seguido una disminución de 1.2 unidades y finalmente un aumento final a 4.7 unidades, como se puede observar en la tabla 2.

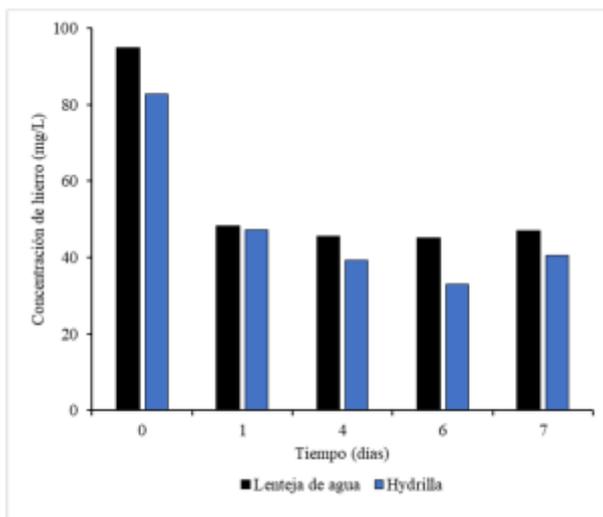


FIGURA 4.
Gráfico de comparación de la concentración de hierro en la lenteja de agua e hydrilla en un intervalo de tiempo.

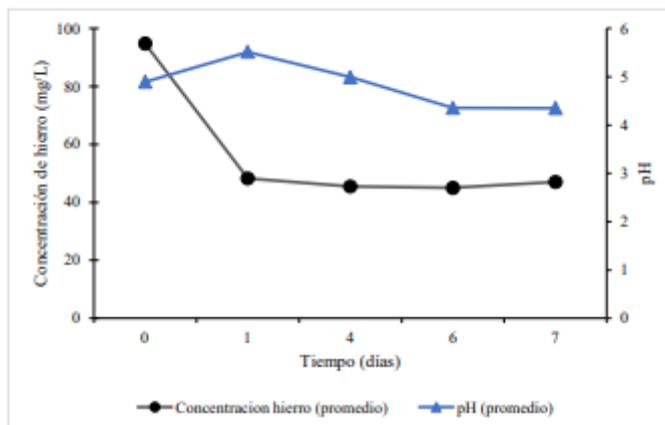


FIGURA 5.
Gráfico de comparación de la concentración de hierro en la lenteja de agua y el pH en un intervalo de tiempo.

Las medidas de conductividad se utilizan de forma rutinaria en muchas aplicaciones industriales y medioambientales como un modo rápido, económico y fiable para medir el contenido iónico en una solución [21] y se encuentra relacionada con las cantidades de sólidos disueltos en la solución. Al registrarse en la figura 6 la máxima reducción en la concentración de hierro y al efectuarse la desorción de hierro por parte de la lenteja de agua se produce en la conductividad un valor constante, en cambio con una ligera variación en la concentración de hierro se refleja un incremento de 6.80% en la conductividad. Cabe destacar que la mayor variación en los valores de la conductividad se produce con el descenso gradualmente lento de la concentración de hierro presente en el medio acuoso. La hydrilla también presenta un aumento en los valores de conductividad .

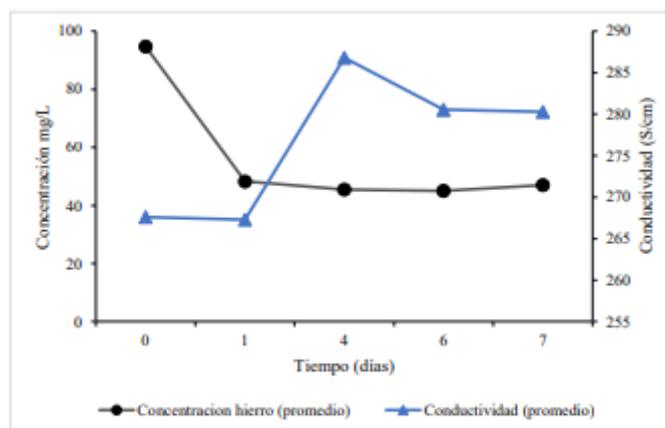


FIGURA 6.
Gráfico de comparación de la concentración de hierro en la lenteja de agua y la conductividad en un intervalo de tiempo.

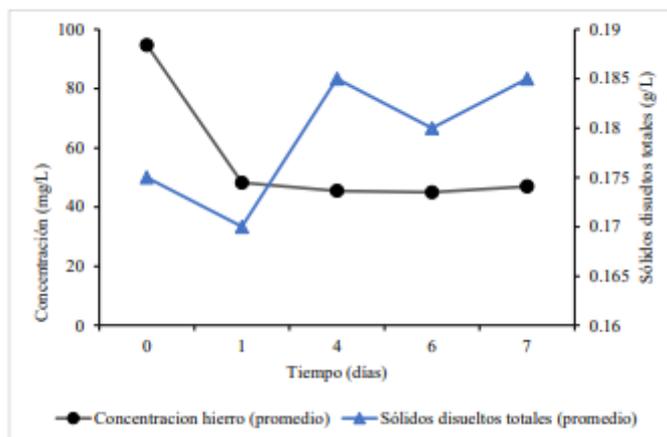


FIGURA 7.

Gráfico de comparación de la concentración de hierro en la lenteja de agua y los sólidos disueltos totales en un intervalo de tiempo.

Los sólidos disueltos totales (T.D.S., del inglés Total Dissolved Solids) representan una medición cuantitativa de los minerales, sales, metales, cationes o aniones de origen natural o antropogénico disueltos en el agua [22], es decir que la concentración de hierro presente en el medio está contemplada dentro los T.D.S. En la figura 7 se observa que a medida que la lenteja de agua absorbía parte de la concentración de hierro, el valor de los T.D.S. en el medio acuoso se incrementaba y reducía periódicamente, siendo la razón de este fenómeno la adición al medio de los productos procedentes del desarrollo de la lenteja de agua en conjunto con la disminución de la concentración de hierro del agua. La mayor variación que presentaron los T.D.S. es un incremento de 8.82% en el intervalo entre $t = 1$ día y $t = 4$ días; y el porcentaje promedio de incremento o reducción es de 2.8% para los demás intervalos de tiempo. La hydrilla tiene el valor inicial y final de T.D.S. igual que la lenteja de agua

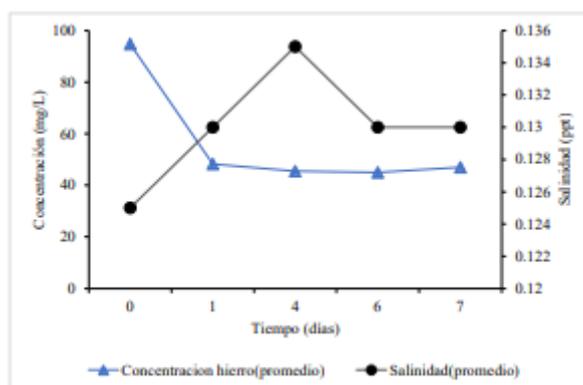


FIGURA 8.

Gráfico de comparación de la concentración de hierro en la lenteja de agua y la salinidad en un intervalo de tiempo.

La salinidad es una variable primordial para la movilidad de metales pesados, debido a que el ión Cl^- puede formar varios complejos con los metales pesados, los cuales pueden intercambiarse y aumentar o disminuir la disponibilidad al medio acuático [23]. Aunque este efecto se redujo con la aplicación de Tiosulfato de Sodio (Aqua Safe) para la descloración de las muestras de agua, se observa que en la figura 8 se produce una variación en la salinidad del medio con un porcentaje de cambio constante de 4%, menos durante el proceso

de desorción de hierro en el cual la salinidad se mantuvo constante. La hydrilla tiene mayor concentración de salinidad que la lenteja de agua, el porcentaje de aumento es del 5.46%.

4. CONCLUSIONES

La efectividad de la fitorremediación se deberá principalmente a la capacidad de absorción de la planta seleccionada con respecto al contaminante ambiental presente en el medio, por ello, este estudio proporciona nuevos datos para analizar el potencial de remoción de hierro en un medio acuoso de la lenteja de agua y de la hydrilla.

Durante los 7 días, se registró una remoción de hierro superior a los 50 % para ambas especies lo cual demuestra una capacidad de absorción aceptable, donde la hydrilla superó a la lenteja de agua por una diferencia de 1.60% en la capacidad de remoción de hierro del medio.

En cuanto a la interacción de la lenteja de agua y los parámetros fisicoquímicos, se reconoce que los TDS y la conductividad tienen relación con los cambios en la concentración de hierro en la disolución.

La fitorremediación con las especies vegetales lenteja de agua y en especial con la hydrilla deberá ser empleada en laboratorios y en sistemas cerrados.

La hydrilla no es apta para la fitorremediación in situ por ser una planta altamente invasora, considerada una plaga acuática, por la capacidad que presenta de intervenir con la flora nativa y afectar la calidad de agua del reservorio.

Para futuros estudios, realizar previo a la evaluación de la capacidad de remoción de contaminante, un periodo de crecimiento, nutrición y pesaje de los especímenes seleccionados para la fitorremediación, y en un amplio rango de condiciones químicas en el agua.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Melisabel Muñoz, la Lic. Yarisel González y al Sr. Agustín Ábrego por su constante apoyo.

REFERENCIAS

- [1] S. Gunatilake, "Methods of Removing Heavy Metals from Industrial Wastewater", Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies (JMESS), vol. 1, pp. 12-18, 2015. Available: <http://www.jmess.org/wp-content/uploads/2015/11/JMESSP13420004.pdf>
- [2] A. Yaqoob et al., "Current scenario of phytoremediation: progresses and limitations", International Journal of Biosciences (IJB), vol. 14, no. 3, pp. 191-206, 2019. Available: <https://innspub.net/ijb/current-scenario-phyto-remediation-progresses-limitations/>.
- [3] H. Ávila, A. Soto, J. Torres, M. Araujo, E. Gutiérrez and R. Pírela, "Metales pesados en la lenteja acuática (Lemna spp.) de la zona costera del lago de Maracaibo", Boletín del centro de investigaciones biológica, vol. 41, no. 1, pp. 114-122, 2007. Available: <https://produccioncientificaluz.org/index.php/boletin/article/view/96>
- [4] G. Roldán and J. Ramírez, Fundamentos de limnología neotropical, 2nd ed. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia, 1992
- [5] M. D. P. Arroyave, "La lenteja de agua (Lemna minor L.): una planta acuática promisoriosa", Esc. Ing. Antioquia, no. 1, pp. 33– 38, Feb. 2004. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/1492/149217763003.pdf>

- [6] M. F. Imron, S. B. Kurniawan, A. Soegianto, and F. E. Wahyudianto, "Phytoremediation of methylene blue using duckweed (*Lemna minor*)", *Heliyon*, vol. 5, no. 8, p. e02206, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e02206.
- [7] M. Sarkheil and O. Safari, "Phytoremediation of nutrients from water by aquatic floating duckweed (*Lemna minor*) in rearing of African cichlid (*Labidochromis lividus*) fingerlings", *Environmental Technology & Innovation*, vol. 18, p. 100747, May 2020, doi: 10.1016/j.eti.2020.100747.
- [8] M. K. Daud et al., "Potential of Duckweed (*Lemna minor*) for the Phytoremediation of Landfill Leachate", *Journal of Chemistry*, vol. 2018, pp. 1–9, Dec. 2018, doi: 10.1155/2018/3951540.
- [9] D. Chaudhuri, A. Majumder, A. K. Misra, and K. Bandyopadhyay, "Cadmium Removal by *Lemna minor* and *Spirodela polyrhiza*", *International Journal of Phytoremediation*, vol. 16, no. 11, pp. 1119–1132, Nov. 2014, doi: 10.1080/15226514.2013.821446.
- [10] C. Goswami, A. Majumder, A. K. Misra, and K. Bandyopadhyay, "Arsenic Uptake by *Lemna minor* in Hydroponic System", *International Journal of Phytoremediation*, vol. 16, no. 12, pp. 1221–1227, 2014, doi: 10.1080/15226514.2013.821452.
- [11] N. A. Hurd and S. P. K. Sternberg, "Bioremoval of aqueous lead using *Lemna minor*", *International Journal of Phytoremediation*, vol. 10, no. 4, pp. 278–288, Jul. 2008, doi: 10.1080/15226510802096036.
- [12] P. Saha, A. Banerjee, and S. Sarkar, "Phytoremediation Potential of Duckweed (*Lemna minor* L.) On Steel Wastewater", *International Journal of Phytoremediation*, vol. 17, no. 6, pp. 589–596, Jun. 2015, doi: 10.1080/15226514.2014.950410.
- [13] R. Dosnon-Olette, M. Couderchet, M. A. Oturan, N. Oturan, and P. Eullaffroy, "Potential Use of *Lemna Minor* for the Phytoremediation of Isoproturon and Glyphosate", *International Journal of Phytoremediation*, vol. 13, no. 6, pp. 601–612, Mar. 2011, doi: 10.1080/15226514.2010.525549.
- [14] S. H. Bokhari, I. Ahmad, M. Mahmood-Ul-Hassan, and A. Mohammad, "Phytoremediation potential of *Lemna minor* L. for heavy metals", *International Journal of Phytoremediation*, vol. 18, no. 1, pp. 25–32, Jan. 2016, doi: 10.1080/15226514.2015.1058331.
- [15] World Health Organization & International Programme on Chemical Safety, "Guidelines for drinking-water quality", Geneva, 1996.
- [16] Y. Kohgo, K. Ikuta, T. Ohtake, Y. Torimoto, and J. Kato, "Body iron metabolism and pathophysiology of iron overload", *Int. J. Hematol.*, vol. 88, no. 1, pp. 7–15, Jul. 2008, doi: 10.1007/s12185-008-0120-5
- [17] A. Kumar et al., "Spatiotemporal monitoring of hydrilla [*Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle] to aid management actions", *Weed Technol.*, vol. 33, no. 3, pp. 518–529, Jun. 2019, doi: 10.1017/wet.2019.13.
- [18] OHAUS, "STARTER 2100 Instructions Manual" 2014. <https://www.manualslib.com/manual/1377534/Ohaus-Starter-2100.html#manual>
- [19] HACH, "Manual de Usuario-DR1900", 2017. <https://www.hach.com/asset-get.download.jsa?id=21410202557>
- [20] YSI, "Manual de usuario-ProDSS", 2014. <https://www.ysi.com/File Library/Documents/Manuals/626973-YSI-ProDSS-User-Manual-RevB-Spanish.pdf>.
- [21] J. R. Gray, "Conductivity Analyzers and Their Application", in *Environmental Instrumentation and Analysis Handbook*, R. Down and J. Lehr, Eds. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2005, pp. 491–510.
- [22] L. K. Duffy and P. K. Weber-Scannell, "Effects of Total Dissolved Solids on Aquatic Organisms: A Review of Literature and Recommendation for Salmonid Species", *Am. J. Environ. Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–6, 2007.
- [23] J. P. Parra and L. F. Espinosa, "Distribución de metales pesados (Pb, Cd y Zn) en perfiles de sedimento asociado a *Rhizophora Mangle* en el Río Sevilla - Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia", *Bol. Invest. Mar. Cost.* [online], 2008, vol. 37, n.1, pp. 95-110. ISSN 0122-9761