



Fitorremediación con *Eichhornia crassipes* en aguas residuales del cantón Jipijapa, Ecuador

Phytoremediation with Eichhornia crassipes in wastewater from the Jipijapa canton, Ecuador

Fitorremediação com Eichhornia crassipes em águas residuárias do cantão Jipijapa, Equador

Bryan Esteven Duran Mera / Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador / duran-bryan5787@unesum.edu.ec

Margarita Jesús Lino García / Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador / margarita.lino@unesum.edu.ec

Recibido: 10/1/2022

Aceptado: 22/2/2023

Publicado: 31/3/2023

RESUMEN

Las aguas residuales son un problema ambiental que amenaza los ecosistemas acuáticos y terrestres, por lo que el objetivo de la investigación consistió en realizar un ensayo de fitorremediación con plantas acuáticas en aguas residuales de la planta de tratamiento del cantón Jipijapa. La metodología utilizada consistió en un experimento donde se pusieron a prueba tres plantas de *Eichhornia crassipes* de una zona con alta densidad poblacional; estas plantas pasaron por un proceso de aclimatación para luego ser sometidas al agua del efluente de la planta de tratamiento por nueve días. Antes y después de iniciado el bioensayo se analizaron los parámetros de pH, conductividad eléctrica, turbidez, color y olor. Las pruebas fisicoquímicas dieron como resultado un pH ácido de 5.5, conductividad de 156.0 S/cm, turbidez de 49.8%, coloración marrón oscuro y mal olor del agua antes de puesto en marcha el estudio. Pasados nueve días los parámetros fueron pH de 8.17, conductividad de 256.4 S/cm, turbidez de 4.71%, incoloro con sólidos e inodoro. Los resultados obtenidos corroboraron la problemática con el agua de la planta de tratamiento residual y la capacidad de fitorremediación de *E. crassipes*; la cual puede ser una solución amigable con el ambiente en el tratamiento de aguas residuales.

Palabras clave: bioensayo, biorremediación, plantas acuáticas, tratamiento de agua

ABSTRACT

Wastewater is an environmental problem that threatens aquatic and terrestrial ecosystems, so the objective of the research was to carry out a phytoremediation test with aquatic plants in wastewater from the Jipijapa canton treatment plant. The methodology used consisted of an experiment where three *Eichhornia crassipes* plants from an area with high population density were put to the test; these plants went through an acclimatization process and then were subjected to effluent water from the treatment plant for nine days. Before and after starting the bioassay, the parameters of pH, electrical conductivity, turbidity, color, and odor were analyzed. Physicochemical tests resulted in an acidic pH of 5.5, conductivity of 156.0 S/cm, turbidity of 49.8%, dark brown coloration, and bad odor of the water before starting the study. After nine days the parameters were pH of 8.17, conductivity of 256.4 S/cm, turbidity of 4.71%, colorless with solids and odorless. The results obtained corroborated the problem with the water from the residual treatment plant and the phytoremediation capacity of *E. crassipes*; which can be a friendly solution to the environment in the treatment of wastewater.

Keywords: aquatic plants, bioassay, bioremediation, water treatment

RESUMO

As águas residuais são um problema ambiental que ameaça os ecossistemas aquáticos e terrestres, por isso o objetivo da pesquisa foi realizar um teste de fitorremediação com plantas aquáticas em águas residuais da estação de tratamento do cantão de Jipijapa. A metodologia utilizada consistiu em um experimento onde foram testadas três plantas de *Eichhornia crassipes* de uma área com alta densidade populacional; essas usinas passaram por um processo de aclimação e, em seguida, foram submetidas ao efluente da estação de tratamento por nove dias. Antes e após o início do bioensaio, foram analisados os parâmetros de pH, condutividade elétrica, turbidez, cor e odor. Os testes físico-químicos resultaram em pH ácido de 5.5, condutividade de 156.0 S/cm, turbidez de 49.8%, coloração marrom escura e mau cheiro da água antes de iniciar o estudo. Após nove dias os parâmetros eram pH de 8.17, condutividade de 256.4 S/cm, turbidez de 4.71%, incolor com sólidos e inodoro. Os resultados obtidos corroboram o problema com a água da estação de tratamento de resíduos e a capacidade de fitorremediação de *E. crassipes*; que pode ser uma solução amigável ao meio ambiente no tratamento de efluentes.

Palavras chave: bioensaio, biorremediação, plantas aquáticas, tratamento de água

INTRODUCCIÓN

El agua natural es una necesidad inevitable en la vida del ser humano. Sin embargo, con el rápido aumento de la población y el creciente desarrollo industrial, muchas fuentes de agua se encuentran contaminadas. Esto se atribuye a la descarga continua de aguas residuales a las fuentes naturales, provenientes de las actividades antropogénicas (Camargo, 2021), es por ello que existe la necesidad de promover el desarrollo de tecnologías beneficiosas y de bajo costo para mejorar la calidad de las aguas residuales. El cantón Jipijapa en su mayoría está afectado por el fenómeno de la desertificación; donde uno de los factores críticos es la falta de agua para uso agrícola, lo que limita la producción y productividad de alimentos para el consumo humano y animal, por lo que es fundamental un uso adecuado de los recursos hídricos.

El agua residual tratada que sale del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales se descarga directamente al río Jipijapa y atraviesa los terrenos agrícolas de la comunidad Joa, siendo utilizada para la producción agrícola del sector, especialmente para el cultivo de plantas de ciclo corto. Este tipo de plantas requieren agua de regadío en tiempo de verano, convirtiéndola en un recurso indispensable para la zona y para la óptima calidad de los cultivos (Atoche, 2016).

Para la realización de un estudio relacionado con el recurso hídrico de un lugar específico es necesario diseñar un proyecto piloto. En este caso el proyecto busca comprobar la capacidad de la especie *Eichhornia crassipes* (conocida comúnmente como lechuguín o jacinto de agua) para la fitorremediación de impurezas orgánicas e inorgánicas de las aguas residuales del cantón Jipijapa. La *Eichhornia crassipes* es una planta acuática monocotiledónea autóctona de la región de América, encontrándose en zonas como el sur de Brasil y Ecuador. Se asocia con el grupo de plantas llamadas lirios y se distingue de otras plantas acuáticas similares por sus hojas brillantes, el bulto parcial de sus pecíolos y sus distintivas flores de color púrpura (Elenwo y Akankali, 2017).

Se ha encontrado que *E. crassipes* es un candidato adecuado para la biorremediación, lo que implica que existen ciertas características que posee la planta que favorecen su uso en esta tecnología, como lo puede ser la capacidad de intercambio catiónico que permite inmovilizar los nutrientes para evitar su contaminación (Delgado, 2020). El jacinto de agua ha demostrado la capacidad de reducir la concentración de metales pesados, colorantes e incluso los parámetros fisicoquímicos del agua (Priya y Selvan, 2017).

Si bien las especies macrófitas, como *E. crassipes*, son consideradas plagas por algunos autores debido a su capacidad de proliferación, pues en ocasiones invaden lagunas y causan diversos problemas; si se manejan adecuadamente su capacidad de multiplicarse, asimilarse y bioacumularse, pueden llegar a ser una alternativa para el tratamiento de aguas contami-

nadas con material orgánico (Barceló y López, 2015). Es por ello por lo que la presente investigación tuvo como objetivo realizar un ensayo de fitorremediación con plantas acuáticas en aguas residuales de la planta de tratamiento del cantón Jipijapa.

MATERIALES Y MÉTODOS

La planta de tratamiento de aguas residuales del cantón Jipijapa, en la provincia Manabí (Ecuador), se encuentra ubicada a cinco kilómetros de la cabecera cantonal, en la vía a la costa, en la comuna Joa.

Los análisis de las muestras se realizaron en el laboratorio de bromatología de la Universidad Estatal del Sur de Manabí. Dichos análisis se basaron en la metodología usada por González y Ramírez (2021) y consistieron en pruebas fisicoquímicas donde se analizaron *pH* (peachímetro PCE-PH 22), *conductividad eléctrica* (conductímetro Monitor P460), *turbidez* (turbidímetro HI 88713-02), *color* (tabla de Munsell, valores de la escala 7.5 YR) y *olor* (presencia o ausencia mediante el olfato). También se realizaron pruebas biológicas para determinar la presencia de coliformes *E. coli* y *Staphylococcus*. La investigación se llevó a efecto durante los meses de noviembre y diciembre de 2019.

La abundancia poblacional del jacinto de agua hace de esta especie un buen sujeto experimental, ya que la extracción de especímenes para estudios no afecta directamente a sus poblaciones. Los individuos que se utilizaron para el ensayo fueron recogidos y seleccionados de la represa Poza Honda, en la parte alta del río Portoviejo.

Procedimiento experimental

El modelo del experimento fue a nivel piloto con el objetivo de comprobar la capacidad de la especie *E. crassipes* para la fitorremediación en la remoción de materiales orgánicos en fuentes hídricas. Para ello se escogieron tres plantas de la especie en estudio, este número fue limitado por la cantidad de recipientes y por el espacio disponible para desarrollar el experimento. Dichas plantas se sometieron a un proceso de aclimatación por un lapso de cuatro días antes de iniciar el desarrollo del ensayo. Posteriormente, se sometieron al agua en estudio para analizar las características fisicoquímicas del agua y la presencia de contaminantes biológicos a lo largo de nueve días.

Etapa de aclimatación

Se colocaron las plantas seleccionadas en un recipiente con capacidad de 8 L, el cual fue previamente preparado con agua potable clorada y nutrida con vitamina E, para fortalecer las plantas y que soporten la carga de contaminantes del agua en estudio. Se dejaron en reposo por cuatro días, para probar la supervivencia de los individuos, durante los cuales se cambió periódicamente (una vez al día) el agua que se encontraba en un estado de estancamiento permanente

sin circulación. Se tomaron datos de crecimiento de raíz, hojas y tallo con ayuda de un calibrador o pie de rey, durante la adaptación para corroborar que los individuos en estudio siguen con su crecimiento y desarrollo normal, confirmando que siguen vivos para continuar con el estudio. La medición de las variables se hizo retirando del agua las plantas de la siguiente manera: hojas, medición a lo largo y ancho de cada una para posteriormente promediarlas; tallo, medición del largo de cada uno y cálculo del promedio y raíz, medición del largo por grupos similares y cálculo del promedio.

Etapas de muestreo de agua

Las muestras de agua residual que se recolectaron de la planta de tratamiento fueron en la laguna del efluente. Se obtuvieron muestras de la superficie, la parte media y del fondo, con un recolector específico para este procedimiento, diseñado por los investigadores utilizando materiales de pecera: una manguera de 5 m (diámetro: externo de 5 mm, interno de 4 mm) unida a una bomba *Homvik*, alimentada con una extensión eléctrica. Con este se tomaron 30 L de la muestra, los cuales se colocaron en tanques de polietileno esterilizados para su transporte hasta el área experimental.

Etapas de bioensayo

Las muestras de agua residual se colocaron en tanques de vidrio con una capacidad de 40 L de agua, en un sistema cerrado sin circulación asistida, pero con un sistema de aireación, a través de una bomba de aire pequeña para la oxigenación del agua. Las plantas se sometieron a las mismas condiciones ambientales en un proceso continuo. En este bioensayo se realizaron tres repeticiones con un intervalo de tiempo de una semana entre cada uno de ellos y fueron expuestos a condiciones ambientales normales *in situ* para garantizar que no existiera una variabilidad de condiciones muy extensa entre el procedimiento experimental y la capacidad de las lagunas.

RESULTADOS

Dimensiones de las plantas durante la aclimatación

La etapa de aclimatación mostró como resultado que el comportamiento de *E. crassipes* siguió un desarrollo normal de crecimiento de sus variables en estudio: raíz, hojas y tallos. Se observó desde el día uno de la etapa de aclimatación que la especie vegetal presentó cambios en su estructura física, destacando el crecimiento de la raíz de la planta 1, aumentando 1.2 cm hasta el día cuatro, a diferencia de las otras plantas que solo aumentaron entre 0.3 y 0.5 cm. En cuanto al crecimiento de hojas y tallos, todas las plantas presentaron crecimientos similares, valores bajos entre 0.1 a 0.3 cm, como se muestra en la *tabla 1*.

Tabla 1. Crecimiento de las plantas durante el proceso de aclimatación.

Planta	Parte vegetal	Día 0	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
Planta 1	Raíz	10.8	11.1	11.5	11.8	12.0
	Hojas	3.8	3.8	3.9	3.9	4.0
	Tallo	18.0	18.0	18.2	18.2	18.3
Planta 2	Raíz	15.0	15.0	15.3	15.3	15.5
	Hojas	8.3	8.3	8.4	8.4	8.6
	Tallo	25.0	25.0	25.2	25.3	25.3
Planta 3	Raíz	11.4	11.4	11.6	11.6	11.7
	Hojas	6.2	6.2	6.3	6.4	6.5
	Tallo	21.0	21.0	21.0	21.1	21.1

Nota: Los valores corresponden a medidas en cm.

Fuente: Elaborada por los autores.

Carga microbiana del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales

Las muestras de aguas residuales de la planta de tratamiento de Jipijapa exceden los valores aceptados de coliformes, *Escherichia coli* y *Staphylococcus* como se puede observar en los resultados del examen microbiológico (tabla 2). En caso de que el agua sea usada para consumo humano o para algún tipo de uso recreacional, estas cantidades de microorganismos presentes podrían afectar gravemente la salud de las personas.

Tabla 2. Carga microbiana del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del cantón Jipijapa.

Parámetros	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Límites Máximos*
Coliformes totales NMP/ml	3502	3850	4000	1000 NMP/g
Coliformes fecales NMP/ml	510	600	500	99.9 NMP/g
<i>E. coli</i> UFC/ml	530	510	550	500 UFC/ml
<i>Staphylococcus</i> fecales UFC/ml	280x50	235x50	260x50	1 x 10 ⁴ UFC/g

Nota: * límites establecidos para el agua de riego en Ecuador.

Fuente: Elaborada por los autores.

Parámetros fisicoquímicos del agua residual

Se registraron diariamente los valores de los parámetros fisicoquímicos del agua residual antes y después de aplicar el tratamiento, los que variaron de acuerdo con los días de exposición del bioensayo. Como se aprecia en la tabla 3, el valor del pH fue de 5.5 (ácido) el día 0 y el día 9 pasó a 8.17 (alcalino). De igual modo existió un aumento de la conductividad eléctrica que pasó de 156 a 256.4 (S/cm) del día 0 al 9. Por su parte, la turbidez disminuyó de 49.8 a 4.71%, proceso benéfico para la limpieza del agua, estos cambios se pueden visualizar más claramente en la

figura 1. Por otro lado, los parámetros del color y olor presentaron variaciones a partir del día 8, consistentes con la desaparición del color marrón oscuro y del mal olor.

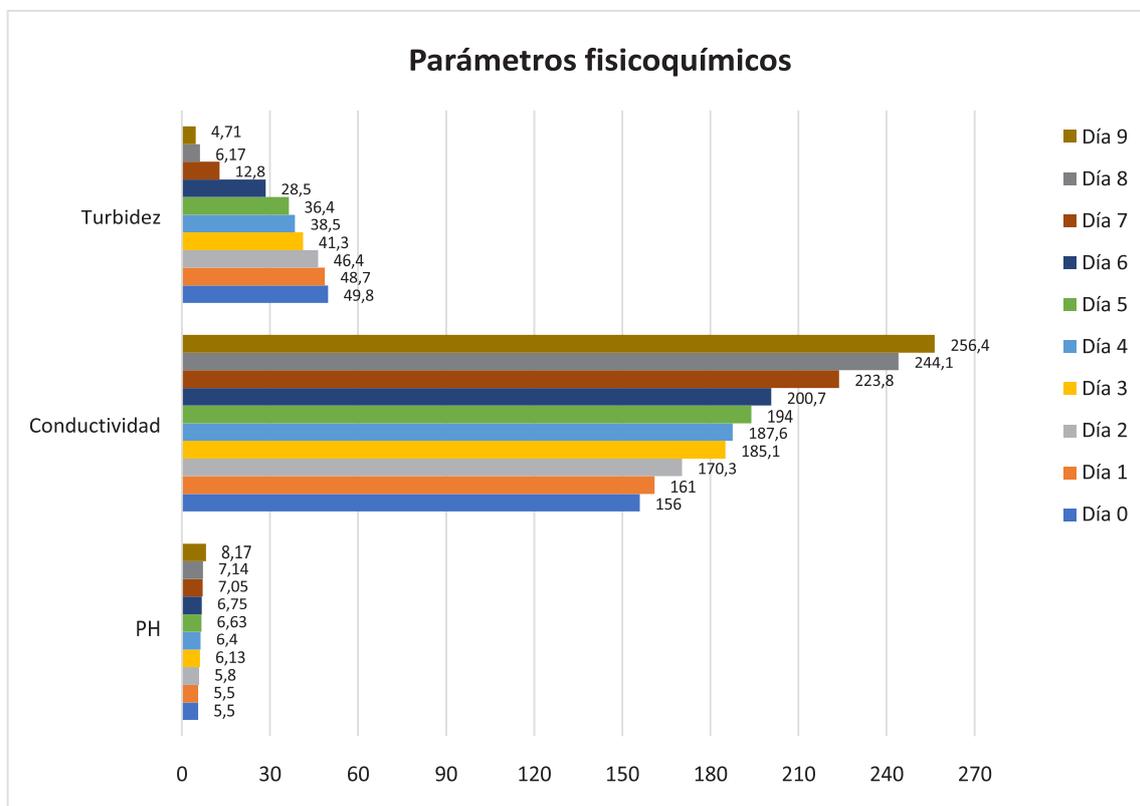
Tabla 3. Análisis fisicoquímico del agua residual.

Días	Parámetros				
	pH	Conductividad	Turbidez	Color	Olor
0	5.50	156.0	49.8	Marrón oscuro	Mal olor
1	5.50	161.0	48.7	Marrón oscuro	Mal olor
2	5.80	170.3	46.4	Marrón oscuro	Mal olor
3	6.13	185.1	41.3	Marrón oscuro	Mal olor
4	6.40	187.6	38.5	Marrón	Mal olor
5	6.63	194.0	36.4	Marrón claro	Mal olor
6	6.75	200.7	28.5	Marrón claro	Mal olor
7	7.05	223.8	12.8	Marrón claro	Mal olor
8	7.14	244.1	6.17	Incoloro con sólidos	Inoloro
9	8.17	256.4	4.71	Incoloro con sólidos	Inoloro

Nota: Valores correspondientes a los principales análisis realizados al agua residual, donde la conductividad se midió en siemens por centímetro y la turbidez en porcentaje.

Fuente: Elaborada por los autores.

Figura 1. Comparación de los valores de turbidez, conductividad eléctrica y pH durante los días de estudio.



Fuente: Elaborada por los autores.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua de la planta de tratamiento (*tabla 3*), indican que algunos parámetros medidos antes de la aplicación del bioensayo exceden los límites para efluentes estipulados en la *Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua* (Ministerio del Ambiente de Ecuador, 2013). Dicho documento establece que el agua para uso agrícola o de riego debe tener un pH entre 6.5 y 8.4, mientras que el agua antes del bioensayo tenía un pH de 5.5; lo mismo ocurre con la conductividad eléctrica, donde la Norma establece como un problema severo valores por encima de 3 milihom/cm y los valores del agua tomada fueron de 156 000 milihom/cm (equivalencia de 156 S/cm). Esto quiere decir que las aguas residuales descargadas al río Jipijapa están contaminadas, lo cual es muy perjudicial para el ambiente y la salud de la población jipijapense. En tal sentido Mendoza (2018), afirma que otros parámetros como la salinidad no son óptimos para el desarrollo de cultivos, además de que al ser un agua muy dura genera problemas de obturación en los sistemas de riego de la comunidad Joa, cantón Jipijapa.

La selección de la especie macrófita *E. crassipes*, como sujeto de prueba y ensayo, se debió a su potencial para la eliminación de materia orgánica; comprobando mediante análisis fisicoquímicos la disminución de contaminantes en el agua, pudiendo mencionar específicamente que esta especie tiene un alto potencial para remediar el pH, la conductividad eléctrica y la turbidez, así como las características organolépticas de color y olor, mejorando así la calidad del agua. Lo anterior es corroborado por Lu *et al.* (2018), quienes manifiestan que la fitorremediación con *E. crassipes* permite remover eficientemente los contaminantes orgánicos e inorgánicos del agua de una manera amigable con el ambiente y económicamente factible. Por su parte Zhou *et al.* (2017) corroboraron que la eficacia que presenta el jacinto de agua es adecuada para el tratamiento de aguas residuales. Por su parte, García y Sánchez (2022) manifiestan que *E. crassipes* es capaz de disminuir todos los indicadores probados de la calidad del agua (contaminantes físicos, químicos y microbiológicos) que se puede realizar en las aguas residuales para establecer un nivel que permita su uso con fines de riego; concordando con los resultados obtenidos en la investigación.

Por otro lado, Wani *et al.* (2017) revelaron que los metales pesados forman una de las categorías más grandes de contaminantes que las plantas acuáticas eliminan de manera eficiente, permitiendo la apertura de estudios relacionados a la biorremediación con *E. crassipes* en casos graves de contaminación con metales pesados en Ecuador; como pueden ser las zonas de minería, tanto legal como ilegal, que existen en el país. El uso de esta especie constituye una solución a la problemática del área directa de la investigación, funcionando como sistema de tratamiento de aguas residuales, que permite que estas no sean descargadas directamente a cauces naturales, lo que provoca la contaminación del suelo, las fuentes de agua y ocasiona problemas a la flora y fauna y riesgos a la salud humana (Guevara y Ramírez, 2015).

CONCLUSIONES

La potencialidad de *Eichhornia crassipes* como fitorremediador de aguas residuales en el cantón Jipijapa quedó demostrada con el descenso de los parámetros de las pruebas fisicoquímicas, convirtiendo a esta especie de macrófita en una solución para la eliminación de contaminantes en el agua de manera amigable con el ambiente.

El agua residual efluente de la planta de tratamiento del cantón Jipijapa no cumple con los requerimientos para ser usada como agua de riego en los cultivos de la comunidad Joa, por lo que se considera un riesgo para la salud de la flora, fauna y de las personas de la localidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Atoche, J. (2016). *Planta de tratamiento de aguas residuales para reuso de riego de parques y jardines en el distrito de Víctor Larco Herrera. Provincia de Trujillo. La Libertad* [Tesis de grado, Universidad Privada Antenor Orrego]. UPAO. Repositorio institucional. <https://bit.ly/41E78WM>
- Barceló, L. D. y López, M. J. (2008). *Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes* [Presentación]. Panel científico-técnico de seguimiento de la política de aguas de la Fundación Nueva Cultura del Agua, Sevilla, España. <https://bit.ly/2Pw7cpn>
- Camargo, L. X. (2021). *Evaluación de la carga contaminante de la quebrada Garzón por la descarga directa de aguas residuales de la red de alcantarillado del casco urbano del municipio de Garzón* [Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia]. UCC Repositorio institucional. <https://bit.ly/3mINUzy>
- Delgado, G. F. (2020). *Evaluación del bio-tratamiento de fluidos residuales de la empresa laboratorio portugal S.R.L mediante la "Eichornia crassipes" (buchón de agua) para la remoción de elementos ecotóxicos (cromo, arsénico y cadmio) y materia orgánica* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. UNSAA Repositorio institucional. <https://bit.ly/3J5L0vY>
- Elenwo, E. y Akankali, J. (2017). The Estimation of Potential Yield of Water Hyacinth: A Tool for Environmental Management and an Economic Resource for the Niger Delta Region. *Journal of Sustainable Development Studies*, 9(2), 115-137. <https://infinitypress.info/index.php/jsds/article/view/1329>
- García, E. F. y Sánchez, D. S. (2022). *Eficiencia de Fitorremediación por Chrysopogon zizanioides y Eichhornia crassipes para el tratamiento de aguas grises domésticas en Cantoral, Ica 2022* [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. UCV Repositorio institucional. <https://bit.ly/3Ld7nSQ>

- González, J. y Ramírez, E. (2021). Implementación de la *Eichhornia crassipes*, como alternativa biorremediadora en el tratamiento de aguas residuales en el cantón El Pangui – Ecuador. En R. Abreu-Naranjo, R. Alemán-Pérez y C. Bravo-Medina (Eds.) *Primer congreso gestión ambiental y conservación de la biodiversidad* (pp. 333-346). Universidad Estatal Amazónica. <https://bit.ly/3YER2JI>
- Guevara, M. y Ramírez, L. (2015). *Eichhornia crassipes*, su invasividad y potencial fitorremediador. *La Granja*, 22(2), 5-11. <https://bit.ly/3ZWspcB>
- Lu, B., Xu, Z., Li, J. y Chai, X. (2018). Removal of water nutrients by different aquatic plant species: An alternative way to remediate polluted rural rivers. *Ecological engineering*, 110, 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.09.016>
- Mendoza, G. (2018). *La Calidad del agua de la subcuenca río Jipijapa y su utilización para riego en el valle de Joa* [Tesis de grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. UNESUM Repositorio institucional. <https://bit.ly/3FdvmxM>
- Ministerio del Ambiente de Ecuador. (2013). *Revisión y actualización de la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua*. <https://bit.ly/3yvPdV8>
- Priya, E. y Selvan, P. (2017). Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) - an efficient and economic adsorbent for textile effluent treatment - A review. *Arabian Journal of Chemistry*, 10(2), S3548–S3558. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.03.002>
- Wani, R., Ganai, B., Shah, M. y Uqab, B. (2017). Heavy metal uptake potential of aquatic plants through phytoremediation technique - A review. *Journal of Bioremediat & Biodegrad*, 8(4), 404. <https://doi.org/10.4172/2155-6199.1000404>
- Zhou, X., Wang, G. y Yang, F. (2017). Characteristics of growth, nutrient uptake, purification effect of *Ipomoea aquatica*, *Lolium multiflorum*, and *Sorghum sudanense* grown under different nitrogen levels. *Desalination*, 273(2-3), 366-374. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.01.057>