



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), mayo-junio 2024,
Volumen 8, Número 3.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3

ESTUDIO DESCRIPTIVO DEL POTENCIAL FITORREMEDIADOR

DESCRIPTIVE STUDY OF THE PHYTOREMEDIATION POTENTIAL
OF AZOLLA, LEMNA MINOR AND EICHHORNIA CRASSIPES IN
CONTAMINATED ENVIRONMENTS

Dra. Leonor Margarita Rivera Intriago
Universidad Técnica de Machala, Ecuador

Holger Rogelio Rivera Intriago
Universidad Técnica de Machala, Ecuador

Irán Rodríguez Delgado
Universidad Técnica de Machala, Ecuador

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.12182

Estudio Descriptivo del Potencial Fitorremediador de Azolla, Lemna Minor Y Eichhornia Crassipes en Ambientes Contaminados

Dra. Leonor Margarita Rivera Intriago¹lriviera@utmachala.edu.ec<https://orcid.org/0000-0002-9407-1525>

Universidad Técnica de Machala

Ecuador

Holger Rogelio Rivera Intriagohriviera_est@utmachala.edu.ec<https://orcid.org/0000-0003-4112-9874>

Universidad Técnica de Machala

Ecuador

Irán Rodríguez Delgadoirodriguez@utmachala.edu.ec<https://orcid.org/0000-0002-6453-2108>

Universidad Técnica de Machala

Ecuador

RESUMEN

Este artículo describe el potencial fitorremediador de tres plantas acuáticas: *Azolla spp*, *Lemna minor* (lenteja de agua) y *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) en ambientes contaminados. *Azolla spp*, también conocida como helecho de agua, fija nitrógeno atmosférico con la cianobacteria Anabaena, lo que la convierte en un excelente biofertilizante. Es eficaz en eliminar metales pesados como cadmio y plomo y en absorber nutrientes como nitrógeno y fósforo, reduciendo la eutrofización. Su alta productividad de biomasa permite su uso como suplemento nutricional y biocombustible. *Lemna minor*, una planta flotante de rápido crecimiento y alta producción de biomasa, es eficaz en absorber nutrientes y metales pesados, lo que la hace adecuada para limpiar aguas residuales. Su adaptabilidad y bajo costo operativo la convierten en una opción económica para proyectos de fitorremediación. *Eichhornia crassipes*, a pesar de ser invasiva, es eficiente en eliminar metales pesados y otros contaminantes, y en absorber nutrientes. Su biomasa se puede usar para producir biogás y compost. En resumen, *Azolla*, *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes* tienen un notable potencial fitorremediador, cada una con características únicas adecuadas para diferentes aplicaciones y contextos ambientales, dependiendo de las necesidades específicas del ambiente contaminado.

Palabras Clave: fitorremediación, helechos acuáticos, contaminación

¹ Autor principal

Correspondencia: lriviera@utmachala.edu.ec

Descriptive Study of the Phytoremediation Potential of Azolla, Lemna Minor and Eichhornia crassipes in Contaminated Environments

ABSTRACT

This article describes the phytoremediation potential of three aquatic plants: Azolla spp, Lemna minor (duckweed) and Eichhornia crassipes (water hyacinth) in contaminated environments. Azolla spp, also known as water fern, fixes atmospheric nitrogen with the cyanobacteria Anabaena, making it an excellent biofertilizer. It is effective in removing heavy metals such as cadmium and lead and in absorbing nutrients such as nitrogen and phosphorus, reducing eutrophication. Its high biomass productivity allows its use as a nutritional supplement and biofuel. Lemna minor, a fast-growing, high biomass-producing floating plant, is effective in absorbing nutrients and heavy metals, making it suitable for cleaning wastewater. Its adaptability and low operating cost make it an economical option for phytoremediation projects. Eichhornia crassipes, despite being invasive, is efficient in removing heavy metals and other contaminants, and in absorbing nutrients. Its biomass can be used to produce biogas and compost. In summary, Azolla, Lemna minor and Eichhornia crassipes have remarkable phytoremediation potential, each with unique characteristics suitable for different applications and environmental contexts, depending on the specific needs of the contaminated environment.

Keywords: phytoremediation, aquatic ferns, pollution

Artículo recibido 10 junio 2024

Aceptado para publicación: 28 junio 2024



INTRODUCCIÓN

Estudiar la potencialidad de ciertos helechos acuáticos como fitorremediadores es crucial debido a su capacidad única para absorber contaminantes del suelo y el agua. Las investigaciones realizadas sobre estos helechos han demostrado su eficacia en la fitorremediación de metales pesados, hidrocarburos y otros contaminantes, destacándose además por su amplia distribución geográfica, adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales y capacidad para acumular grandes cantidades de contaminantes. Estas características han sido consideradas por los investigadores para establecer soluciones efectivas y sostenibles para la remediación de suelos y aguas contaminadas.

Diferentes tecnologías biológicas, han sido generadas para recuperar ambientes contaminados por metales pesados, incluyendo la biorremediación, bioestimulación y fitorremediación, en las que las actividades metabólicas de ciertos organismos permiten la degradación, transformación o remoción de los contaminantes a productos metabólicos inocuos. Es importante considerar los criterios para elegir el método correcto para remediar los suelos, como las características del sitio, el tipo de contaminante, concentración y características fisicoquímicas, las propiedades fisicoquímicas y el tipo de suelo a tratar, y el costo.

En el campo de la fitorremediación, los helechos acuáticos han ofrecido soluciones innovadoras y sostenibles para abordar la contaminación en ecosistemas acuáticos. Su habilidad única para absorber y acumular contaminantes como metales pesados, nutrientes en exceso y compuestos orgánicos tóxicos los convierte en herramientas valiosas para restaurar la calidad del agua y mantener la salud de los ecosistemas.

La fitorremediación se define como una técnica que utiliza plantas para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes. También considerada como una fitotecnología, ofrece diversidad de ventajas en relación con los métodos físicoquímicos tradicionales, destacándose por su amplia aplicabilidad y bajo costo. Se ha identificado una amplia diversidad de especies de plantas que se emplean como fitorremediadoras, incluyendo a las hiperacumuladoras, conocidas por su gran capacidad para acumular metales pesados.

Entre las diversas especies vegetales, los helechos acuáticos como *Azolla spp.*, junto con *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) y *Lemna spp.* (lenteja de agua), se destacan por su capacidad excepcional

para absorber y acumular sustancias nocivas. Estas especies, además de ser extremadamente eficaces en la purificación de aguas contaminadas con metales pesados, nutrientes en exceso y compuestos orgánicos, ofrecen ventajas adicionales en términos de costo, implementación y sostenibilidad ambiental.

Este artículo se enfoca en explorar las tres especies de helechos acuáticos como opción en la fitorremediación, examinando su eficiencia, mecanismos de acción y aplicaciones prácticas para mitigar los impactos negativos de la contaminación en entornos acuáticos.

Azolla spp.

La Azolla,, conocida comúnmente como helecho de agua, flotante, doradilla o yerba del agua, pertenece a la familia Azollaceae. Este helecho se caracteriza por tener hojas bilobuladas de 2-4 mm y tallos profusamente ramificados con raíces auténticas que cuelgan hacia abajo en el agua, emergiendo endógenamente con pelos radicales (Lumpkin & Plucknett, 1982). Se han realizado la identificación de diversas especies de Azolla mediante técnicas moleculares en el Sur de África revelando que 24 muestras correspondían a la especie *A. cristata*, emparentada con *A. filiculoides* (Madeira et al., 2016). En Ecuador mediante investigaciones realizadas por Montaña (2008) de las cuatro especies de Azolla que han sido identificadas, se ha logrado establecer la distribución geográfica de las mismas: *Microphylla Kaulf* en Galápagos y Guayas; *Caroliniana wild* en el Guayas, *Filiculoides Lam* en Cotopaxi en Imbabura y en el Napo; y *Mexicana C.* en la Provincia de Cotopaxi, de las cuales a la *Azolla-Caroliniana* se la considera como nativa.

Las propiedades variables de la *Azolla spp.* la han hecho útil como suplemento nutricional para humanos y animales, además de su uso en biofertilizantes, biocombustibles, bioindicadores y en el tratamiento de aguas residuales (Suyog et al., 2020). Su adaptabilidad a diversos ambientes y su alta productividad de biomasa la hacen ideal para cultivo de bajo costo (Singh, Mishra, & Upadhyay, 2010). Molinet y Domínguez (1996) observaron una tasa de crecimiento de *Azolla spp.* de hasta 4.0 g/MS/m²/día.

En cuanto a su capacidad de bioremediación, Sood et al. (2012) demostraron cómo la Azolla puede eliminar eficazmente metales pesados como el cadmio y el plomo de las aguas contaminadas, sugiriendo su utilidad en bioacumulación. Por otro lado, Arora et al. (2018) evidenciaron su eficacia en el

tratamiento de aguas residuales en Brasil, absorbiendo nutrientes excesivos y reduciendo la eutrofización.

Por otro lado, Bianchini Jr. (2017) exploró su capacidad para capturar contaminantes atmosféricos, mientras que Zheng et al. (2014) evaluaron su uso como bioindicador, destacando su sensibilidad a variados contaminantes. Además, Aldás et al. (2016) mostraron cómo la *Azolla* actúa como un biofertilizante rico en nitrógeno, mejorando el crecimiento del maíz en condiciones experimentales.

Por otro lado, López et al. (2019) evaluaron a la especie *Azolla Caroliana* como un organismo fitorremediador para cromo hexavalente, encontrando que éste helecho podía sobrevivir incluso a altas concentraciones de este metal, lo que sugiere su uso potencial como bioindicador. Estudios realizados por Talebi et al. (2019) establecieron la capacidad de diferentes especies de *Azolla* para formar complejos de fitoquelatina con metales pesados y secuestrarlos en vacuolas, subrayando el rol significativo de estas plantas en la fitorremediación.

Eichhornia crassipes

Eichhornia crassipes, comúnmente conocida como jacinto de agua, es una planta acuática invasiva que ha sido objeto de numerosas investigaciones debido a su impacto ecológico y potenciales aplicaciones en diversas áreas.

Eichhornia crassipes, comúnmente conocida como jacinto de agua, es una de las plantas acuáticas más invasivas del mundo, perteneciente a la familia Pontederiaceae y encontrada en regiones tropicales y subtropicales. Aunque causa problemas ecológicos y socioeconómicos significativos, también tiene múltiples aplicaciones industriales. Es utilizada en la producción de bioenergía y biofertilizantes, tratamiento de aguas residuales mediante la absorción de metales pesados, y como alimento para animales. Esta planta es rica en diversos metabolitos secundarios bioactivos, incluyendo esteroides, alcaloides, fenoles, flavonoides, taninos y saponinas, los cuales poseen propiedades terapéuticas (Bakrim, y otros, 2022)

Se han analizado las diferentes partes de la planta (raíces, tallos, hojas y flores) en términos de extractos polares y lipofílicos, encontrando que las hojas y tallos son fuentes ricas en estigmasterol y extractos antioxidantes, lo que sugiere su valorización en aplicaciones industriales y médicas (Silva y otros, 2015)

Eichhornia crassipes, es una planta acuática, reconocida tanto por sus ventajas como por sus inconvenientes. Entre sus beneficios se destaca su capacidad fitorremediadora, eliminando eficazmente metales pesados y contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos en aguas residuales. Este helecho, no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, sino que también genera subproductos valiosos como biogás y compost. Sin embargo, su rápida tasa de crecimiento puede ser perjudicial en cuerpos de agua, ya que complica su manejo y control (Resania, et al., 2015). Investigaciones de campo, se ha demostrado que *E. crassipes* puede acumular y remediar metales pesados en estanques de cenizas volantes, lo que destaca su capacidad para tolerar y sobrevivir en ambientes altamente contaminados (Pandey, 2016). Por otro lado, la habilidad del jacinto de agua para absorber nutrientes, como nitrógeno y fósforo, contribuye significativamente a la reducción de la eutrofización y mejora la calidad del agua. De igual manera, su capacidad para acumular metales pesados convierte a esta planta en una herramienta efectiva para la fitorremediación de aguas contaminadas.

Eichhornia crassipes, es eficiente en el tratamiento de aguas residuales en sectores agroindustriales, reduciendo significativamente los niveles de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos (SS), mejorando así la calidad general de las aguas tratadas (Si, B. 1993).

Es importante destacar que *Eichhornia crassipes*, aunque es considerada como malezas acuáticas invasoras debido a su grave impacto en los ecosistemas acuáticos, también ofrece varias ventajas como las mencionadas anteriormente. Sin embargo, su invasividad es una desventaja significativa, ya que puede desplazar a las especies nativas y alterar los hábitats acuáticos. Para controlar esta desventaja, se han desarrollado modelos predictivos que estiman su distribución potencial bajo diferentes escenarios climáticos futuros. Estos modelos son cruciales para la gestión y el control de su expansión, permitiendo a las autoridades implementar medidas preventivas y de control de manera más eficaz. Estas medidas incluyen la utilización de métodos biológicos, químicos y mecánicos para limitar su propagación y mitigar sus efectos negativos en los ecosistemas acuáticos. (Kriticos y Brunel, 2016)

Lemna minor

Lemna minor o conocida como lenteja de agua, pertenece a la familia Lemnaceae, es una planta acuática flotante de pequeño tamaño que se encuentra en cuerpos de agua dulce de todo el mundo. Esta

planta, se caracteriza por sus hojas diminutas, de forma ovalada, que flotan en la superficie del agua y por su rápido crecimiento, lo que la convierte en una especie de gran interés tanto ecológico como económico (Ceschin y otros, 2019).

Una de las propiedades más destacadas de la lenteja de agua, es su capacidad como fitorremediador, demostrando ser altamente eficaz debido a varias razones (Mkandawire & Dudel, 2005), entre ellas, la notable capacidad para absorber nutrientes como nitratos y fosfatos, así como metales pesados y otros contaminantes presentes en el agua. Esto la hace ideal para la limpieza de aguas residuales y para la recuperación de ambientes acuáticos contaminados (Ceschin y otros, 2019).

Por otro lado, su rápido ciclo de crecimiento y su capacidad para producir grandes cantidades de biomasa en poco tiempo permiten la extracción continua de contaminantes del agua. Además, la biomasa generada puede ser utilizada para la producción de biocombustibles o como abono, cerrando un ciclo de aprovechamiento sostenible (Xu, Sun, Chen, & Xu, 2011).

Entre las ventajas de la lenteja de agua, es que puede crecer en una amplia gama de condiciones ambientales, desde aguas contaminadas con metales pesados hasta ambientes con altos niveles de nutrientes, lo que la convierte en una opción versátil para diversos proyectos de fitorremediación razones (Mkandawire & Dudel, 2005)

También se puede destacar entre las ventajas que el uso de lenteja de agua en programas de fitorremediación es relativamente económico en comparación con otros métodos de tratamiento de aguas, dado que no requiere de equipos costosos ni de altos consumos de energía (Ziegler P. y otros, 2015)

Bajo este contexto, la lenteja de agua se presenta como una solución biotecnológica eficiente y sostenible para la remediación de ambientes acuáticos contaminados, ofreciendo beneficios tanto ecológicos como económicos. Su capacidad para absorber contaminantes, su rápido crecimiento y su adaptabilidad a diversas condiciones ambientales la posicionan como una planta de gran potencial en el campo de la fitorremediación.

CONCLUSIÓN

Mediante este estudio se concluye que tanto la *Azolla* spp., *Eichhornia crassipes* como *Lemna minor* son plantas altamente eficaces para la fitorremediación, cada una con características y beneficios únicos

que las hacen adecuadas para diferentes aplicaciones y contextos ambientales. El helecho acuático *Azolla* spp. se distingue por su alta productividad y adaptabilidad, convirtiéndola en una opción económica para la bioacumulación de metales pesados como cadmio, plomo, entre otros. Su uso como biofertilizante y bioindicador, así como su capacidad para mejorar el crecimiento de cultivos, subraya su multifuncionalidad y utilidad en diversas aplicaciones ambientales. Por otro lado *Eichhornia crassipes*, es especialmente útil en la purificación de aguas residuales y en la producción de subproductos industriales, su facilidad de adaptación y bajo costo operativo la convierten en una opción económica para proyectos de fitorremediación. En lo que se refiere a *Lemna minor*, se ha podido determinar que ofrece una solución eficiente y también económica para la remediación de ambientes acuáticos contaminados debido a su rápido crecimiento y capacidad de absorción de nutrientes y metales pesados. Cada uno de éstos helechos acuáticos aporta un conjunto único de beneficios, representando soluciones integrales y sostenibles para la biorremediación. En resumen, *Azolla* spp., *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* tienen un notable potencial fitorremediador, cada una con características únicas adecuadas para diferentes aplicaciones y contextos ambientales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldás, J., Zurita, J., Cruz, S., Villacís, L., & Pomboza, P. y. (2016). Efecto biofertilizante de azolla - anabaena en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 4(2), 109-115.
- Arora, M., Kirilak, Y., & Rengel, Z. (2018). Phytoremediation of organic pollutants using mycorrhizal plants: A new aspect of rhizospheric interactions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*(243), 123-131.
- Bakrim, W., Ezzariai, A., Karouach, F., Sobeh, M., Kibret, M., Hafidi, M., . . . Yasri, A. (2022). *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms: A Comprehensive Review of Its Chemical Composition, Traditional Use, and Value-Added Products. *Frontiers in Pharmacology. Eichhornia crassipes: a Comprehensive Review*, 13. doi: <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.842511>
- Benaroya., O., Tzin., V., Tel., O., & Zamski. (2004). *Lead Acumulation in the Aquatic fern Azolla filiculoides citado en Plant Phisiology Biochemistry* (Vol. 42).

- Bianchini, J. (2017). Use of water fern (*Azolla* spp.) for sustainable agriculture and environmental management. *Environmental Science & Technology*, 51(24), 13907-13908.
- Ceschin, S., Lucarini, D., & Caneva, G. (2019). Phytoremediation potential of the common duckweed (*Lemna minor* L.) for the removal of contaminated water pollutants. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(1), 1027-1039. doi:DOI: 10.1007/s11356-020-08045-3
- Changhwan., C., Corapcioglu., Y., & Sung., K. (2007). Characteristics of *Phragmites communis* regrowth in wetlands by reed management methods. *Water Air and Soil Pollution*(187), 243-250. doi:10.1007/s11270-007-9512-z
- Delgadillo., A., Gonzále., C., García., F., Villagómez., J., & Acevedo., O. (2011). FITORREMEDIACIÓN: UNA ALTERNATIVA PARA ELIMINAR LA CONTAMINACIÓN. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 597- 612. Obtido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>
- Kriticos, D., & Brunel, S. (2016). Assessing and Managing the Current and Future Pest Risk from Water Hyacinth, (*Eichhornia crassipes*), an Invasive Aquatic Plant Threatening the Environment and Water Security. *PLoS ONE*., 11. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.012005>
- López, E., García, E., & López, E. (2019). Uso de *Azolla* Caroliniana como Organismo Fitorremediador para Reducir Cromo Hexavalente (Cr +6) / Use of *Azolla* caroliniana como organismo fitorremediador para reducir el cromo hexavalente (Cr +6). *Revista de Investigación Aplicada en Ingeniería UPB/UPTap*., 4(2). Obtido de https://www.researchgate.net/publication/339313357_Uso_de_Azolla_Caroliniana_como_Organismo_Fitorremediador_para_Reducir_Cromo_Hexavalente_Cr_6_Use_of_Azolla_caroliniana_as_phytoremediator_organism_to_reduce_hexavalent_chromium_Cr_6#fullTextFileContent
- Lumpkin, T., & Plucknett, D. (1982). *Azolla*, botany, physiology and use grenanure. *Economic Botany*(34), 1-11.



- Madeira, P., Hill, M., Dray, F., Coetzy, J., Paterson, I., & Tipping, P. (2016). Molecular identification of Azolla invasions in Africa: The Azolla specialist, *Stenopelmus rufinasus* proves to be an excellent taxonomist. *South African Journal of Botany*, 299-305. Obtido de <https://pdf.sciencedirectassets.com/273500/1-s2.0-S0254629916X00026/1-s2.0-S0254629915325485/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjELX%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIGeJKlrQR7T55uO7oL%2BDKf6jyPsh3Zwg1DVKUjHJG%2BNiAiEA540DTbuK>
- Mkandawire, M., & Dudel, E. (2005). Accumulation of arsenic in *Lemna gibba* L. (duckweed) in tailing waters of two abandoned uranium mining sites in Saxony, Germany. *The Science of the Total Environment*, 336(1-3), 81-89. doi: 10.1016/j.scitotenv.2004.06.002
- Molinet, Y., & Domínguez, P. (1996). Producción de biomasa en tres sistemas de serie de plantas acuáticas fertilizadas con residual porcino. *Revista Computarizada de Producción Porcina*, 21-27.
- Molinet, Y., & Dominguez, P. (1996). Producción de biomasa en tres sistemas de serie de plantas acuáticas fertilizadas con residual porcino. *Revista computarizada de Producción porcina*, 21-27.
- Montaño, M. (2008). Converting Rice Fields into Green Fertilizer Factories. *GLOBAL DEVELOPMENT MARKETPLACE SUSTAINABLE AGRICULTURE FOR DEVELOPMENT. Banco Mundial*.
- Padmavathiamma., P., & Li., L. (2007). Phytoremediation Technology: Hyper-accumulation Metals in Plants. *Water, Air, and Soil Pollution*, 105-126. Obtido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-007-9401-5>
- Pandey, V. (2016). Phytoremediation efficiency of *Eichhornia crassipes* in fly ash pond. *International Journal of Phytoremediation*, 15(5), 450-452. doi: <https://doi.org/10.1080/15226514.2015.1109605>
- Rahman, M. H. (2007). Acumulación de arsénico en lenteja de agua (*Spirodela polyrhiza* L.): una buena opción para la fitorremediación. *Chemosphere*, 693(493-9). doi:

<https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2007.04.019> .

- Resania, S., Ponraj, M., Talaiekhosani, A., Mohamad, S., Md, M., Mat, S., . . . Md, F. (2015). Perspectivas de la Fitorremediación utilizando Jacinto de agua para la eliminación de metales pesados y contaminantes orgánicos e inorgánicos en aguas residuales. *Elsevier*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.08.018>
- Rezania, S. P. (2015). Perspectivas de fitorremediación utilizando jacinto de agua para la eliminación de metales pesados y contaminantes orgánicos e inorgánicos en aguas residuales. *Revista de gestión ambiental*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.08.018>
- Sánchez., G. (2012). Mecanismos de Tolerancia del Simbiosistema Azolla -Anabaena azollae ante Arsénico y Cobre. *Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias*.
- Si, B. (1993). Uso de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en la modernización de pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales agroindustriales. *Ciencia y Tecnología del Agua*, 28(207-213). doi: <https://doi.org/10.2166/WST.1993.0234> .
- Silva, P., Melo, D., Silvestre, A., & Silva, M. (2015). Polar and lipophilic extracts characterization of roots, stalks, leaves and flowers of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), and insights for its future valorization. *Industrial Crops and Products*, 76, 1033-1038. doi: <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2015.07.055>
- Singh, S., Mishra, A., & Upadhyay, R. (2010). Potencial de la Azolla como biofertilizante P adecuado en condiciones de salinidad a través de la actividad de la fosfatasa ácida. *Toxicological Environmental Chemistry*. doi:10.1016/j.ecoleng.2010.04.022
- Sood, A., Uniyal, P., Prasanna, R., & Ahluwalia, A. (2012). Potencial de fitorremediación de la macrófita acuática Azolla. *European Journal of plant pathology*, 122-137. doi: <https://doi.org/10.1007/s13280-011-0159-z>
- Suyog, A., Shubham, M., Bhushan, M., & Swapnil, P. (2020). Estudios sobre perfiles bioquímicos y eficacia biofertilizante de Azolla (*Azolla pinnata*) y Lenteja de agua (*Spirodela polyrrhiza*). *Int J Chem Stud*, 8(3). doi:10.22271/chemi.2020.v8.i3r.9382



- Talebi, M., Tabatabaei, B., & Akbarzadeh, H. (2019). Hiperacumulación de Cu, Zn, Ni y Cd en especies de Azolla que inducen la expresión de genes de metalotioneína y fitoquelatina sintasa. *Chemosphere. ELSEVIER*, 488-499. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.098>
- Torbati, S. (2015). Viabilidad y evaluación del potencial de fitorremediación de la lenteja de agua para la degradación del colorante de triarilmetano con énfasis en algunas respuestas fisiológicas y el efecto de los parámetros operativos. *Revista Turca de Biología*, 39(438-446). doi: <https://doi.org/10.3906/BIY-1411-23> .
- Volke., T., & Velasco., J. A. (2002). Tecnologías de remediación para suelos contaminados. Em T. Volke., & J. A. Velasco., *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. Mexico: México : Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. Obtido de <http://bibliotecasibe.ecosur.mx/sibe/book/000035530>
- Xu, G., Sun, H., Chen, H., & Xu, Y. (2011). Enriching Duckweed As an Energy Crop for Producing Biobutanol Using Enzyme Hydrolysis Pretreatments and Strengthening Fermentation Process Using pH-stat. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 3. doi:doi.org/10.1021/acssuschemeng.5b00538
- Zheng, D., Almberg, K., Gaston, L., & Wiedemeier, T. (2014). Application of Azolla in environmental management. *Journal of Environmental Management*(141), 113-121.
- Ziegler, P., Adelman, K., Zimmer, S., Schmidt, C., & Appenroth, K. (2015). Duckweeds for water remediation and toxicity testing. *Toxicological & Environmental Chemistry*. doi: <https://doi.org/10.1080/02772248.2015.1094701>