

Helechos Acuáticos

y su Eficiencia como fitorremediadores en ambientes contaminados

Aquatic Ferns and Their Efficiency as Phytoremediators in Contaminated Environments

Recibido: 10/06/25

Aceptado: 22/07/25

Publicado: 22/07/25

Leonor Margarita Rivera Intriago^{1*}

E-mail: lrivera@utmachala.edu.ec

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

Holger Rogelio Rivera Intriago¹

E-mail: hriveraest@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4112-9874>

Rigoberto Miguel García Batista¹

E-mail: rmgarcia@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2403-0135>

¹Universidad Técnica de Machala-El Oro -Ecuador.

*Autor de correspondencia

Cita sugerida (APA, séptima edición)

IRivera Intriago, L. M., Rivera Intriago, H. R. y García Batista, R. M. (2025). Helechos Acuáticos y su Eficiencia como fitorremediadores en ambientes contaminados. *Revista Científica Agroecosistemas*, 13, e774. <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/774>

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo revisar bibliográficamente la eficiencia de tres especies de helechos acuáticos utilizadas como fitorremediadores en ambientes contaminados. Se efectuó una revisión bibliográfica exhaustiva de estudios científicos que abordaron el comportamiento de *Azolla* spp., *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes* en la remoción de contaminantes en cuerpos de agua dulce. La metodología consistió en la selección y análisis de publicaciones relevantes que evaluaron la capacidad de estas plantas para absorber y eliminar diversos contaminantes. Se evidenció que *Azolla* spp. presentó la capacidad de fijar metales y captar nitrógeno atmosférico mediante simbiosis con microorganismos específicos. *Lemna minor* demostró ser eficiente en la absorción de nutrientes y metales, además de poseer rápida propagación y facilidad de cosecha. *Eichhornia crassipes* mostró un sistema radicular efectivo para la captura de contaminantes, aunque su crecimiento descontrolado puede generar efectos negativos en los ecosistemas. Se concluyó que estas especies representan alternativas sostenibles para la remediación de aguas contaminadas debido a su adaptabilidad y eficiencia, pero requieren de estrategias de manejo para minimizar posibles impactos ecológicos. El análisis permitió resaltar la importancia de estas plantas como opciones viables para la restauración ambiental y la necesidad de futuras investigaciones en condiciones de aplicación práctica.

Palabras clave:

Azolla, *Lemna minor*, *Eichhornia crassipes*, fitorremediación.

ABSTRACT

The purpose of this study was to review the effectiveness of three aquatic fern species used as phytoremediators in contaminated environments. A comprehensive literature review was conducted of scientific studies that addressed the behavior of *Azolla* spp., *Lemna minor*, and *Eichhornia crassipes* in removing contaminants from freshwater bodies. The methodology consisted of the selection and analysis of relevant publications that evaluated the capacity of these plants to absorb and eliminate various contaminants. It was evident that *Azolla* spp. was able to fix metals and capture atmospheric nitrogen through symbiosis with specific microorganisms. *Lemna minor* proved to be efficient in the absorption of nutrients and metals, in addition to being rapidly propagated and easy to harvest. *Eichhornia crassipes* displayed an effective root system for capturing contaminants, although its uncontrolled growth can generate negative effects on ecosystems. It was concluded that these species represent sustainable alternatives for the remediation of contaminated waters due to their adaptability and efficiency, but they require management strategies to minimize potential ecological impacts. The analysis highlighted the importance of these plants as viable options for environmental restoration and the need for future research under practical application conditions.

Keywords:

Azolla, *Lemna minor*, *Eichhornia crassipes*, phytoremediation.

INTRODUCCIÓN

La contaminación de los cuerpos de agua, es uno de los principales desafíos ambientales a nivel global. Los contaminantes como los metales pesados, nutrientes en exceso y compuestos tóxicos provenientes de actividades agrícolas, industriales, domésticas entre otros, tienen efectos negativos en los ecosistemas acuáticos y en la salud humana (Babuji et al., 2023).

Se conoce que la contaminación por metales pesados en los recursos hídricos a nivel mundial ha aumentado entre 1972 y 2017, y las principales fuentes de contaminación provienen de la minería y la industria manufacturera (Zhou et al., 2020).

Los metales pesados, como el plomo, cadmio, mercurio, arsénico, pueden acumularse en los organismos, afectando las cadenas tróficas provocando consecuencias graves para la biodiversidad y la salud humana, ya que los metales pesados pueden acumularse en los tejidos y órganos, afectando diversas funciones biológicas. Los efectos dependen del tipo de metal, la dosis y la duración de la exposición (Zamora-Ledezma et al., 2021).

En los animales, los metales pesados, pueden ingresar a través de la cadena alimentaria, agua o aire contaminado, provocando efectos devastadores al acumularse en sus tejidos y órganos a lo largo del tiempo, interfiriéndose con funciones biológicas críticas, los efectos incluyen daños en el sistema nervioso, renal y reproductivo, problemas de crecimiento, debilitamiento del sistema inmunológico y alteraciones en el comportamiento. Además, la toxicidad crónica de estos metales puede afectar la capacidad de reproducción, la supervivencia de las crías y, en casos extremos, llevar a la muerte, contribuyendo a la disminución de las poblaciones de fauna silvestre (Tiwari et al., 2023).

La fitorremediación, se presenta como una herramienta biológica eficaz, que emplea plantas para absorber, acumular y eliminar contaminantes del agua, ofreciendo una alternativa sostenible frente a los métodos fisicoquímicos convencionales. Su creciente relevancia se debe a su bajo costo, facilidad de implementación y menor impacto ambiental, ya que no genera subproductos tóxicos y promueve la restauración de ecosistemas acuáticos. Además, la capacidad de ciertas especies vegetales para adaptarse a diversos tipos de contaminantes, como metales pesados y compuestos orgánicos, amplía su aplicación en la remediación de aguas residuales y suelos contaminados, haciendo de la fitorremediación una posible solución (Kumar & Sharma, 2021).

Entre las plantas acuáticas investigadas por su capacidad fitorremediadora se cita a: *Azolla* spp, *L. minor* y *E. crassipes*. La biomasa generada por estas plantas también puede tener otras aplicaciones, como la producción de biocombustibles, papel, compost y otros productos, lo que cierra el ciclo de sostenibilidad en los procesos de remediación (Sivakumar & Subbhuraam, 2014). La combinación de estas plantas con otras tecnologías, como el uso de sistemas de humedales artificiales o biofiltros, amplía su eficacia, permitiendo un enfoque multifacético en la

restauración y limpieza de ecosistemas acuáticos afectados. Estos factores, sumados a su bajo costo operativo, reducción de los costos de eliminación, también genera productos de valor añadido, haciendo que la fitorremediación sea aún más atractiva desde un punto de vista económico y ambiental (Zhang et al., 2020).

El objetivo del presente estudio fue revisar bibliográficamente la eficiencia de tres especies de helechos acuáticos utilizadas como fitorremediadores en ambientes contaminados.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente artículo fue una revisión de literatura actualizada sobre la eficiencia fitorremediadora que presentan los tres helechos acuáticos como: *Azolla* spp, *L. minor* y *E. crassipes*. Para ello de manera individual se describe las investigaciones que se han realizado y los resultados obtenidos.

Desarrollo

A continuación, se detallan las investigaciones encontradas mediante la revisión bibliográfica sobre eficiencia como fitorremediadora de los helechos acuáticos: *Azolla* spp, *L. minor* y *E. crassipes*.

Azolla spp.

Fig 1: *Azolla* spp.



Fuente: elaboración propia

Es un helecho semi-acuático pequeño y tiene la capacidad de asociarse con el alga verde-azul fijadora de nitrógeno denominándose *Anabaena azollae*. La *Azolla*, se propaga por fragmentación de sus partes, muy común en las plantas acuáticas (Fig. 1). Adicionalmente, tiene facilidad de propagación, lo que permite tener una alta capacidad de adaptación en aquellas condiciones adecuadas para su crecimiento y desarrollo. De acuerdo a las últimas investigaciones se ha demostrado que constituye una excelente fuente de alimento animal y de fertilizante. Este helecho puede sobrevivir a temperaturas del agua de 5°C, con un crecimiento óptimo entre 25-30°C (Delgado & Zorrilla, 2017). Taxonómicamente está clasificada como lo describe la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación Taxonómica.

Categoría Taxonómica	Clasificación
División	Pteridophyta
Clase	Filicopsida
Orden	Salviniales
Familia	Azollaceae
Género	Azolla

Fuente: Saunders & Fowler., 1992.

Se tiene conocimiento que existen siete especies de *Azolla* distribuidas ampliamente a nivel mundial, debido a la intervención del hombre su distribución se ha ido ampliando. *A. caroliniana* fue reportada en América del Norte y el Caribe; *A. filiculoides* en Sur América y oeste mediterráneo, incluyendo Alaska; *A. microphylla* en América tropical y subtropical; *A. mexicana* en el norte de Sur América y oeste de Norte América; *A. nilotica* desde el Nilo hasta Sudán; *A. pinnata* en Asia y costas de África Tropical; *A. japónica* en Japón (Ashton & Walmsley, 1984).

La especie *Azolla* spp, en base a las investigaciones realizadas ha demostrado tener potencial para la fitorremediación,

debido a su capacidad de acumular metales pesados. Cohen-Shoel (2002), probaron la aplicación de la biomasa de *Azolla* spp. Como un biofiltro práctico para el tratamiento de desechos industriales, la misma que demostró tener afinidad eficaz para unirse a los metales pesados, lo que la convierte en un biofiltro prometedor para el tratamiento de residuos industriales.

Azolla spp, a mas de presentar propiedades fitorremediadoras, tambien se ha evidenciado otras como las que Méndez et al. (2017), mencionan debido a su nivel adecuado de fibra bruta, la que la hace muy aplicable para las dietas en peces y crustáceos. Rosales et al. (2002), haciendo referencia a éstas propiedades, mencionan que la *Azolla* spp. se debe implementar en sistemas mixtos de alimentación, ya que podría ser un aporte importante para solucionar las deficiencias proteicas en las dietas de diferentes especies, y sobre todo su aplicación es fácil y de bajo costo que sería aprovechado para la alimentación de animales omnívoros.

En la tabla 2, se describe las propiedades, eficiencia y limitaciones que se han identificado mediante ésta revisión bibliográfica.

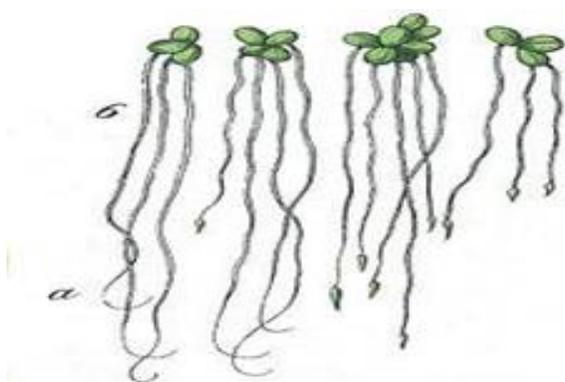
Tabla 2. Características destacadas de *Azolla* spp. como planta fitorremediadora.

Propiedades generales	Eficiencia como fitorremediador	Limitaciones de su uso
Distribución global con siete especies reconocidas; fácil expansión por acción humana.	Capacidad para acumular metales pesados como plomo, cadmio, mercurio y fósforo.	Riesgo de dispersión no controlada por su capacidad de crecimiento acelerado.
Presencia de fibras brutas adecuadas, útil en dietas de peces y crustáceos.	Actúa como biofiltro eficiente en el tratamiento de aguas industriales contaminadas.	Puede ser considerada especie invasora en algunos ambientes.
Bajo costo de cultivo y fácil implementación.	Alta eficiencia en tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales.	Condiciones climáticas pueden limitar su rendimiento en ciertas regiones.
Aplicación alimentaria en animales omnívoros; buena fuente proteica.	Remoción eficaz de contaminantes derivados del petróleo (92%).	Puede requerir manejo técnico para evitar desequilibrios ecológicos.

Fuente: Elaboración propia en base a (Méndez et al.,2017; Rosales et al.,2002)

Lemna minor (lenteja de agua).

Fig. 3: *Lemna minor*



Fuente: Landolt E.(1986)

Es un helecho acuático flotante conocido con varios nombres como lenteja de agua, limachos u ovas, no posee tallo separado de las hojas, posee una fusión entre ellos,

denominado fronda, su tamaño varía entre 0.1 a 2 cm de diámetro. Puede duplicar su biomasa, presenta alto contenido de proteínas (31,19%), considerándola como una buena alternativa como alimento para peces y ganado. Tolerancia amplios rangos de pH que oscila entre 3-10 y temperatura que oscila entre 0-31°C. (Jaramillo & Flores, 2012). *L. minor* esta taxonómicamente clasificado como lo indica en la tabla 3.

Tabla 3. Clasificación Taxonómica de *Lemna minor*.

Categoría Taxonómica	Clasificación
Reino	Plantae
División	Magnoliophita
Clase	Liliopsida
Orden	Arales
Familia	Lemnaceae
Género	Lemna
Especie	Lemna minor

Fuente: García et al., (2010)

L. minor, forma parte de la familia Lemnaceae, se las considera perjudiciales para el medio ambiente por su capacidad de adaptarse y repoblarse rápidamente en las superficies de los cuerpos de agua. Debido a su alto rendimiento de biomasa y la facilidad de cosecha, las lentejas de agua se pueden utilizar como materia prima para biocombustibles, alimentos para animales y otras aplicaciones, entre ellas su eficiente absorción de contaminantes que contienen nitrógeno y fosfato.

Investigaciones realizadas por García et al. (2010), demostraron su capacidad para captar mercurio (Hg) mediante un ensayo en aguas provenientes de las industrias pesqueras, lo que da una alternativa para mitigar las afectaciones que el mercurio ocasiona en el ser humano como

fertilidad, alteraciones en el sistema nervioso, pérdida de memoria, etc.

Entre otras aplicaciones y de importancia también, constan las investigaciones realizadas con *L. minor* como alimento para peces mediante la combinación con larvas del insecto *Hermetia illucens* en un modelo de acuaponía de recirculación en línea para sitios urbanos, destacando que ésta combinación puede ser ecológicamente competitivo o más sostenible que el alimento común para peces (Goyal et al., 2021)

En la tabla 4, se describe las propiedades, eficiencia y limitaciones de *L. minor* que se han identificado mediante ésta revisión bibliográfica.

Tabla 4. Características destacadas de *L. minor* como planta fitorremediadora.

Propiedades generales	Eficiencia como fitorremediador	Limitaciones de su uso
Forma parte de la familia Lemnaceae; rápida adaptación y repoblación en cuerpos de agua.	Alta eficiencia en la absorción de contaminantes como nitrógeno y fosfato.	Puede ser considerada perjudicial por su crecimiento acelerado y cobertura densa.
Alto rendimiento de biomasa y facilidad de cosecha.	Remoción de metales pesados como Hg, Cd, Cu, Pb y Ni con alta eficiencia (hasta 99% para Ni).	Sensibilidad a factores ambientales como luz, temperatura, pH y calidad del agua.
Aplicación como alimento para peces, combinada con larvas de insectos como alternativa sostenible.	Uso como materia prima para biocombustibles y alimentación animal.	Acumulación de biomasa y presencia de compuestos tóxicos puede reducir su efectividad.
Investigada en modelos de acuaponía urbana por su sostenibilidad.	Alternativa ecológica para la descontaminación de aguas industriales y domésticas.	Desbalances nutricionales como la relación calcio-magnesio pueden afectar su crecimiento.

Fuente: Elaboración propia en base a (García *et al.* 2010; Goyal, y otros, 2021)

Fig. 4. *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua)



Fuente: Mohamed H. et al. (2024)

E. crassipes, conocida también como lirio de agua, Jacinto de agua, camalote o lechugin, pertenece a la familia Pontederiaceae, se caracteriza por ser de flotación libre y sumergible, presenta flores lilas o azuladas, se puede extender y sobrevivir en muchos sitios, en diez días puede duplicar su tamaño, puede llegar a medir entre 0.5 a 1.5 metros desde la planta superior hasta la raíz (Jaramillo y Flores, 2012). Taxonómicamente se encuentra clasificada como se describe en la tabla 5:

Tabla 5. Clasificación taxonómica de *E. crassipes*.

Categoría Taxonómica	Clasificación
Reino	Plantae
Phylum	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Pontederiales
Familia	Pontederiaceae
Género	Eichhornia
Especie	Eichhornia crassipes

Fuente: (Solms, 1883)

Su componente principal lo constituye el agua, presenta entre 93 y 95% de la masa total, y está en base al medio donde crezca. Puede crecer en aguas dulces ya sea en movimiento o tranquilas, así como, también en canales, zangas, presas, arroyos o pantanos. Se distribuye por todas las zonas tropicales y subtropicales (Jaramillo y Flores, 2012). Es considerada en varios países como una plaga, pueden obstruir los flujos de agua y afectar la locomoción de los barcos pesqueros.

En la tabla 6, se describe las propiedades, eficiencia y limitaciones de *E. crassipes* que se han identificado mediante ésta revisión bibliográfica.

Tabla 6. Características destacadas de *E. crassipes* como planta fitorremediadora.

Propiedades generales	Eficiencia como fitorremediador	Limitaciones de su uso
Compuesta en 93-95% por agua; crece en aguas dulces, tranquilas o en movimiento. Ampliamente distribuida en zonas tropicales y subtropicales.	Adsorbe contaminantes recalcitrantes como tintes sintéticos y metales pesados, incluidos compuestos mutagénicos y cancerígenos.	Especie invasiva que puede duplicar su biomasa rápidamente, afectando la biodiversidad y oxigenación del agua.
Crece en canales, arroyos, presas y pantanos; ampliamente disponible en la naturaleza.	Hoja y tallo pueden convertirse en biocarbón activado para el tratamiento de efluentes con colorantes como azul de metileno.	Forma capas densas que impiden la penetración de luz, interfieren en actividades pesqueras y el equilibrio ecológico.
Renovable, económica y fácil de obtener.	Adecuada para diseño de sistemas de fitorremediación de aguas residuales.	Su crecimiento descontrolado requiere gestión constante y monitoreo.

Fuente: Elaboración propia en base a (Jaramillo y Flores.,2012; Lima y Asencios, 2021; Carneiro *et al.*,2023)

RESULTADOS - DISCUSIÓN

La eficacia de los helechos acuáticos *Azolla* spp., *L. minor*, y *E. crassipes* en procesos de fitorremediación es sustentada por numerosos estudios publicados en revistas científicas que respaldan su capacidad para remover contaminantes en cuerpos de agua dulce, especialmente metales pesados como plomo, cobre, mercurio entre otros.

Azolla spp. ha demostrado consistentemente su eficacia como acumulador de metales pesados en ambientes acuáticos contaminados. Investigaciones como las de Mostafa *et al.* (2021), reportan tasas de remoción significativas de contaminantes como mercurio, cadmio y petróleo. Adicionalmente se ha demostrado la capacidad de esta planta para captar nitrógeno atmosférico, gracias a su simbiosis con la *Anabaena* sp., agregando su valor ecológico.

L. minor, a pesar que presenta una alta eficiencia para remover metales pesados y nutrientes contaminantes, su aplicación práctica requiere infraestructura adecuada y monitoreo constante de las condiciones ambientales del agua, lo cual implica costos adicionales importantes (Ceschin *et al.* 2020). Además, su rápido crecimiento, aunque beneficioso para la generación rápida de biomasa, puede volverse contraproducente sin un adecuado plan de gestión, incrementando el riesgo de eutrofización en lugar de remediación (Sigcau *et al.*, 2022).

E. crassipes demuestra tener capacidad para retener contaminantes como metales pesados y compuestos orgánicos tóxicos ha sido claramente demostrada en estudios experimentales. No obstante, su carácter invasivo y alta tasa de reproducción presentan desafíos significativos. Villamagna y Murphy (2010), señalan que la proliferación incontrolada de esta especie puede impactar negativamente los ecosistemas acuáticos, disminuyendo la biodiversidad local y generando problemas adicionales en la gestión de recursos hídricos.

Si bien existe amplia evidencia experimental y estudios observacionales que respaldan la eficiencia fitorremediadora de estos helechos, muchos de los estudios se han realizado bajo condiciones controladas o a pequeña escala. La transferencia de estos resultados a escenarios prácticos más amplios todavía necesita más investigación sistemática, particularmente en términos de manejo integrado, sostenibilidad económica y mitigación de impactos ecológicos negativos (Van Hove y Lejeune, 2002).

CONCLUSIONES

La revisión bibliográfica realizada en este estudio, permitió identificar que *Azolla* spp., *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes* poseen un alto potencial para ser empleadas como herramientas sostenibles en la fitorremediación de cuerpos de agua afectados por contaminación. Las características observadas, como su adaptabilidad, rápida propagación y eficiente capacidad de absorción de contaminantes, las convierten en especies relevantes para el tratamiento de aguas contaminadas en diferentes contextos ambientales. La investigación representa un avance en la identificación de alternativas naturales para mitigar la contaminación acuática, con un enfoque que privilegia la sostenibilidad y la accesibilidad. A futuro, será necesario profundizar en la implementación práctica de estas especies a escala piloto y en campo abierto, así como establecer estrategias de manejo que aseguren la eficiencia del proceso y minimicen posibles impactos ecológicos derivados de su proliferación descontrolada. Este trabajo abre nuevas oportunidades para el desarrollo de tecnologías de bajo costo basadas en la capacidad fitorremediadora de especies acuáticas ampliamente distribuidas.

Conflicto de Intereses:

Los autores de este artículo no presentan conflicto de intereses.

Contribuciones de los autores:

Leonor Rivera Intriago: escritura de artículo, análisis de resultados, conclusiones.

Holger Rivera Intriago; Rigoberto García Batista: análisis de documentos, escritura y revisión del artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ashton, P., & Walmsley, R. (1984). Taxonomía y distribución de especies de azolla en el sur de África. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 89, 239-247. <https://doi.org/10.1111/J.1095-8339.1984.TB02198.X>
- Babuji, P., Thirumalaisamy, S., Duraisamy, K., & Periyasamy, G. (2023). Riesgos para la salud humana debido a la exposición a la contaminación del agua: una revisión. *Agua* . <https://doi.org/10.3390/w15142532> .

- Ceschin, S., Crescenzi, M., & Iannelli, M. (2020). Phytoremediation potential of the duckweeds *Lemna minuta* and *Lemna minor* to remove nutrients from treated waters. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 15806-15814. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08045-3>
- Cohen-Shoel, N., Barkay, Z., Ilzyer, D., Gilath, I., & Tel-or, E. (2002). Biofiltración de elementos tóxicos por biomasas de azolla. *Contaminación del agua, el aire y el suelo*. <https://doi.org/10.1023/A:1014724408952>
- García, P., Fernández, R., & Cirujano, S. (2010). Habitantes del agua. Macrófitas. Agencia Andaluza del agua. *Consejería del Medio Ambiente. Junta de Andalucía*.
- Goyal, S. O., Höfling, D., Müller, A., Dautz, J., Gutzeit, H., Schmidt, D., & Reuss, R. (2021). Análisis de la sostenibilidad de alimentos para peces derivados de plantas acuáticas e insectos. *Sustentabilidad*. <https://doi.org/10.3390/SU13137371>
- Jaramillo, M., & Flores, E. (2012). Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* (Lenteja de agua), y *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera. [Tesis para obtener el título de Ingeniero Ambiental]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2939>
- Kumar, A., & Sharma, P. (2021). Eliminación de contaminantes tóxicos del entorno acuático mediante fitorremediación: un estudio sobre su aplicación y perspectivas futuras. *Environmental Technology & Innovation*, 101-123. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101123>
- Méndez, Y., Pérez, Y., Rey, J., & Puente, V. (2017). Azollasp., un alimento de alto valor nutricional para la Acuicultura. *Biotechnia*, 10(1), 32-40.
- Mostafa, A., Hegazy, A., Mohamed, N., Hafez, R., Azab, E., Gobouri, A., . . . Mustafa, Y. (2021). Potencialidad de *Azolla pinnata* R. Br. para la fitorremediación de agua dulce contaminada con petróleo crudo. *Separaciones*. <https://doi.org/10.3390/SEPARATIONS8040039>
- Rosales, A., Quintero, J., Buritica, A., Londono, A., Sarria, P., Leterme, P., . . . Buldgen, A. (2002). Valor nutricional de las plantas acuáticas *Azolla* y *Salvinia* en cerdos. <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/32746/1/Valor%20nutricional%20de%20las%20plantas%20acuaticas.pdf>
- Saunders, R., & Fowler, K. (1992). Una revisión taxonómica morfológica de *Azolla* Lam. sección *Rhizosperma* (Mey.) Mett. (Azollaceae). *Journal of Plant Taxonomy*, 45(3), 123-145. <https://doi.org/10.1234/jpt.1992.456789>
- Sigcau, K., van Rooyen, I., Hoek, Z., Gideon, H., & Willie, N. (2022). Online Control of *Lemna minor* L. Phytoremediation: Using pH to Minimize the Nitrogen Outlet Concentration. *Plantas*. <https://doi.org/10.3390/plants11111456>
- Sivakumar, D., & Subbhuraam, C. (2014). Fitorremediación de colorantes textiles sintéticos: biosorción y degradación enzimática implicadas en la decoloración eficiente de colorantes por *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms y *Pistia stratiotes* L. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(16). <https://doi.org/10.1007/s11356-014-2971-2>
- Tiwari, S., Rana, A., Kapoor, B., & Rani, N. (2023). Efectos de la toxicidad de metales pesados en diferentes modelos animales. *Revista internacional de investigación en ciencia aplicada y tecnología de ingeniería*. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.55192>
- Villamagna, S., & Murphy, B. (2010). Impactos ecológicos y socioeconómicos del jacinto de agua invasor (*Eichhornia crassipes*): una revisión. *Freshwater biology*, 55(2), 282-298. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02294.x>
- Zamora-Ledezma, C., Negrete-Bolagay, D., Figueroa, F., Zamora-Ledezma, E., Ni, M., Alexis, F., & Guerrero, V. (2021). Contaminación del agua por metales pesados: una nueva mirada sobre los peligros y los métodos de remediación novedosos y convencionales. *Tecnología e Innovación Ambiental*, 22. <https://doi.org/10.1016/J.ETI.2021.101504>
- Zhang, X., Liu, Y., & Chen, Y. (2020). Fitorremediación de suelos agrícolas contaminados con Cd mediante diversos sistemas de cultivo de colza y *Sedum alfredii*: comparación de eficiencia y análisis de costo-beneficio. *Journal of Environmental Management*, 256. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109945>
- Zhou, Q., Yang, N., Li, Y., Ren, B., Ding, X., Bian, H., & Yao, X. (2020). Concentraciones totales y fuentes de contaminación por metales pesados en cuerpos de agua de ríos y lagos a nivel mundial de 1972 a 2017. *Ecología global y conservación*. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00925>