

FITORREMEDIACIÓN, UNA HERRAMIENTA BIOTECNOLÓGICA PARA LA PROTECCIÓN Y RECUPERACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO - REVISIÓN DE TEMA

PHYTOREMEDIATION, A BIOTECHNOLOGICAL TOOL FOR THE PROTECTION AND RECOVERY OF WATER RESOURCES - TOPIC REVIEW

Autor 1 – María José Pabón Noriega
Estudiante del Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria Universidad Popular
del Cesar, Seccional Aguachica
<https://orcid.org/0009-0008-7888-7146>
mjpabon@unicesar.edu.co

Autor 2 – Melissa Lorena Villarreal Aldana
Estudiante del Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria Universidad Popular
del Cesar, Seccional Aguachica
<https://orcid.org/0009-0005-0234-3896>
mlvillarreal@unicesar.edu.co

Autor 3 – Ingris Yohanna Hernandez Martinez
Docente de la Universidad Popular del Cesar, Seccional Aguachica; Programa de
Ingeniería agropecuaria. Grupo de Investigación GIPSCA
<https://orcid.org/0000-0001-5059-2356>
iyhernandez@unicesar.edu.co

Autor 4 – Maria Katherine Covilla Pedrozo
Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Grupo de Investigación
Bioinnova, Semillero SINVESACA
<https://orcid.org/0000-0002-3401-6401>
maria.covilla@unad.edu.co

Autor 5 – Nayibe Tatiana Sanchez Alvarez
Docente Universidad Popular del Cesar, seccional Aguachica; Programa de
Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Grupo de investigación GE&TES, Semillero
SAPMA. Universidad Nacional Abierta y A Distancia, Grupo de Investigación
Bioinnova, Semillero SINVESACA
<https://orcid.org/0000-0001-8517-8331>
nayibe.sanchez@unad.edu.co

RESUMEN

La fitorremediación como una alternativa biotecnológica innovadora para la descontaminación y recuperación de recursos hídricos, destacando su potencial para abordar la creciente amenaza de la contaminación hídrica. El objetivo fue Sintetizar el estado actual de la fitorremediación como tecnología para la descontaminación y recuperación del recurso hídrico, Metodología: se realizó una revisión exhaustiva de la literatura científica en bases de datos especializadas, incluyendo Scielo, Environmental Science and Pollution Research, entre otras. Resultados: Se obtuvieron resultados concisos sobre temas relacionados con el de interés principal, tales como la importancia del recurso hídrico y las consecuencias de la contaminación del mismo; se expone la biotecnología como campo fundamental para abordar problemas ambientales, destacando la fitorremediación como una técnica biotecnológica sostenible y efectiva para la descontaminación de agua, llegando así a las plantas biorremediadoras, que cuentan con un alto potencial biorremediador, incluyendo *Pistia stratiotes*, *Salvinia molesta*, *Eichhornia crassipes*, *Typha domingensis*, etc., capaces de absorber y acumular metales pesados, compuestos orgánicos y otros contaminantes. Se discuten las ventajas de la fitorremediación, como su bajo costo, menor impacto ambiental y la posibilidad de revegetar áreas degradadas y, a su vez se consideran algunas limitaciones, como la especificidad de las plantas para ciertos contaminantes. En conclusión, la fitorremediación se presenta como una alternativa viable, sostenible y económica para la descontaminación y recuperación de los recursos hídricos, su capacidad para restaurar ecosistemas acuáticos y garantizar la disponibilidad de agua limpia la convierte en una herramienta crucial para la construcción de un futuro más sostenible.

Palabras Clave

Biorremediación; Biotecnología; Contaminación; Fitorremediación; Plantas biorremediadoras; Recurso Hídrico.

ABSTRACT

Abstract: Introduction: Phytoremediation as an innovative biotechnological alternative for the decontamination and recovery of water resources, highlighting its potential to address the growing threat of water pollution. Objective: To synthesize the current state of phytoremediation as a technology for the decontamination and recovery of water resources. Methodology: An exhaustive review of the scientific literature was carried out in specialized databases, including Scielo, Environmental Science and Pollution Research, among others. Results: Concise results were obtained on topics related to the main interest, such as the importance of the water resource and the consequences of its contamination; Biotechnology is exposed as a fundamental field to address environmental problems, highlighting phytoremediation as a sustainable and effective biotechnological technique for water decontamination, thus reaching bioremediating plants, which have a high

bioremediation potential, including *Pistia stratiotes*, *Salvinia molesta*, *Eichhornia crassipes*, *Typha domingensis*, etc., capable of absorbing and accumulating organic heavy metals, compounds and other contaminants. Discussion: The advantages of phytoremediation are discussed, such as its low cost, lower environmental impact and the possibility of revegetating degraded areas and, in turn, some limitations are considered, such as the specificity of plants for certain contaminants. Conclusion: In conclusion, phytoremediation is presented as a viable, sustainable and economic alternative for the decontamination and recovery of water resources, its capacity to restore aquatic ecosystems and guarantee the availability of clean water makes it a crucial tool for the construction of a more sustainable future.

Keywords

Bioremediation, Biotechnology, Pollution, Phytoremediation, Bioremediation plants, Water resources.

INTRODUCCIÓN

Actualmente las fuentes hídricas están afrontando diversos cambios fisicoquímicos, debido a las actividades (descarga de compuestos orgánicos e inorgánicos, aguas residuales, etcétera) realizadas por el hombre, estas han generado una gran cantidad de contaminantes que son nocivos para dichas fuentes, dejando de lado que el agua es un recurso vital para los seres vivos y aun así se sigue contaminando en gran manera (MinAmbiente, 2021). Como las fuentes hídricas están afrontando dichos cambios, se han empezado a implementar diversas técnicas para disminuir los contaminantes, una de estas es la alternativa biotecnológica, la cual recibe el nombre de Fitorremediación.

La Fitorremediación, es una alternativa biotecnológica que aprovecha la capacidad de algunas plantas para así absorber, acumular y metabolizar contaminantes, correspondientes a compuestos orgánicos, compuestos derivados del petróleo, como metales pesados, entre otros que se encuentran presentes en el suelo (Jaramillo F et al., 2015). Además, es importante destacar la viabilidad de la fitorremediación, ya que si se enfoca a nivel económico, los costos para su aplicación no son altos (Janampa Chauca, 2024), en caso que sea requerido, debido a que algunas de las plantas que tienen características para la eliminación de los contaminantes, se pueden encontrar en grandes cantidades, dependiendo de la región, y al utilizar dichas plantas no se tendría un costo, por otro lado, si se enfoca a nivel ambiental, esta técnica es sostenible, debido a que se podrían hacer uso de las vegetaciones que sean efectivas para la biorremediación sin que el medio ambiente se ve afectado por la misma, ya que se estaría nutriendo a estas por medio de los contaminantes que tendrían las fuentes en las que son depositadas. El objetivo principal de este artículo es sintetizar el estado actual de

la fitorremediación como tecnología para la descontaminación y recuperación del recurso hídrico.

METODOLOGÍA

Este artículo de revisión consistió en la búsqueda de artículos tanto en inglés como en español, en la base de datos Scielo, Environmental Science and Pollution Research, Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Journal of Basic Sciences, con las palabras clave: Biorremediación, Biotecnología, Contaminación, Fitorremediación, Plantas biorremediadoras, Recurso Hídrico.

Se incluyeron artículos de investigación que tuvieran en cuenta la fitorremediación de las fuentes hídricas, en este artículo de revisión se incluyeron 30 referencias bibliográficas, seleccionadas a partir de las palabras claves (Figura 1), consideradas de gran aporte al conocimiento científico sobre el tema principal abordado (Fitorremediación).

Figura 1. Búsquedas realizadas



Fuente. Elaboración propia

Nota. A la izquierda se observa el número de referencias arrojadas en la base de datos, respecto a las palabras claves y, a la derecha las referencias seleccionadas de acuerdo a cada palabra.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

1. Recursos hídricos

Los recursos hídricos son recursos naturales que se encuentran alrededor de todo el planeta tierra, en algunas partes más cantidad que otras, estos almacenamientos son suministros de agua dulce, los cuales pueden ser y están siendo utilizados por el ser humano para satisfacer sus necesidades. Estos recursos son indispensables para la vida y para el balance fisicoquímico del planeta tierra. Al presentarse cantidades extremas de contaminantes, se han creado diversas alternativas para ayudar a disminuir la toxicidad de los recursos hídricos, entre las más comunes, la filtración, reducción de envases, utilizar productos biodegradables y una que se está empezando a utilizar en gran manera la fitorremediación, la cual tiene como principal objetivo la eliminación de metales y

compuestos orgánicos por medio de plantas que tiene la capacidad de realizar dicha actividad (Delgadillo-López et al., 2011).

2. Biotecnología, una tecnología de vital importancia para los recursos hídricos

La biotecnología, es un conjunto de técnicas que utiliza células vivas de un organismo, por ejemplo, las enzimas, para manipular o modificar un producto con algún fin en específico (producción de animales y plantas con rasgos deseables, biofertilizantes, biorremediación y geomicrobiología) (Montenegro Gómez & Hernández Ossa, 2024). La biotecnología al manipular algún producto en concreto, con ayuda de los organismos para obtener algún bien, se ha empezado a utilizar de una manera muy significativa a nivel ambiental, ya que utiliza su tecnología para contrarrestar el cambio climático que se presenta a nivel ambiental, esto por medio de la degradación de contaminantes a través de la actividad metabólica (Hernández- Macedo et al., 2020). Incluso, el uso temprano de biotecnología en procesos básicos como la agricultura pueden evitar que los recursos hídricos se contaminen en un principio, por ejemplo, reemplazar fertilizantes sintéticos por repelentes botánicos puede ser un gran avance en ese aspecto (Oliveira et al., 2018).

Para la descontaminación de los recursos hídricos, existen técnicas tradicionales en las que se utilizan aparatos especializados que implican altos costos y, a su vez, requieren conocimientos avanzados para su uso, además, estas técnicas generan desechos de manejo peligroso, por ello hoy en día se han desarrollado por medio de técnicas biotecnológicas biosensores para la detección de algunos metales pesados que afectan el agua, como el cromo, mercurio y arsénico (López-Ramírez et al., 2022).

3. La Biorremediación y su aplicación en la mejora de los recursos hídricos

La biorremediación, se trata de un proceso que utiliza las habilidades catalíticas de los organismos vivos para degradar y transformar contaminantes tanto en ecosistemas terrestres como acuáticos (Balderas-León & Sánchez-Yáñez, 2015), si se enfoca a nivel acuático, se utilizan plantas acuáticas que son capaces de reducir algunos contaminantes que se encuentren en dicho ecosistema, presenta un enorme potencial en la mitigación de la contaminación ambiental (Gómez Gonzales, 2010).

Esta surgió como una rama de la biotecnología, a mediados del siglo XX con las primeras investigaciones, para investigar y estudiar la capacidad de los microorganismos al momento de biodegradar contaminantes. Las compañías petroleras fueron las primeras en utilizar las técnicas de Biorremediación (Vizuite-García et al., 2020), debido a la gran demanda de energías, el petróleo juega un papel relevante en la producción de estas (Benites & Méndez, 2023), provocando durante su proceso, contaminación a fuentes hídricas de suma importancia para todos, por ello el uso de la biorremediación es vital para reparar el daño causado a estas fuentes, como lo son mares, ríos, ciénagas, fundamentales para el desarrollo de ecosistemas y para el uso cotidiano.

Es importante tener en cuenta que existen dos tipos de biorremediación, por un lado, cuando se utilizan tecnologías como biorreactores, biofiltros y otros métodos de compostaje que se llevan a cabo fuera del lugar de la contaminación, recibe el nombre de

“Ex situ”, mientras que cuando se utilizan procedimientos de bioestimulación, sistema de suministro de líquidos y algunos métodos de compostaje que se llevan a cabo en lugar de la contaminación, se le denomina “In situ” (Suarez Beltrán, 2013).

4. Fitorremediación

Es una serie de tecnologías que utilizan las plantas para limpiar o restaurar ambientes (agua, suelo o aire) que están contaminados. Este término es relativamente nuevo, fue acuñado en 1991 y se compone de dos palabras, fito, ta, que en griego significa planta o vegetal, y remediar (del latín remediare), que significa poner remedio al daño, corregir o enmendar algo. Es decir, la Fitorremediación significa remediar un daño por medio de plantas o vegetales (Núñez López et al., 2004). Por ello, surge como una alternativa viable ante la problemática existente en recursos hídricos por diferentes actividades antropogénicas (Corcho-Puche et al., 2023). Existen varios procesos de fitorremediación, dependiendo de los sistemas y estrategias que la planta utilizada para llevar a cabo el proceso de la descontaminación, como la fitoestabilización, fitoextracción, fitovolatilización, fitodegradación, entre otras.

Se han realizado diversos estudios donde se aplican técnicas para la disminución de contaminantes presentes en las fuentes hídricas, causados por acción directa e indirecta del hombre tales como aguas residuales mineras, contaminación por desechos agrícolas, grandes industrias, como textiles (Adelodun et al., 2021). Por ejemplo, se han realizado estudios en humedales con diversas especies de plantas, por otro lado, en México se elaboró y amplió el listado botánico de especies con un alto potencial en la remoción de contaminantes, se incluyeron 174 especies (126-nativas y 48-introducidas) las cuales pertenecen a 53 familias botánicas, que se adaptaron desde su nacimiento a suelos contaminados (Chan-Quijano et al., 2021), estas presentaron una remoción de DBO₅ por las plantas y estos oscilaron entre 70 y 89%; en el caso de la DQO del 70% al 86%, de PO₄ fue del 70% al 84% y en el caso de grasas y aceites fue del 70% al 82%, respectivamente (Zitácuaro Contreras et al., 2022), observando así, que la técnica de fitorremediación es una alternativa viable en la depuración de diversos contaminantes encontrados en las fuentes hídricas.

5. Plantas biorremediadoras

Las plantas tienen una gran variedad de características, por ejemplo, medicinales, decoración, entre otras; pero a lo largo del tiempo se han ido realizando investigaciones, en donde se puede evidenciar aportes desde el ámbito ambiental, la cual es la capacidad de acumular y transformar sustancias tóxicas en menos tóxicas, que se pueden encontrar en el suelo, agua y aire. Es importante mencionar que las plantas genéticamente modificadas pueden actuar de mejor forma en la fitorremediación de aguas contaminadas por compuestos orgánicos de origen sintético, por ejemplo (Orozco Gutiérrez, 2021).

En México se realizó un estudio en donde se comprobó que las siguientes plantas: *Hydrocotyle ranunculoides*, *Parietaria pensylvanica*, *Urtica commelinae* para zinc, *Rorippa capuchina-aquaticum*, *Simsia abrotanica*, *Nicotiana glauca*, *Flaveria angustifolia*, *Phytolacca*, *Buddleja scordioides* para, eran eficaces al momento de la remoción de

elementos potencialmente tóxicos, zinc, cobre, arsénico; demostrando así su potencial ayuda en la fitorremediación (Balderas-León & Sánchez-Yáñez, 2015).

En un estudio realizado se utilizaron diversos tipos de plantas para observar el potencial de estas en el tratamiento de aguas residuales, llegando gran cantidad de descargas diarias a los recursos hídricos, este estudio se realizó mediante un sistema hidropónico, en este se analizó el nivel de fosfato 81,2% (*Pistia stratiotes*), 82,7% (*Salvinia molesta*) y (*Eichhornia crassipes*) 88,5%, turbidez 91% (*Pistia stratiotes*), 94% (*Salvinia molesta*) 89,3% (*Eichhornia crassipes*), nitrógeno amoniacal 88,66% (*Pistia stratiotes*), 90,47% (*Salvinia molesta*), 89,11% (*Eichhornia crassipes*) y para la reducción de nitratos un 83,6% (*Pistia stratiotes*), 92,1% (*Salvinia molesta*), 93% (*Eichhornia crassipes*), así demostrando altos porcentajes de remoción y que van variando en cada uno de las especies de plantas (Mustafa & Hayder, 2024).

Otro estudio se comprobó que la planta *Typha domingensis*, presentó una eficiencia de remoción de metales tales como el Cr de 16% al 46% y del 68 al 93% en el caso del Cu, en un sistema de flotación teniendo diferentes concentraciones de metales, además se pudo observar que a medida que aumentaba la concentración de solución metálica, aumentaba la absorción (Samudio Oggero et al., 2021). Además de remover metales pesados la *Salvinia minima* mediante un sistema de humedales artificiales, presentó una remoción fosfato (Atencio et al., 2024). Otra de las plantas que ayudan a la fitorremediación de los suelos contaminados con metales brócoli (*Brassicaceae*) y cilantro (*Apiaceae*) logrando recuperar estos en periodos de tiempo no tan largos (3-9 meses) (Salamanca-Rivera et al., 2023).

En una investigación para eliminar los nutrientes de aguas residuales simuladas en donde se utilizó a dos tipos de planta (*Lemna minuta*, *Lemna minor*) para ver su efectividad en la eliminación de nitrato y fosfato, en este estudio se realizaron mediciones fisicoquímicas del agua (pH, temperatura, oxígeno, conductividad) además, análisis fisiológicos y bioquímicos de las estas plantas (biomasa, tasa de crecimiento relativo –RGR, contenido de nutrientes y clorofila, daño peroxidativo, factor de bioconcentración –BCF) para así poder comprobar la fitorremediación de estas plantas. Llegando así a un resultado en el que se obtuvo que *Lemna minuta* tiene una mayor eficiencia a comparación de *Lemna minor* al momento de eliminar los dos nutrientes utilizados (nitrato y fosfato), demostrando así que una de las plantas es una especie potencial para la fitorremediación (Ceschin et al., 2020).

En otra investigación se deseaba realizar la biorremediación del ion mercurio por medio de la planta macrofita *Elodea* sp. Los tallos de esta se sometieron a diferentes concentraciones de solución de HgCl₂. En todos los niveles de concentración (0,39mg/ml, 1,55mg/ml y de 6,25mg/ml) presentó una remoción favorable, sin embargo, en la concentración de 1,55mg/ml se obtuvo un porcentaje de remoción del 100%, demostrando que en estas condiciones es más favorable ser removido el mercurio (Jaramillo F et al., 2015). Además de esto, se comprobó que la planta macrófita acuática *Typha domingensis* presentó una remoción del ibuprofeno y paracetamol en un 65,1% y 86,5 % respectivamente, desde un efluente doméstico mediante un sistema de humedales flotantes, estos fueron diseñados y contruidos con el fin de que las raíces y rizomas permanezcan sumergidos (Duré et al., 2022).

En un laboratorio se recolectó 12 litros de aguas de remoción de obturaciones de amalgama (en dicha muestra se observó un porcentaje de metales), para realizar un estudio y así determinar si las plantas *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* eran eficaces en el proceso de fitorremediación, luego de realizar el estudio se comprobó que el porcentaje estimado de remoción de componentes de amalgama fue superior al 50% (Vásquez et al., s. f.). Se descubrió que la *Pteris vittata* es la primera planta de helecho acumula arsénico, además, se han encontrado otros helechos que pueden realizar el proceso de fitorremediación como, por ejemplo, *Nephrolepis cordifolia* e *Hypolepis muelleri* fitoestabilizan (Cu, Pb, Zn y Ni); la *Pteris umbrosa* y *Pteris cretica* son capaces de acumular arsénico por medio de sus hojas (Praveen & Pandey, 2020).

Otra planta objeto de estudio ha sido la *Lemna minor* (lenteja de agua), la cual fue utilizada para descontaminar aguas residuales mineras con el ión cobre, con ayuda de una solución nutritiva para el mantenimiento de la misma durante el proceso, llevado a cabo en 5 semanas, en donde se observó que la concentración de cobre en el agua fue de 1,502 ppm, teniendo una remoción del 68,57 % de cobre, como se expresa en las investigaciones (Avila Carhuallanqui et al., 2021).

Como se ha ido observando en los estudios e investigaciones mencionadas anteriormente, realizados por diferentes autores estos se han ejecutado debido a las consecuencias negativas que tienen las actividades antrópicas, debido a esto ha ido en aumento la aplicación de la fitorremediación para combatir estos contaminantes, es por esto que otra investigación realizada tuvo como objetivo principal evaluar la cinética de absorción de metales pesados en tres especies vegetativas estas especies fueron trasplantadas en suelos que contenían contaminantes con diversas concentraciones (2.5, 5 y 10%) de plomo, en este estudio se observó que a mayor porcentaje de biomasa mayor absorción del plomo, este es otro ejemplo de los cientos de estudios que se han realizado en todo el mundo (Coyago & Bonilla, 2019).

Para finalizar, se realizó un análisis bibliométrico (Figura 2) que abarcara algunos de los conceptos fundamentales del presente artículo, en este se muestra la extensa relación que hay con varios conceptos del tema de interés principal, en donde prevalecen los conceptos de biodegradación y ambiental, dando a entender que son estos, los más mencionados en los artículos encontrados en PubMed respecto a las palabras clave iniciales. Por otro lado, se observan conceptos arraigados a la contaminación, que posiblemente son causas de la misma, además de otros que pueden ser soluciones y que del mismo modo se relacionan entre sí.

Figura 2. Análisis bibliométrico

Nota. Se aprecia la red bibliométrica realizada con las palabras biorremediación y contaminación, en donde se muestra la relación que existe entre diferentes conceptos propios del tema de interés.

La fitorremediación se presenta como una alternativa biotecnológica viable, sostenible y económica para la descontaminación y recuperación de los recursos hídricos, esta técnica aprovecha la capacidad de las plantas para absorber, acumular y metabolizar contaminantes presentes en el agua, como metales pesados, compuestos orgánicos y derivados del petróleo. Las investigaciones revisadas en este artículo demuestran la efectividad de la fitorremediación en la eliminación de una amplia gama de contaminantes, como, DBO, DQO, aceites, entre otros; además, se han realizado diversos estudios que han logrado remover porcentajes significativos de contaminantes en diferentes ambientes acuáticos, utilizando una variedad de especies vegetales, entre las cuales están las plantas *Pistia stratiotes*, *Salvinia molesta* y *Eichhornia crassipes*, *Typha domingensis*, *Lemna minuta* y *Lemna minor*, entre otros tipos, además, se pudo observar que las plantas utilizadas para la fitorremediación en su mayoría son adsorbentes de metales pesados, contaminantes que prevalecen en aguas no aptas para el consumo (Damián & Carrión, 2024).

REFERENCIAS

Adelodun, A. A., Olajire, T., Afolabi, N. O., Akinwumiju, A. S., Akinbobola, E., & Hassan, U. O. (2021). Phytoremediation potentials of *Eichhornia crassipes* for nutrients and organic

pollutants from textile wastewater. *International Journal of Phytoremediation*, 23(13), 1333-1341. <https://doi.org/10.1080/15226514.2021.1895719>

Atencio, I., Castro, V., Miranda, K., González, Y., & Franco, V. D. de. (2024). Evaluación de la capacidad de remoción de fosfato del helecho de agua (*Salvinia minima*) en humedales artificiales. *Revista de Iniciación Científica*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v10.1.3999>

Avila Carhuallanqui, G. M., Velit Villareal, C. R., & Avila Pichiule, L. E. (2021). (PDF) Tratamiento de aguas residuales mineras contaminadas con cobre mediante *Lemna minor* (lenteja de agua). *ResearchGate*. <https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2018.15.859>

Balderas-León, I., & Sánchez-Yáñez, J. M. (2015). Biorremediación de suelo contaminado con 75000 ppm de aceite residual automotriz por bioestimulación y fitorremediación con *Sorghum vulgare* y *Bacillus cereus* y/ o *Burkholderia cepacia*. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 6(1), 23-32. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=361336202005>

Benites, A. M. J., & Méndez, J. F. R. (2023). Biorremediación de Agua y Suelo Contaminados por Residuos Orgánicos de Petróleo en Iquitos. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(5), Article 5. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i5.8291

Ceschin, S., Crescenzi, M., & Iannelli, M. A. (2020). *Phytoremediation potential of the duckweeds Lemna minuta and Lemna minor to remove nutrients from treated waters | Environmental Science and Pollution Research*. Springer Nature Link. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-020-08045-3>

Chan-Quijano, J. G., Cach-Pérez, M. J., & López-Mejía, M. (2021). Especies vegetales con uso potencial en la remediación de zonas contaminadas en México. *Revista Forestal del Perú*, 36(1), Article 1. <https://doi.org/10.21704/rfp.v1i36.1703>

Corcho-Puche, J. O., Ruiz-Corrales, C. M., Ortega-Vergara, B., & Del-Valle-Moreno, R. J. (2023). Alternativas de fitorremediación para aguas de uso agrícola. *Novum Ambiens*, 1(1), Article 1. <https://doi.org/10.31910/novamb.v1.n1.2023.2335>

Coyago, E., & Bonilla, S. (2019). Cinética de absorción de plomo en especies vegetativas previo a procesos de fitorremediación de suelos altamente contaminados. *Revista Alfa*, 3(7), Article 7. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v3i7.54>

Damián, R. V., & Carrión, C. S. (2024). Potencial de fitorremediación del matecillo (*Hydrocotyle ranunculoides* L.f.) en aguas contaminadas con metales pesados de la quebrada Pacchantay. *Revista de Investigación Hatun Yachay Wasi*, 3(1), Article 1. <https://doi.org/10.57107/hyw.v3i1.60>

Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1870-04622011000200002&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Duré, G. M., García, L. M., Bonet, S. R., Ferreira, F., Sezerino, P. H., & Arias, T. L. (2022). Fitorremediación de contaminantes emergentes de origen farmacéutico en humedales flotantes. *Reportes Científicos de la FACEN*, 13(2), Article 2. <https://doi.org/10.18004/rcfacen.2022.13.2.153>

Gómez, J. D. G. (2010). *FITORREMEDIACIÓN: UNA HERRAMIENTA VIABLE PARA LA DESCONTAMINACIÓN DE AGUAS Y SUELOS*. <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/9ec885e3-0246-4fc4-99af-5cfb0831af49/content>

Hernández- Macedo, M. L., López, J. A., Barrios Eguiluz, K. I., Salazar-Banda, G. R., Hernández- Macedo, M. L., López, J. A., Barrios Eguiluz, K. I., & Salazar-Banda, G. R. (2020). Biotecnología ambiental: Desafíos y perspectivas en la aplicación de tecnologías combinadas para mejorar la remediación y la generación. *Revista Peruana de Biología*, 27(1), 43-48. <https://doi.org/10.15381/rpb.v27i1.17578>

Janampa Chauca, J. A. (2024). Biorremediación para neutralización de metales pesados en suelos y aguas contaminadas por lixiviados de residuos sólidos. <https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/f7a1d5c7-33ad-4c08-91cb-ca4836e0f150>

Jaramillo F, M. C., Zapata O, L. F., & Marulanda L, T. (2015). Fitorremediación de mercurio a partir de elodea sp. *Ingenierías USBMed*, 6(2), Article 2. <https://doi.org/10.21500/20275846.1730>

López-Ramírez, V., Morales Vargas, A.-T., & Álvarez-Mejía, C. (2022). *Uso de la biotecnología en la detección de arsénico: Una alternativa para la determinación en agua potable*. 40-53. <https://reia.iteshu.edu.mx/descargables/ediciones/2022/40-53.pdf>

MinAmbiente. (2021, noviembre 6). *El agua es una condición indispensable para la vida en la Tierra—MiAmbiente*. <https://miambiente.gob.pa/el-agua-es-una-condicion-indispensable-para-la-vida-en-la-tierra/>

Montenegro Gómez, S. P., & Hernández Ossa, Y. K. (2024). (PDF) Biotecnología aplicada al desarrollo agropecuario colombiano. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/315966119_Biotecnologia_aplicada_al_desarrollo_agropecuario_colombiano

Mustafa, H. M., & Hayder, G. (2024). (PDF) Performance of Pistia stratiotes, Salvinia molesta, and Eichhornia crassipes Aquatic Plants in the Tertiary Treatment of Domestic Wastewater with Varying Retention Times. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.3390/app10249105>

Núñez López, R. A., Meas Vong, Y., Ortega Borges, R., & Olguín, E. J. (2004). Fitorremediación: Fundamentos y aplicaciones. *Ciencia - Academia Mexicana de Ciencias*, 55(3), Article 3. <https://biblat.unam.mx/es/revista/ciencia-academia-mexicana-de-ciencias/articulo/fitorremediacion-fundamentos-y-aplicaciones>

Oliveira, J. L. de, Campos, E. V. R., Pereira, A. E. S., Pasquoto, T., Lima, R., Grillo, R., Andrade, D. J. de, Santos, F. A. D., & Fraceto, L. F. (2018). Zein Nanoparticles as Eco-Friendly Carrier Systems for Botanical Repellents Aiming Sustainable Agriculture. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(6), 1330-1340. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b05552>

Orozco Gutiérrez, G. (2021). La sobre-expresión de PtCSP4 del álamo promueve un mayor potencial para la fitorremediación de PCB. Scielo. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322021000300134

Praveen, A., & Pandey, V. C. (2020). Pteridophytes in phytoremediation. *Environmental Geochemistry and Health*, 42(8), 2399-2411. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00425-0>

Salamanca-Rivera, A. P., Silva, D. A., Cardozo-Muñoz, J., Rojas-Sánchez, F., Meléndez-Mazabel, J. C., & Borda-Chingate, L. S. (2023). Fitorremediación con Brassicaceae y Apiaceae en suelos contaminados con metales pesados. *Revista de Biología Tropical*, 71(1), Article 1. <https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop.v71i1.51493>

Samudio Oggero, A., Nakayama, H. D., Avalos, C. R., Cantero, I., Benitez, J. V., Ayala, J., Elkhaili, R., & Peralta, I. (2021). Eficiencia de la absorción de cobre (Cu) y cromo (Cr), una propuesta de fitorremediación de efluentes mediada por *Typha domingensis*. *Revista de la Sociedad Científica del Paraguay*, 26(2), 100-113. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8878338>

Suarez Beltrán, R. M. (2013). Guía de métodos de biorremediación para la recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos. <http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/10607>

Vizuite-García, R. A., Pascual-Barrera, A. E., Taco-Taco, C. W., Morales-Padilla, M. M., Vizuite-García, R. A., Pascual-Barrera, A. E., Taco-Taco, C. W., & Morales-Padilla, M. M. (2020). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos a base de bacterias utilizadas como bioproductos. *Revista Lasallista de Investigación*, 17(1), 177-187. <https://doi.org/10.22507/rli.v17n1a19>

Vásquez, G. N. B., Aconcha, C. E. S., Echavarría, J. D. S., Lomelin, A. L. R., & Jiménez, G. A. (s. f.). Fitorremediación de aguas contaminadas con componentes de amalgama de la preclínica de odontología de la Universidad Antonio Nariño, Ibagué (Colombia). Recuperado 27 de febrero de 2025, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=582361537005>

Zitácuaro Contreras, I., Marín Muñiz, J. L., Celis Pérez, M. del C., Vidal Álvarez, M., León Estrada, X. del A., & Zamora Castro, S. A. (2022). Vegetación ornamental utilizada en fitorremediación y sus potencialidades ambientales, económicas y sociales. *Emerging Trends in Education*, 8(23), 133-145.