






Artículo de divulgación

Aplicación de cáscaras de piña como biosorbentes para la remoción de metales pesados

Application of pineapple peels as biosorbents for the removal of heavy metals

Ana Karen Enríquez-Soto ¹, Karina Bustos-Ramírez ¹, Elizabeth del Carmen Varela-Santos¹, Gilda Avendaño-Vásquez ¹, Karen Aylin Vargas-García ^{1,*}

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca-Maestría en Ciencias de los Alimentos y Biotecnología. Av. Veracruz s/n, Col. PEMEX, C. P. 95180, Tierra Blanca, Veracruz, México.

* Autor para correspondencia: k.vargas@itstb.edu.mx

Recibido:

19/02/2026

Aceptado:

26/03/2026

Publicado:

1/05/2026

RESUMEN

La contaminación por metales pesados en México se ha incrementado como consecuencia de la actividad antrópica, generando importantes problemáticas ambientales y riesgos para la salud humana. Ante este panorama se han desarrollado tecnologías sustentables como la biosorción. Esta metodología utiliza residuos agroindustriales con el propósito de disminuir la acumulación de estos contaminantes, además de emplear estos desechos como materiales biosorbentes para el tratamiento de aguas. La biosorción es un proceso fisicoquímico que utiliza materiales de origen biológico para capturar o retener contaminantes, como metales pesados, en la superficie del biosorbente. La elaboración de biosorbentes a partir de cáscaras de piña presenta una elevada eficiencia, debido a que constituyen una fuente rica en pectina. Este polisacárido contiene grupos funcionales como los carboxilos, los cuales actúan como sitios activos fundamentales en la interacción con los iones metálicos. Por lo tanto, el proceso de biosorción se posiciona como una alternativa sostenible, estratégica y ecológica para mitigar la problemática ambiental. Este trabajo resalta el poder ecológico de las cáscaras residuales de piña como un imán natural de metales pesados, ya que su uso representa la implementación de un método de bajo o nulo costo en comparación con tecnologías convencionales para el tratamiento de agua.

Palabras clave: Contaminantes, Materiales ecológicos, Modificación química, Pectina, Residuos agroindustriales, Proceso sostenible, Tratamiento de agua.

ABSTRACT

Heavy metal contamination in Mexico has increased as a consequence of anthropogenic activity, generating significant environmental problems and risks to human health. In response to these issues, sustainable technologies such as biosorption have been developed. This technique utilizes agro-industrial residues to reduce the accumulation of these contaminants, while simultaneously employing these wastes as biosorbent materials for water treatment. Biosorption is a physicochemical process that uses materials of biological origin to capture or retain contaminants, such as heavy metals, on the surface of the biosorbent. The production of biosorbents from pineapple peels shows high efficiency, since they are a rich source of pectin. This polysaccharide contains functional groups, such as carboxyl groups, which act as essential active sites in the interaction with metal ions.



Therefore, the biosorption process stands out as a sustainable, strategic, and eco-friendly alternative for mitigating environmental problems. This work highlights the ecological power of residual pineapple peels as a natural magnet for heavy metals, the use of which represents the implementation of a low- or zero-cost method compared to conventional technologies for water treatment.

Keywords: Contaminants, Eco-friendly materials, Chemical modification, Pectin, Agro-industrial residues, Sustainable process, Water treatment.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existe una gran preocupación a nivel mundial, debido al considerable incremento en los índices de contaminación por metales pesados en efluentes industriales, tales como el cromo, níquel, cadmio, plomo y mercurio (Tejeda-Tovar et al., 2015). Estas sustancias tóxicas presentan una alta persistencia en el medio ambiente, lo que altera el equilibrio de los ecosistemas y compromete su funcionamiento.

Los metales pesados son contaminantes inorgánicos definidos como elementos químicos con un peso atómico y una densidad relativamente altos, tóxicos incluso en bajas concentraciones (Ali et al., 2019). Durante su recorrido por zonas agrícolas, industriales y urbanas, se incorporan al agua diversas sustancias contaminantes, tales como herbicidas, plaguicidas, fertilizantes y descargas industriales, como se ilustra en la Figura 1. Esto convierte a la contaminación hídrica en uno de los problemas ambientales más graves (Abdel et al., 2003).

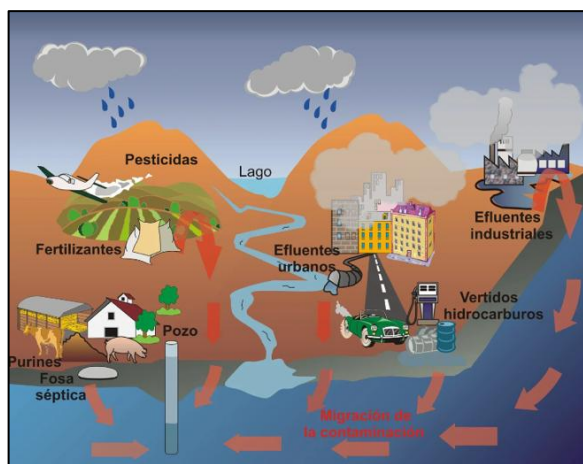


Figura 1. Contaminación del agua. Tomado de <https://quizlet.com/cl/609820830/ciencias-para-salud-contaminacion-ambiental-flash-cards/>

De esta forma tanto los desechos sólidos como las descargas líquidas constituyen los principales riesgos de contaminación para las aguas subterráneas y cuerpos de agua. Dentro de los efluentes industriales, los metales pesados son de los contaminantes que más afectan al medio ambiente, considerándose de los más peligrosos debido a su no biodegradabilidad, su alta toxicidad a bajas concentraciones y su capacidad de bioacumulación en diferentes organismos (Vera-Cabezas et al., 2015).

Al ser fácilmente transportados en el ambiente, pueden generar diversos efectos negativos en las plantas, como necrosis en los extremos de las hojas, inhibición del crecimiento de las raíces y, en el peor de los casos la muerte total. En el caso de los seres humanos, estos elementos son altamente tóxicos al introducirse en el organismo, pueden ocasionar erupciones cutáneas, trastornos estomacales como úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmunológico, daños en el hígado y riñones, enfermedad renal crónica, hipertensión, alteraciones genéticas, desarrollo de cáncer e incluso la muerte (Roig-Marino, 2006; Nava-Ruiz y Méndez-Armenta, 2011; Valdivia-Rivera et al., 2018).

Debido a estas problemáticas, la comunidad científica ha desarrollado diversos métodos para el tratamiento de efluentes industriales contaminados con metales pesados (Pinzón-Bedoya et al., 2010). Entre las técnicas más empleadas se encuentran la precipitación química, procesos de óxido-reducción, intercambio iónico, filtración y tratamientos electroquímicos, entre otros (Duarte et al., 2009). Muchos de estos métodos presentan limitaciones importantes, ya que suelen implicar altos costos operativos, eficiencia reducida cuando la concentración de metales es baja, y la generación de lodos cuya gestión y disposición representan un problema ambiental adicional (Sala et al., 2010).

En este contexto, la biosorción ha surgido como una alternativa prometedora para la remoción de iones

metálicos en efluentes industriales debido a su bajo costo y alta eficiencia, ya que emplea materiales de origen biológico capaces de retener metales pesados (en forma de iones), ofreciendo una solución más sostenible y respetuosa con el medio ambiente (Fiorentin et al., 2010).

Es así, que aprovechar las cáscaras residuales de piña, utilizándolas para desarrollar procesos tecnológicos que permitan sustituir agentes sintéticos y/o químicos, con el efecto de disminuir la presencia de metales pesados en cuerpos de agua, así como la acumulación y movilización de residuos tóxicos en el ambiente, ofrece una alternativa ecológica y sostenible hacia la economía circular, aplicable en el tratamiento de aguas residuales.

PROCESO DE BIOSORCIÓN

En los últimos años, la biosorción ha consolidado su relevancia en el ámbito ambiental como una técnica eficiente para la remoción o recuperación de metales pesados en medios acuosos (Volesky, 2007; Acosta et al., 2012). Esta rama de la biotecnología utiliza biomasa de bajo costo (microorganismos, algas, residuos agroindustriales) como medio adsorbente, ofreciendo ventajas superiores a tecnologías convencionales como la precipitación química o el intercambio iónico, como se muestra en la Tabla 1 (Wang et al., 2009; Gupta et al., 2010; Nguyen et al., 2022).

Tabla 1. Evaluación comparativa de tecnologías para la eliminación de metales pesados en agua.

Tecnología	Mecanismo	Ventajas	Desventajas /Limitantes
Precipitación química	Conversión de insolubles con químicos.	Metodología de fácil operación	Requiere manejo de residuos
Intercambio iónico	Intercambio de iones con resinas	Alta eficiencia y selectividad	Gasto de resinas sintéticas
Biosorción	Adsorción de iones con materiales biológicos	Proceso simple de bajo costo, materiales renovables	Saturación del biosorbente
Osmosis inversa	Separación mediante membranas	Alta eficiencia de remoción	Costo energético y de membranas

Como proceso fisicoquímico, la biosorción involucra una fase líquida (solvente) y una fase sólida (biosorbente), donde los iones metálicos se adhieren a la superficie y poros del material biológico a través de mecanismos como la adsorción y el intercambio iónico (Hernández et al., 2016). Esta interacción está determinada por los grupos funcionales presentes, tales como hidroxilo, carboxilo, amino y tiol (Javanbakht et al., 2014), tal como se ilustra en la Figura 2. La eficiencia del proceso depende fuertemente de las propiedades del biosorbente y de parámetros de operación como el pH, la concentración del metal en el efluente y la temperatura del medio (Naja y Volesky, 2011). Por todo lo anterior, la biosorción se considera una biotecnología prometedora, no sólo por la disponibilidad de la biomasa y la simplicidad del proceso, sino también por su funcionamiento análogo a la tecnología de intercambio iónico convencional, permitiendo un tratamiento de alto rendimiento y bajo costo (Fomina y Gadd, 2014; Sánchez-Silva et al., 2020).

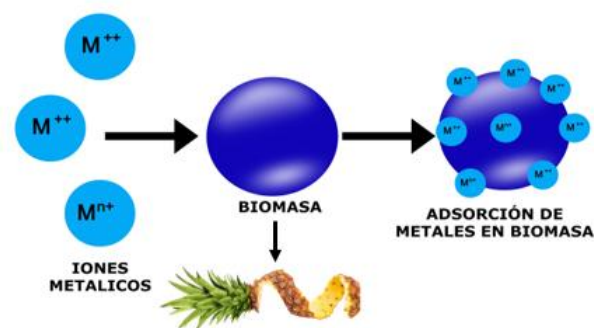


Figura 2. Proceso de biosorción. Elaboración propia.

RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

En México, la agroindustria es una de las actividades más importantes debido a su crecimiento y potencial de transformación, siendo una de las principales generadoras de subproductos orgánicos (bagazos de caña y café, pajas, y diversos residuos de frutas y verduras), los cuales no son aprovechados y cuyo uso depende del desarrollo de tecnologías aplicadas que agreguen valor a la cadena productiva, principalmente en el tratamiento de aguas (Agro revista industrial del campo, 2016; Salvador y UNAM, 2018; Sanchez-Silva et al., 2020; Juárez- Sánchez et al., 2025). Un caso relevante es el procesamiento industrial de la piña, que genera un

volumen considerable de subproductos como corona, cáscara, corazón y pulpa (Figura 3). Estos suelen desecharse en vertederos, provocando severas complicaciones ambientales y costos económicos de gestión (Giannakoudakis et al., 2018; Chaudhary y Singh, 2024).

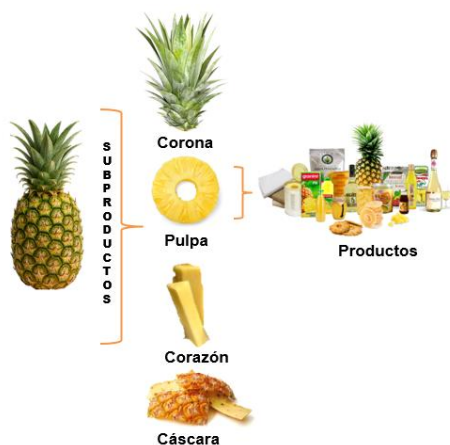


Figura 3. Subproductos de la piña. Elaboración propia.

Por tanto, la transformación de estos materiales representa una oportunidad estratégica para fomentar el desarrollo sostenible mediante su conversión en productos de alto valor agregado, impulsar la economía circular a través de la obtención de biosorbentes de costo asequible y establecer políticas socioeconómicas a largo plazo (Solangi et al., 2021; Scarano et al., 2022; Numa et al., 2023).

BIOSORBENTES SOSTENIBLES COMO ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS

Los biosorbentes son materiales de origen natural disponibles en grandes cantidades, así como los subproductos generados por actividades industriales y agrícolas; ambos pueden emplearse para la captura de contaminantes (Vargas Rodríguez et al., 2009; Arcila y Peralta, 2016; Diestra y Ramos, 2019;). Por ello, su uso representa una alternativa sostenible en sistemas de tratamiento de agua para mitigar el impacto ambiental, prevenir el ingreso de contaminantes químicos y la acumulación de residuos tóxicos como los metales pesados, los cuales resultan nocivos en la cadena

alimentaria (Sanchez-Silva et al., 2020; Das et al., 2021; Thamaraiselvi et al., 2024).

Al respecto, la composición química y biológica de dichos residuos agroindustriales está determinada por la naturaleza de la materia prima y el proceso de transformación aplicado (Casas y Sandoval, 2014). No obstante, estos materiales se caracterizan por contener principalmente hemicelulosa, lignina, pectina, lípidos, proteínas, azúcares simples y almidón. La presencia de estos componentes proporciona una variedad de grupos funcionales (tales como hidroxilos, carboxilos y carbonilos), los cuales les confieren un alto potencial para la eliminación de metales pesados (Bhatnagar et al., 2015).

En este contexto, la pectina destaca como uno de los polisacáridos más abundantes y de mayor importancia nutricional y económica, presente en grandes cantidades en residuos y subproductos vegetales. Este biopolímero, que forma parte de la pared celular de las plantas y se concentra principalmente en cáscara y pulpa, lo que lo convierte en un componente clave para aplicaciones industriales, alimentarias y ambientales, lo que permite aprovecharlo como materia prima en procesos de valorización (García-García et al., 2023). La cáscara de la piña se puede transformar en un biosorbente altamente eficiente mediante activación química (específicamente por procesos de desmetoxilación y de reticulación), lo que mejora su capacidad de adsorción, como se muestra en la Figura 4 (Nguyen et al., 2022).

En el proceso de desmetoxilación se utiliza una solución de hidróxido de sodio (NaOH) para eliminar grupos metilo e incrementar los grupos carboxilos libres en la pectina, aumentando así los sitios activos de adsorción (Gogoi et al., 2018). Por su parte, la reticulación con cloruro de calcio (CaCl_2) crea enlaces tridimensionales que proporcionan una estructura más rígida y estable (Figuerola et al., 2016).

Por consiguiente, el uso de la cáscara de piña como biosorbente de bajo costo representa una alternativa sostenible para el tratamiento de aguas, alineándose con la economía circular al valorizar residuos agroindustriales. Este enfoque disminuye el impacto ambiental asociado a su disposición final y ofrece una opción eficiente para la remoción de contaminantes (Bhatnagar y Sillanpää, 2010; Juárez-Sánchez et al., 2025).

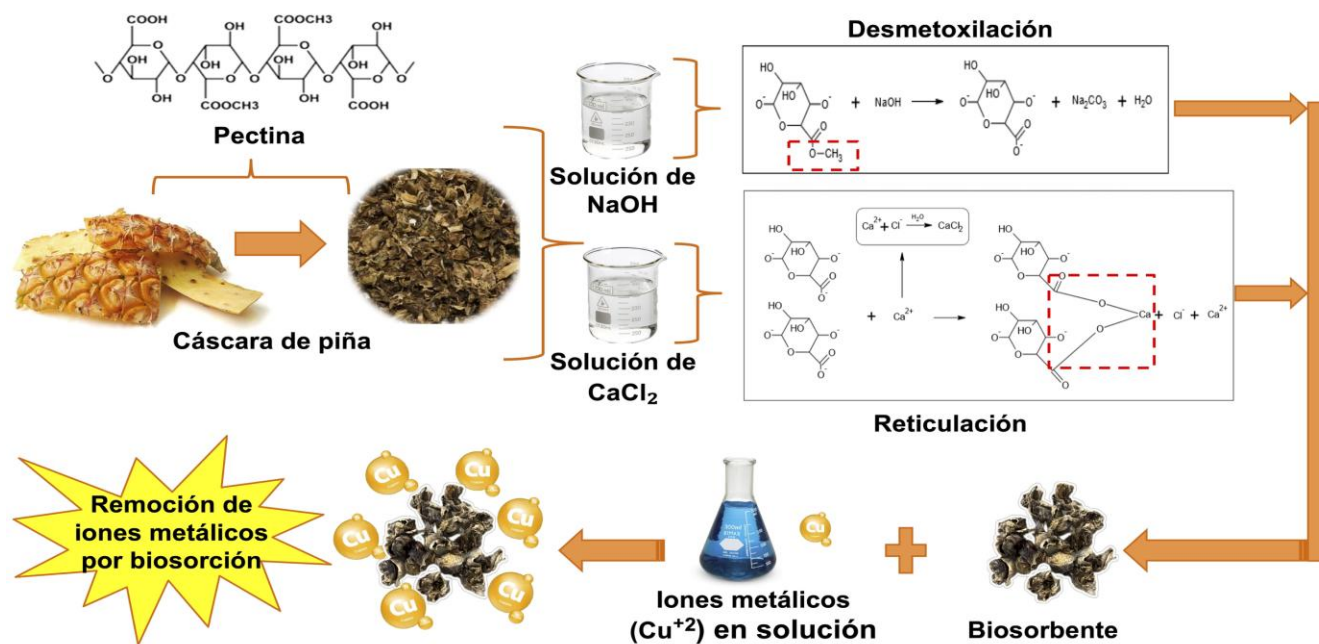


Figura 4. Modificaciones químicas para mejorar la capacidad de adsorción. Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Los residuos de piña son subproductos agroindustriales que tienen un gran potencial de aprovechamiento en diversas aplicaciones industriales. Por ejemplo, la utilización de cáscaras de piña permitiría desarrollar procesos tecnológicos mediante la obtención de biosorbentes para la remoción de metales pesados, constituyendo una alternativa sostenible, eficiente y económica en comparación con los métodos tradicionales para el tratamiento de aguas. Si bien es cierto que el uso de cáscaras residuales de piña está encaminado a solucionar un problema ambiental como es la contaminación de agua por metales pesados, es necesario resaltar algunas implicaciones ambientales positivas que conlleva esta aplicación, tales como la remediación sostenible, la generación de alternativas tecnológicas de bajo costo y la incursión de la economía circular, ya que esto promueve convertir un recurso agrícola en un recurso de valor para el tratamiento de aguas.

Asimismo, algunos desafíos de esta aplicación incluyen la presencia de agroquímicos en las cáscaras, y la disposición final de la biomasa agotada, con el fin de evitar el retorno de los contaminantes al ambiente.

También es necesario el diseño de una logística estructurada que permita su recolección, transporte, distribución y manejo, sin que su uso compita con otras aplicaciones que se le pueda dar a la cáscara residual de piña, como el compostaje y el ensilado para ganado.

Como perspectivas a futuro de este trabajo, se vislumbra el desarrollo de materiales biológicos e híbridos avanzados, así como métodos de modificación química basados en el incremento de la funcionalización de sitios activos sobre la superficie de las cáscaras de piña, que maximicen la eficiencia y especificidad en la biosorción de metales como el níquel, plomo o cadmio, y el escalamiento para el tratamiento continuo de efluentes industriales a través de la implementación de lechos fijos o de columnas empacadas con biosorbentes. Finalmente, la revalorización de residuos de la agroindustria, como es el caso de la cáscara residual de piña, genera gran impacto en la economía circular, ya que se promueve un modelo de sostenibilidad con énfasis en el fomento y el uso de métodos ecológicos para el tratamiento de agua.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México, en especial al campus Tierra Blanca, por el

apoyo académico e institucional brindado para el desarrollo del presente estudio titulado “Aplicación de cáscaras de piña como biosorbentes para la remoción de metales pesados”. Asimismo, se reconoce al personal docente y técnico que colaboró en las actividades experimentales y en la orientación científica durante la realización de la investigación. A. K. Enríquez-Soto agradece a la SECIHTI por la beca otorgada para los estudios de la Maestría en Ciencias de los Alimentos y Biotecnología en el TecNM campus Tierra Blanca.

Literatura citada

- Abdel-Halim, S.; Shehata, A.; El-Shahat, M. (2003). Removal of lead ions from industrial waste water by different types of natural materials. *Water Research*, 37(7), 1678–1683. [https://doi.org/10.1016/s0043-1354\(02\)00554-7](https://doi.org/10.1016/s0043-1354(02)00554-7).
- Acosta Rodríguez, I.; Cárdenas González, J.F.; Martínez-Juárez, I.V. (2012). El uso de diferentes biomásas para la eliminación de metales pesados en sitios contaminados, *Ide@s, CONCYTEG*, 7(85), 911 – 922.
- Ali, H.; Khan, E.; Ilahi, I. (2019). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>
- Arcila, H. R.; Peralta, J. J. (2016). Agentes Naturales como Alternativa para el Tratamiento del Agua. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11(2), 136-153. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1303>
- Agro Revista Industrial del Campo. (2016, octubre 6). 2000 AGRO Revista Industrial del Campo. Recuperado de <http://www.2000agro.com.mx/agroindustria/agroindustria-mexicana/>
- Bhatnagar, A.; Sillanpää, M. (2010). Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment—A review. *Chemical Engineering Journal*, 157(2–3), 277–296. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.01.007>
- Bhatnagar, A.; Sillanpää, M.; Witek-Krowiak, A. (2015). Agricultural waste peels as versatile biomass for water purification – A review. *Chemical Engineering Journal*, 270, 244–271. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.01.135>
- Casas G, L.; Sandoval F, G. (2014). Enzimas en la valorización de residuos agroindustriales. *Revista Digital Universitaria*, 15(12), 1-15.
- Chaudhary, S.; Singh, B. (2024). Pineapple by-products utilization: Progress towards the circular economy. *Food and Humanity*, 2, 100243. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100243>
- Das, N.; Ojha, N.; Mandal, S. K. (2021). Wastewater treatment using plant-derived bioflocculants: green chemistry approach for safe environment. *Water Science & Technology*, 83(8), 1797–1812. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.100>
- Diestra, R. F. S.; Ramos, P. I. V. (2019). Efecto de la concentración de *Aloe vera* (Sábila) y tiempo de floculación en la remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica biodegradable de aguas residuales municipales sector El Cerillo, Santiago de Chuco. Universidad de Trujillo, Trujillo, Perú.
- Duarte, R. E.; Olivero Verbel, J.; Jaramillo, C. B. E. (2009). Remoción de cromo de aguas residuales de curtiembres usando quitosan obtenido de desechos de camarón. *Scientia et Technica*, 2 (42), 290-295.
- Figuroa, W.; Gutiérrez, O.; Torrealba, M.; Rosendo, M. (2016). Efectividad de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) reticulada para la adsorción de plomo. En La química de los alimentos: Memorias de las XIII Jornadas de Química, Ambiente y Sociedad, 128-132. Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Barquisimeto.
- Fomina, M.; Gadd, G. M. (2014). Biosorption: current perspectives on concept, definition and application. *Bioresource Technology*, 160, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.12.102>
- Fiorentin, L. D.; Trigueros, D. E.; Módenes, A. N.; Espinoza-Quiñones, F. R.; Pereira, N. C.; Barros, S. T.; Santos, O. A. (2010). Biosorption of reactive blue 5G dye onto drying orange bagasse in batch system: Kinetic and equilibrium modeling. *Chemical Engineering Journal*, 163(1-2), 68-77. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.07.043>
- García-García, P. M.; Galindo-Alcántara, A.; Ruiz-Acosta, S. C. (2023). Métodos de extracción de pectina en frutos: Revisión sistemática. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(NEIII), 1-10. <https://doi.org/10.19136/era.a10nneiii.3728>
- Giannakoudakis, D. A.; Hosseini-Bandegharaei, A.; Tsafarakidou, P.; Triantafyllidi, K. S.; Kornaros, M.;



- Anastopoulos I. (2018). *Aloe vera* waste biomass-based adsorbents for the removal of aquatic pollutants: A review. *Journal of Environmental Management*, 227(1), 354-364. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.064>
- Gogoi, S.; Chakraborty, S.; Saikia, M. D. (2018). Surface modified pineapple crown leaf for adsorption of Cr(VI) and Cr(III) ions from aqueous solution. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2), 2492-2501. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.03.040>
- Gupta, V. K.; Rastogi, A.; Nayak, A. (2010). Biosorption of nickel onto treated alga (*Oedogonium hatei*): Application of isotherm and kinetic models. *Journal of Colloid and Interface Science*, 342(2), 533-539. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2009.10.074>
- Hernández, I.; Vázquez, M.; Jerónimo, J.; Sandoval, F. (2016). Biosorción de metales pesados mediante el uso de una biomasa microbiana, en aguas residuales. *ECORFAN-Bolivia: Revista de Simulación y Laboratorio*, 3(8), 10-14.
- Javanbakht, V.; Alavi, S. A.; Zilouei, H. (2014). Mechanisms of heavy metal removal using microorganisms as biosorbent. *Water Science & Technology*, 69(9), 1775-1787. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.718>
- Juárez-Sánchez, J.; Bustos-Ramírez, K.; Varela-Santos, E.; Avendaño-Vasquez, G.; Vargas-García, K. (2025). Impacto del Método de Extracción sobre las Propiedades Físicoquímicas, Reológicas y Floculantes de un Biofloculante de *Aloe vera*. *Journal of BioProcess and Chemical Technology (JBCT)*, 17(35), 39-50.
- Naja, G.; Volesky, B. (2011). Chapter 3: The Mechanism of Metal Cation and Anion Biosorption. En Kotrba, P.; Mackova, M.; Macek, T., (eds) *Microbial Biosorption of Metals*, 19-58. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0443-5_3
- Nava-Ruíz, C.; Méndez-Armenta, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio), *Arch Neurocién (Mex)*, 16 (3), 140-147.
- Nguyen, D. T. C.; Van Tran, T.; Kumar, P. S.; Din, A. T. M.; Jalil, A. A.; Vo, D. N. (2022). Invasive plants as biosorbents for environmental remediation: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 20(2), 1421-1451. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01377-7>
- Numa, I. A. N.; Wolf, K. E.; Pastore, G. M. (2023). FoodTech startups: Technological solutions to achieve SDGs. *Food and Humanity*, 1, 358-369. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.06.011>
- Pinzón-Bedoya, M. L.; Tamayo, A. M. C. (2010). Influencia del pH en la bioadsorción de Cr (III) sobre cáscara de naranja: Determinación de las condiciones de operación en proceso discontinuo. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 8(1), 21-30.
- Roig-Marino, B. (2006). Evaluación de las tecnologías de tratamiento de aguas subterráneas contaminadas con Cromo. Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona. Departament d'Enginyeria Química.
- Sala, L. F.; García, S. I.; González, J. C.; Frascaroli, M. I.; Bellú, S.; Mangiameli, F.; Blanes, P.; Mogetta, M. H.; Andreu, V.; Atria, A. M.; Salas, J. M. (2010). Biosorción para la eliminación de metales pesados en aguas de desecho. *Anales de Química de la Real Sociedad Española de Química*, 106(2), 114-120.
- Salvador, L. E. M., UNAM. (2018). Capacidades tecnológicas en la agroindustria en México. Marco analítico para su investigación. *Análisis Económico*, 33(84), 169-189. <https://doi.org/10.24275/uam/azc/desh/ae/2018v33n84/martinezs>
- Sanchez-Silva, J. M.; González-Estrada, R. R.; Blancas-Benitez, F. J.; Fonseca-Cantabrana, Á. (2020). Utilización de subproductos agroindustriales para la bioadsorción de metales pesados. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 23, 1-18. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.261>
- Scarano, P.; Sciarrillo, R.; Tartaglia, M.; Zuzolo, D.; Guarino, C. (2022). Circular economy and secondary raw materials from fruits as sustainable source for recovery and reuse. A review. *Trends in Food Science & Technology*, 122, 157-170. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.02.003>
- Solangi, N. H.; Kumar, J.; Mazari, S. A.; Ahmed, S.; Fatima, N.; Mubarak, N. M. (2021). Development of fruit waste derived bio-adsorbents for wastewater treatment: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 416, 125848. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125848>
- Tejada-Tovar, C.; Villabona-Ortiz, Á.; Garcés-Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas



residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*, 18(34), 109-123. <https://doi.org/10.22430/22565337.209>

Thamaraiselvi, C.; Atira, S. T.; Nandhini, M.; Kala, K.; Vasanthi, M.; Rajakannan, V.; Al-Khattaf, F. S.; Hatamleh, A. A.; Chandrasekaran, M.; Ravi, K.; Chang, S. W.; Ravindran, B. (2024). Mitigating pollutants in textile dye wastewater with *Aloe vera* (L.) Burm. f. and *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench: A study on treatment efficacy. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 16, 100517. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2024.100517>

Valdivia-Rivera, S.; Martínez-Cano, A. K.; Aguirre-García, G.; Lizardi-Jiménez, M. A. (2018). Hydrocarbon water-pollution related to chronic kidney disease in Tierra Blanca, a perfect storm. *Environment International*, 121, 1204–1209. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.10.036>

Vargas Rodríguez, M.; Cabañas Vargas, D; Gamboa Marrufo, M.; Domínguez Benetton, X. (2009). Evaluación del proceso de biosorción con cáscaras de naranja para la eliminación del colorante comercial Lanasol Navy CE en aguas residuales de la industria textil. *Ingeniería*, 13(3), 39-43. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46712187005>

Vera-Cabezas, L. M.; Uguña Rosas, M. F.; Garcia Alvear, N. B.; Flores Zamora, M. E.; Vazquez Freire, V. E. (2016). Eliminación de metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como biosorbente. *Afinidad: Revista de química teórica y aplicada*, 73(573), 43-49.

Volesky, B. (2007). Biosorption and me. *Water Research*, 41 (18), 4017-4029. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.05.062>

Wang, J., & Chen, C. (2009). Biosorbents for heavy metals removal and their future. *Biotechnology Advances*, 27(2), 195–226. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.11.002>

Aviso legal/Nota del editor: Las declaraciones, opiniones y datos contenidos en todas las publicaciones son exclusivamente de los autores y colaboradores, y no de Agraria ni de sus editores. Agraria y sus editores no se responsabilizan de ningún daño a personas o bienes que resulte de las ideas, métodos, instrucciones o productos mencionados en el contenido.

