

Tecnología Verde para la Adsorción de Cromo (III): Aplicación del Polvo de Vicia faba en Aguas Residuales de Curtiembre

Green Technology for Chromium (III) Adsorption: Application of Vicia faba Powder to Tannery Wastewater

Tecnologia Verde para a Adsorção de Crômio(III): Aplicação de Pó de Vicia faba em Águas Residuais de Curtumes

Ruiz-Sánchez, Clara Isabel
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
cruizs@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-2864-5137>



Herrera-Feijoo, Robinson J.
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
rherreraf2@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3205-2350>



Beltrán-Conlago, Andrea Carolina
Universidad Estatal Amazónica
carito11_2011@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3804-061X>



 DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/n1/393>

Como citar:

Ruiz-Sánchez, C. I., Herrera-Feijoo, R. J., & Beltrán-Conlago, A. C. (2024). Tecnología Verde para la Adsorción de Cromo (III): Aplicación del Polvo de Vicia faba en Aguas Residuales de Curtiembre. *Código Científico Revista De Investigación*, 5(1), 473–486.

Recibido: 11/05/2024

Aceptado: 08/06/2024

Publicado: 30/06/2024

Resumen

El presente estudio evaluó la eficacia del polvo de *Vacia faba* como material adsorbente para la remoción de Cromo (III) de aguas residuales de curtiembre, determinando la influencia del tamaño de partícula en la capacidad de adsorción y su viabilidad como método de tratamiento económico y sostenible. Basado en los principios de la bioadsorción, se revisaron estudios previos que resaltan la capacidad de materiales vegetales para adsorber metales pesados. La metodología incluyó cinco etapas: validación de la capacidad de adsorción, muestreo y análisis de concentración inicial de Cromo (III), preparación y construcción de filtros, proceso de adsorción y evaluación de la remoción de Cromo (III). Los filtros se elaboraron con vainas de *V. faba* trituradas en tres tamaños de partícula (1 mm, 3.35 mm, 5.08 mm) y se realizaron análisis químicos para determinar la concentración de Cromo (III) antes y después de la filtración. Los resultados mostraron una remoción de Cromo (III) del 99%, sin diferencias significativas entre los tamaños de partícula, aunque con una tendencia a mayor eficiencia en partículas más pequeñas. Estos hallazgos indican que el uso de *V. faba* es una solución viable y sostenible para el tratamiento de efluentes de curtiembre, ofreciendo una alternativa de bajo costo y efectiva para mitigar la contaminación por metales pesados. Este estudio aporta evidencia empírica sobre la efectividad del polvo de *V. faba* en la adsorción de Cromo (III), sugiriendo que su implementación podría mejorar significativamente la calidad del agua y reducir los riesgos ambientales asociados a los efluentes industriales, contribuyendo a la sostenibilidad y protección del medio ambiente.

Palabras clave: Bioadsorción, Contaminantes industriales, Tratamiento de efluentes, Sostenibilidad ambiental

Abstract

The present study evaluated the efficacy of *Vacia faba* bean powder as an adsorbent material for the removal of chromium (III) from tannery wastewater, determining the influence of particle size on adsorption capacity and its viability as an economical and sustainable treatment method. Based on the principles of bioadsorption, previous studies highlighting the capacity of plant materials to adsorb heavy metals were reviewed. The methodology included five stages: validation of adsorption capacity, sampling and analysis of initial Chromium (III) concentration, preparation and construction of filters, adsorption process and evaluation of Chromium (III) removal. Filters were made with crushed *V. faba* pods in three particle sizes (1 mm, 3.35 mm, 5.08 mm) and chemical analyses were performed to determine the concentration of chromium (III) before and after filtration. The results showed a Chromium (III) removal of 99%, with no significant differences between particle sizes, although with a tendency to higher efficiency in smaller particles. These findings indicate that the use of *V. faba* is a viable and sustainable solution for the treatment of tannery effluents, offering a low-cost and effective alternative to mitigate heavy metal pollution. This study provides empirical evidence on the effectiveness of *V. faba* powder in the adsorption of chromium (III), suggesting that its implementation could significantly improve water quality and reduce environmental risks associated with industrial effluents, contributing to the sustainability and protection of the environment.

Keywords: Bioadsorption, Industrial pollutants, Effluent treatment, Environmental sustainability

Resumo

O presente estudo avaliou a eficácia do pó de feijão *Vicia faba* como material adsorvente para a remoção de crômio (III) de águas residuais de curtumes, determinando a influência do tamanho das partículas na capacidade de adsorção e a sua viabilidade como método de tratamento económico e sustentável. Com base nos princípios da bioadsorção, foram revistos estudos anteriores que destacam a capacidade dos materiais vegetais para adsorver metais pesados. A metodologia incluiu cinco etapas: validação da capacidade de adsorção, amostragem e análise da concentração inicial de crômio (III), preparação e construção de filtros, processo de adsorção e avaliação da remoção de crômio (III). Os filtros foram feitos com vagens de *V. faba* trituradas em três tamanhos de partículas (1 mm, 3,35 mm, 5,08 mm) e foram realizadas análises químicas para determinar a concentração de crômio (III) antes e depois da filtração. Os resultados mostraram uma taxa de remoção de crômio (III) de 99%, sem diferenças significativas entre os tamanhos de partículas, embora com uma tendência para uma maior eficiência nas partículas mais pequenas. Estes resultados indicam que a utilização de *V. faba* é uma solução viável e sustentável para o tratamento de efluentes de curtumes, oferecendo uma alternativa eficaz e de baixo custo para mitigar a poluição por metais pesados. Este estudo fornece evidências empíricas sobre a eficácia do pó de *V. faba* na adsorção de crômio (III), sugerindo que a sua implementação poderia melhorar significativamente a qualidade da água e reduzir os riscos ambientais associados aos efluentes industriais, contribuindo para a sustentabilidade e proteção ambiental.

Palavras-chave: Poluentes industriais, Tratamento de efluentes, Sustentabilidade ambiental.

Introducción

Actualmente, la actividad industrial desempeña un papel crucial en la economía de los países en vías de desarrollo, generando importantes ingresos y contribuyendo al desarrollo nacional (Ojeaga & Posu, 2017; Ramaswamy, 2017; Santander-Salmon & Lara-Rivadeneira, 2023). Sin embargo, algunos sectores industriales emplean metales pesados en sus procesos, lo que puede tener consecuencias ambientales significativas (Long et al., 2021). En particular, la industria de la curtiduría es reconocida por liberar grandes volúmenes de aguas residuales contaminadas con sulfuros y sales de cromo, resultantes del proceso de pelambre y curtido de pieles (Arti & Mehra, 2023; Saxena et al., 2017). Estos contaminantes representan una seria amenaza para los cuerpos de agua receptores, ya que pueden causar daños a la vida acuática y, en última instancia, afectar a los seres humanos que consumen productos derivados de estos ecosistemas (Igiri et al., 2018).

A nivel global existe una creciente preocupación por los altos índices de contaminación del agua con metales pesados, siendo uno de los más comunes el cromo (Bakshi & Panigrahi, 2022; Rajendran et al., 2022; Song et al., 2022). El cromo es un metal pesado que se encuentra en dos estados de oxidación estables: Cromo (III) y Cromo (VI) (Irshad et al., 2023). Mientras el cromo trivalente es relativamente inofensivo e inmóvil, el Cromo (VI) es dañino, tóxico, carcinogénico y mutagénico. Su presencia en el agua, especialmente en efluentes industriales, plantea un desafío significativo para la salud humana y el medio ambiente (Hossini et al., 2022; Iyer et al., 2023; Mortada et al., 2023).

Para abordar este problema, se están explorando diversas estrategias de mitigación, una de las cuales implica la modificación de los procesos de tratamiento de aguas residuales. Una técnica prometedora es la variación del tiempo de contacto y el tamaño de partícula del material adsorbente utilizado en la depuración de estos efluentes (Nigam et al., 2023; Nur-E-Alam et al., 2020). Varios estudios previos han investigado la adsorción de Cromo (VI) utilizando diferentes materiales, como la cáscara de yuca y el marlo de maíz, demostrando su capacidad para remover eficientemente este contaminante (Guo et al., 2021; Li et al., 2020; Rachman et al., 2023; Villabona-Ortíz et al., 2023). Estos materiales han sido reconocidos como alternativas naturales y de bajo costo para el tratamiento de efluentes contaminados con metales pesados (Rachman et al., 2023; Schwantes et al., 2016).

No obstante, actualmente se evidencia un vacío de conocimiento en cuanto a la utilización de la vaina de haba (*Vicia faba*) como material bioadsorbente para la remoción de Cromo (III) (Barboza & Vega, 2020). Ecuador, siendo un país con una importante industria de procesamiento de cuero, enfrenta desafíos significativos en términos de contaminación ambiental, particularmente por el uso de sustancias químicas tóxicas, como el cromo, en el proceso de curtido (Álvarez et al., 2021; Sánchez-Mateos et al., 2020; Urrutia-Goyes et al., 2022). Aunque existen algunas medidas para controlar la liberación de cromo, su remoción

eficiente sigue siendo un problema sin resolver en muchas curtidurías del país (Álvarez et al., 2021). Por otro lado, el cultivo de leguminosas, como el haba, genera una gran cantidad de residuos, siendo las vainas uno de ellos (Krenz et al., 2023). Estos residuos, en la mayoría de los casos, son desechados o utilizados como abono sin aprovechar su potencial como material de tratamiento de aguas residuales (Sdiri et al., 2019).

Ante esta problemática y considerando la relevancia de hacer un uso integral y sostenible de los recursos disponibles, esta investigación se propone obtener y caracterizar biofiltros a partir de la vaina de haba para la remoción de Cromo (III). Se plantea como objetivo principal analizar la eficacia de estos biofiltros en la remoción del cromo trivalente, así como evaluar su capacidad de adsorción, su estabilidad mecánica y su aplicabilidad en el tratamiento de efluentes industriales contaminados. Los resultados de este estudio podrían contribuir al desarrollo de alternativas más sostenibles y económicas para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con Cromo (III), además de promover el uso de los residuos de cultivos como recursos valiosos en el ámbito ambiental y la gestión de recursos naturales.

Metodología

Materiales y métodos.

El proceso metodológico se divide en cinco partes. 1) Se validó la capacidad de adsorción de biofiltros utilizando vaina de haba para remover Cromo (III). 2) Se realizaron tres muestreos aleatorios y análisis de laboratorio para medir la concentración inicial de Cromo (III) y evaluar filtros de lecho fijo de diferentes tamaños de partícula. 3) Se prepararon y construyeron los filtros siguiendo normas técnicas. 4) Se llevó a cabo el proceso de adsorción filtrando las muestras de agua residual. 5) La remoción se evaluó mediante la diferencia de concentración antes y después del proceso.

Selección y preparación de la vaina de haba

Se seleccionaron vainas de haba y se secaron antes de su utilización. Posteriormente, se trituraron en tres tamaños de partícula diferentes en milímetros utilizando un proceso de trituración controlada. Se realizó la toma de muestra representativa mediante la técnica de cuarteo para su posterior uso en el filtro.

Análisis inicial del agua residual de la Curtiembre

El muestreo del agua residual de la Curtiembre se llevó a cabo de acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana 2169:2013, utilizando un tipo de muestreo puntual (INEN, 2013). Asimismo, se siguió la NTE 2176:2013 para el análisis de agua industrial. Se recolectaron tres muestras de agua, considerando las variaciones significativas en la concentración de Cromo (III) a lo largo del tiempo. La concentración inicial en las muestras de agua residual se determinó mediante el método de Oxidación de Cromo (III) y (VI).

Preparación de los filtros de lecho fijo

Se procedió a elaborar los filtros de lecho fijo utilizando la vaina de haba como material filtrante. Estos filtros constan de un lecho empacado con *V. faba* como material filtrante. El principio de funcionamiento de los filtros consiste en hacer pasar una corriente del efluente a través del lecho, permitiendo que los contaminantes sean absorbidos. Se empleó la *V. faba* como material de soporte en los filtros (Sathya et al., 2022).

Proceso de adsorción

Se realizaron tres muestreos aleatorios de las muestras de agua residual, las cuales se sometieron a análisis de laboratorio para determinar la cantidad de Cromo (III) presente inicialmente en cada muestra. Posteriormente, cada muestra se filtró tres veces en cada uno de los filtros de lecho fijo que se elaboraron con diferentes tamaños de partícula del material filtrante (1 mm, 3.35 mm y 5.08 mm). El objetivo fue evaluar si los filtros absorbieron el Cromo III y determinar cuál de ellos tuvo un mayor rendimiento.

Evaluación de la remoción de Cromo (III)

La evaluación de la capacidad de remoción del Cromo (III) se basó en la diferencia entre la concentración inicial de cromo y la concentración de cromo después de ser sometido al medio filtrante. Finalmente, se utilizó el método de referencia detallado en la edición 22 de los Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales 3500-Cr B, el cual es aplicable a aguas naturales, residuales y tratadas (Rice et al., 2012).

Resultados

En la Tabla 1, se presentan los resultados obtenidos en el análisis químico de determinación de Cromo (III). De acuerdo, a los resultados obtenidos se pudo determinar que la adsorción del metal se da en aproximadamente en un 99%. En este contexto, en la primera muestra, se detectó una concentración inicial de 133 mg/L de Cromo (III). Por otra parte, la segunda muestra mostró una concentración de 130 mg/L, mientras que en la tercera muestra se registró una concentración de 120,1 mg/L de Cromo (III).

Tabla 1.

Análisis químico – determinación de Cromo (III) en las muestras de estudio

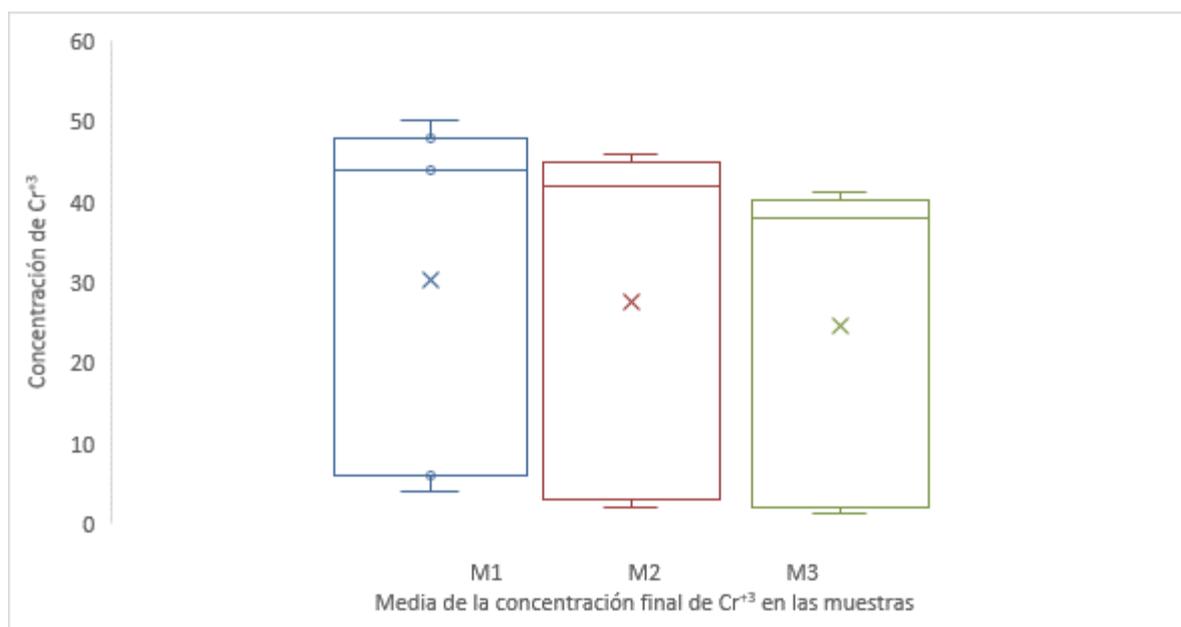
	M1	M2	M3
	(mg/L)		
<i>A</i>	133	130	120.1
<i>B</i>	1.3	1.27	1.17
<i>C</i>	1.79	1.75	1.62
<i>D</i>	1.85	1.82	1.67

Nota: M1: Muestra 1; M2: Muestra 2, M3: Muestra 3; A: Sin filtrar; B: Tamaño 1 mm; C: Tamaño 3.35 mm; D: Tamaño 5.08 mm Autores (2024)

Por otra parte, con respecto al análisis de varianza que se muestra en la Figura 1, se observó que no hay una diferencia estadísticamente significativa entre las muestras. Estos resultados sugieren que el uso de las vainas de *V. faba* para remover Cromo (III) de las aguas residuales es efectivo independientemente del tamaño de partícula aplicado.

Figura 1.

Concentración final de Cromo (III) en muestras realizadas.



Nota: Autores (2024)

Discusión

La presencia de Cromo (III) en los efluentes residuales de las curtiembres plantea ciertos riesgos potenciales, ya que puede afectar la calidad del agua, alterar el equilibrio biológico y provocar la muerte de especies acuáticas (Suljević et al., 2024). Por lo tanto, resulta crucial controlar y tratar adecuadamente los efluentes generados por las curtiembres para evitar la liberación de Cromo (III) y minimizar los riesgos asociados (Staszak et al., 2022). La implementación de sistemas de tratamiento adecuados, como la adsorción, la precipitación

química o la reducción biológica, puede contribuir a eliminar o reducir la concentración de Cromo (III) en los efluentes antes de su descarga al medio ambiente (Rajapaksha et al., 2022).

En este contexto, estudios previos como Acosta et al. (2017) investigaron la adsorción de Cromo (VI) utilizando cáscaras de yuca como material adsorbente y encontraron que este material de bajo costo presenta una capacidad de remoción relativamente buena para tratar efluentes industriales contaminados con este metal. De forma similar, Pintado (2018) concluyó en su investigación sobre el uso de marlos de maíz como biosorbentes para la remoción de metales pesados en el agua que esta alternativa natural resulta efectiva y reutilizable desde un punto de vista económico y ambiental. Por su parte, Paz (2020) investigó la capacidad de la vaina de arveja para la biorremoción del Cr, sus resultados demostraron su eficacia en la eliminación de este metal de las aguas residuales.

En este estudio, se empleó tres tamaños de partículas diferentes de la vaina de *V. faba* para determinar su rendimiento. Se observó que el filtro con partículas de 1 mm de tamaño presentó una mayor capacidad de adsorción en comparación con los filtros de 3.35 mm y 5.08 mm. Aunque la diferencia en la cantidad adsorbida entre los filtros no fue significativa, esto sugiere que a medida que se reduzca el tamaño de las partículas, se obtendrán resultados más satisfactorios. En consiguiente, basado en los resultados obtenidos, se sugiere la aplicación de este enfoque representa una excelente alternativa. Además de su efectividad, destaca su bajo costo y la facilidad para obtener dicho material.

Conclusión

Los resultados de este estudio demuestran que el uso de vainas de *V. faba* como material adsorbente es una alternativa eficaz y económica para la remoción de Cromo (III) de aguas residuales de curtiembre. La capacidad de adsorción alcanzó aproximadamente el 99%, independientemente del tamaño de partícula utilizado, aunque se observó una tendencia a una

mayor eficiencia con partículas de menor tamaño. La implementación de este método no solo ayuda a reducir significativamente los niveles de Cromo (III) en los efluentes, mitigando los riesgos ambientales y de salud asociados, sino que también promueve el uso sostenible de materiales considerados como residuos. Estos hallazgos sugieren que la adsorción con *V. faba* podría ser una solución viable y sustentable para el tratamiento de aguas residuales industriales, contribuyendo a la protección del medio ambiente y la salud pública.

Referencias bibliográficas

- (INEN), I. E. de N. (2013). *AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS*. <https://inencloud.normalizacion.gob.ec/>
- Acosta Arguello, H. A., Barraza Yance, C. A., & Albis Arrieta, A. R. (2017). Adsorption of chromium (VI) using cassava peel (*Manihot esculenta*) as biosorbent: A kinetic study. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(1), 58–76. <https://doi.org/10.14482/inde.35.1.8943>
- Álvarez, A. M., Guerrón, D. B., & Calderón, C. M. (2021). Natural zeolite as a chromium VI removal agent in tannery effluents. *Heliyon*, 7(9).
- Arti, & Mehra, R. (2023). Analysis of heavy metals and toxicity level in the tannery effluent and the environs. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(5), 554.
- Bakshi, A., & Panigrahi, A. K. (2022). Chromium contamination in soil and its bioremediation: An overview. *Advances in Bioremediation and Phytoremediation for Sustainable Soil Management: Principles, Monitoring and Remediation*, 229–248.
- Barboza Quispe, R., & Vega Robles, B. W. (2020). *Revisión sistemática: aplicación de coagulantes naturales para el tratamiento de aguas contaminadas*.
- Beltrán-Jimenez, S. S., Gómez-Reina, M. Ángel, Monsalve-Estrada, N. Y., Ospina-Ladino, M. C., & López-Muñoz, L. G. (2023). Optimización del Overrun (aireado), del rendimiento, de los sólidos solubles y los costos de un helado mediante el diseño de mezclas. *Journal of Economic and Social Science Research*, 3(4), 68–83. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v3/n4/81>
- Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. del C., Herrera-Feijoo, R. J., & Andrade, J. C. (2023). *Biotecnología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.25>

- Guamán-Rivera, S. A., Herrera-Feijoo, R. J., Paredes-Peralta, A. V., & Ruiz-Sánchez, C. I. (2023). Respuestas productivas de cuyes (*Cavia porcellus*) a la suplementación con harina de amaranto (*Amaranthus caudatus*) y curcuma (*Curcuma longa*): Un enfoque innovador para la cuyicultura sostenible. In *Sinergia Científica: Integrando las Ciencias desde una Perspectiva Multidisciplinaria* (pp. 1–14). Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.20>
- Guo, C., Ding, L., Jin, X., Zhang, H., & Zhang, D. (2021). Application of response surface methodology to optimize chromium (VI) removal from aqueous solution by cassava sludge-based activated carbon. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), 104785.
- Herrera-Feijoo, R. J. (2024). Principales amenazas e iniciativas de conservación de la biodiversidad en Ecuador. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(1), 33–56. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n1/85>
- Hossini, H., Shafie, B., Niri, A. D., Nazari, M., Esfahlan, A. J., Ahmadpour, M., Nazmara, Z., Ahmadimanesh, M., Makhdoumi, P., & Mirzaei, N. (2022). A comprehensive review on human health effects of chromium: Insights on induced toxicity. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(47), 70686–70705.
- Igiri, B. E., Okoduwa, S. I. R., Idoko, G. O., Akabuogu, E. P., Adeyi, A. O., & Ejiogu, I. K. (2018). Toxicity and bioremediation of heavy metals contaminated ecosystem from tannery wastewater: a review. *Journal of Toxicology*, 2018.
- Irshad, M. A., Sattar, S., Nawaz, R., Al-Hussain, S. A., Rizwan, M., Bukhari, A., Waseem, M., Irfan, A., Inam, A., & Zaki, M. E. A. (2023). Enhancing chromium removal and recovery from industrial wastewater using sustainable and efficient nanomaterial: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 263, 115231.
- Iyer, M., Anand, U., Thiruvengataswamy, S., Babu, H. W. S., Narayanasamy, A., Prajapati, V. K., Tiwari, C. K., Gopalakrishnan, A. V., Bontempi, E., & Sonne, C. (2023). A review of chromium (Cr) epigenetic toxicity and health hazards. *Science of The Total Environment*, 882, 163483.
- Krenz, L. M. M., Grebenteuch, S., Zocher, K., Rohn, S., & Pleissner, D. (2023). Valorization of faba bean (*Vicia faba*) by-products. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1–18.
- Li, A., Deng, H., Jiang, Y., & Ye, C. (2020). High-efficiency removal of Cr (VI) from wastewater by Mg-loaded biochars: Adsorption process and removal mechanism. *Materials*, 13(4), 947.

- Long, Z., Huang, Y., Zhang, W., Shi, Z., Yu, D., Chen, Y., Liu, C., & Wang, R. (2021). Effect of different industrial activities on soil heavy metal pollution, ecological risk, and health risk. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, 1–12.
- Mortada, W. I., El-Naggar, A., Mosa, A., Palansooriya, K. N., Yousaf, B., Tang, R., Wang, S., Cai, Y., & Chang, S. X. (2023). Biogeochemical behaviour and toxicology of chromium in the soil-water-human nexus: A review. *Chemosphere*, 138804.
- Nigam, M., Mishra, P., Kumar, P., Rajoriya, S., Pathak, P., Singh, S. R., Kumar, S., & Singh, L. (2023). Comprehensive technological assessment for different treatment methods of leather tannery wastewater. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(60), 124686–124703.
- Nur-E-Alam, M., Mia, M. A. S., Ahmad, F., & Rahman, M. M. (2020). An overview of chromium removal techniques from tannery effluent. *Applied Water Science*, 10(9), 205.
- Ojeaga, P. I., & Posu, S. M. (2017). Climate change, industrial activity and economic growth: A cross regional analysis. *Global Economic Observer*, 5(2), 7–17.
- Paz Corrales, O. A. (2020). *Biorremoción de cromo total en los efluentes de curtiembres, empleando vainas de arvejas Pisum Sativum L. para obtener agua categoría 3 D 2 D.S. 004-2017 MINAM. en Arequipa 2018*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Pintado Paltán, E. (2018). Comparación de la biosorción y desorción de metales pesados mediante el uso de marlo de maíz (*Zea mays*) en aguas contaminadas. In *Tesis*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Rachman, F. F., Syahputri, Y., & Sutanto, S. (2023). Potential of cassava peel as Cr metal biosorbent in laboratory cod waste. *Helium: Journal of Science and Applied Chemistry*, 3(1), 21–28.
- Rajapaksha, A. U., Selvasembian, R., Ashiq, A., Gunarathne, V., Ekanayake, A., Perera, V. O., Wijesekera, H., Mia, S., Ahmad, M., & Vithanage, M. (2022). A systematic review on adsorptive removal of hexavalent chromium from aqueous solutions: Recent advances. *Science of the Total Environment*, 809, 152055.
- Rajendran, S., Priya, T. A. K., Khoo, K. S., Hoang, T. K. A., Ng, H.-S., Munawaroh, H. S. H., Karaman, C., Orooji, Y., & Show, P. L. (2022). A critical review on various remediation approaches for heavy metal contaminants removal from contaminated soils. *Chemosphere*, 287, 132369.

- Ramaswamy, R. (2017). The relevance of industrial ecology in developing countries. In *Perspectives on Industrial Ecology* (pp. 306–314). Routledge.
- Rice, E. W., Bridgewater, L., & Association, A. P. H. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (Vol. 10). American public health association Washington, DC.
- Ruiz Sánchez, C. I., Herrera Feijoo, R. J., Correa Salgado, M. de L., & Peñafiel Arcos, P. A. (2023). *Fundamentos Teóricos de Química Inorgánica*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.19>
- Ruiz-Sánchez, C. I., Herrera-Feijoo, R. J., Correa-Salgado, M. de L., & Hidalgo-Hugo, L. D. (2023). *Principios Básicos de Bioquímica para Agroecología*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.23>
- Sánchez-Mateos, S., Pérez, L. V., Córdova Suárez, M. A., & Cabrera-Riofrio, D. A. (2020). Heavy metal contamination in the Cotopaxi and Tungurahua rivers: a health risk. *Environmental Earth Sciences*, 79(6), 144.
- Santander-Salmon, E. S., & Lara-Rivadeneira, L. J. (2023). El liderazgo en el ámbito organizacional dentro del contexto humano. *Journal of Economic and Social Science Research*, 3(2), 15–29.
- Sathya, K., Nagarajan, K., Carlin Geor Malar, G., Rajalakshmi, S., & Raja Lakshmi, P. (2022). A comprehensive review on comparison among effluent treatment methods and modern methods of treatment of industrial wastewater effluent from different sources. *Applied Water Science*, 12(4), 70.
- Saxena, G., Chandra, R., & Bharagava, R. N. (2017). Environmental pollution, toxicity profile and treatment approaches for tannery wastewater and its chemical pollutants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume 240*, 31–69.
- Schwantes, D., Gonçalves, A. C., Coelho, G. F., Campagnolo, M. A., Dragunski, D. C., Tarley, C. R. T., Miola, A. J., & Leismann, E. A. V. (2016). Chemical modifications of cassava peel as adsorbent material for metals ions from wastewater. *Journal of Chemistry*, 2016.
- Sdiri Ghidaoui, J., Bargougui, L., Chaieb, M., & Mekki, A. (2019). Study of the phytotoxic potential of olive mill wastewaters on a leguminous plant ‘*Vicia faba* L.’ *Water Science and Technology*, 80(7), 1295–1303.
- Song, P., Xu, D., Yue, J., Ma, Y., Dong, S., & Feng, J. (2022). Recent advances in soil remediation technology for heavy metal contaminated sites: A critical review. *Science of the Total Environment*, 838, 156417.

- Staszak, K., Kruszelnicka, I., Ginter-Kramarczyk, D., Góra, W., Baraniak, M., Lota, G., & Regel-Rosocka, M. (2022). Advances in the removal of Cr (III) from spent industrial effluents—A review. *Materials*, *16*(1), 378.
- Suljević, D., Fočak, M., & Alijagic, A. (2024). Assessing chromium toxicity across aquatic and terrestrial environments: a cross-species review. *Drug and Chemical Toxicology*, 1–13.
- Urrutia-Goyes, R., Molina, C., Moscoso, D., & Montaluisa, K. (2022). BOD5, COD, and Surfactants in Discharge Water in the Vicinity of a Tannery in Salcedo, Ecuador. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *987*(1), 12008.
- Villabona-Ortíz, A., Tejada-Tovar, C., & González-Delgado, Á. D. (2023). Statistical Modelling of Biosorptive Removal of Hexavalent Chromium Using Dry Raw Biomasses of *Dioscorea rotundata*, *Elaeis guineensis*, *Manihot esculenta*, *Theobroma cacao* and *Zea mays*. *Sustainability*, *15*(12), 9156.