

# Eficiencia del biocarbón activado de *Daucus carota* con perlas de alginato de calcio en la remoción de arsénico, muestras sintéticas

Efficiency of activated biochar from *Daucus carota* with calcium alginate beads in the removal of arsenic from synthetic samples

 Carlos Romel Pari Salazar<sup>1\*</sup>

## Resumen

El estudio evalúa la eficiencia del biocarbón activado de *Daucus carota* con perlas de alginato de calcio para remover arsénico en muestras sintéticas, promoviendo tecnologías sostenibles para descontaminar aguas. Se analizaron las interacciones entre la concentración del adsorbente, el pH y el tiempo de contacto para optimizar la adsorción. La investigación, de enfoque cuantitativo y aplicada, utilizó tres concentraciones de biocarbón (1 mg/L, 2 mg/L y 3 mg/L), tres niveles de pH (4, 7 y 9) y tres tiempos de contacto (30, 60 y 120 minutos). Los resultados mostraron que la mayor eficiencia (93.263%) se logró con 3 mg/L de adsorbente a pH neutro (7) tras 120 minutos. En contraste, la menor eficiencia (51.31%) ocurrió a pH 9 con 1 mg/L de adsorbente en el mismo tiempo. Además, el tiempo de contacto influyó significativamente en la adsorción, mejorando progresivamente hasta los 120 minutos. Estos hallazgos destacan que el biocarbón activado de *Daucus carota* es un adsorbente efectivo para remover arsénico, especialmente en condiciones de pH neutro y tiempos prolongados. Su uso representa una alternativa viable y sostenible para tratar aguas contaminadas, contribuyendo a estrategias eficientes de gestión ambiental y reducción de metales pesados en ecosistemas acuáticos, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible.

**Palabras Clave:** Arsénico, Biocarbón activado, *Daucus carota*, pH, Remoción.

## Abstract

The study evaluates the efficiency of activated *Daucus carota* biochar with calcium alginate beads to remove arsenic from synthetic samples, promoting sustainable technologies to decontaminate water. The interactions between adsorbent concentration, pH and contact time were analysed to optimise adsorption. The research, with a quantitative and applied approach, used three concentrations of biochar (1 mg/L, 2 mg/L and 3 mg/L), three pH levels (4, 7 and 9) and three contact times (30, 60 and 120 minutes). The results showed that the highest efficiency (93.263%) was achieved with 3 mg/L adsorbent at neutral pH (7) after 120 minutes. In contrast, the lowest efficiency (51.31%) occurred at pH 9 with 1 mg/L adsorbent in the same time. In addition, the contact time significantly influenced adsorption, improving progressively up to 120 minutes. These findings highlight that activated biochar from *Daucus carota* is an effective adsorbent to remove arsenic, especially under neutral pH conditions and for prolonged periods of time. Its use represents a viable and sustainable alternative to treat contaminated water, contributing to efficient environmental management strategies and reduction of heavy metals in aquatic ecosystems, in line with sustainable development objectives.

**Keywords:** Arsenic, Activated Biochar, *Daucus carota*, pH, Removal.

**Recibido:** 13/03/2025

**Aceptado:** 15/09/2025

**Publicado:** 30/09/2025

**Sección:** Artículo Original

**\*Autor correspondiente:** [carloss.paris@gmail.com](mailto:carloss.paris@gmail.com)

## Introducción

La contaminación del agua por metales pesados representa una amenaza significativa para la salud pública y el medio ambiente. En particular, la presencia elevada de arsénico en cuerpos de agua es motivo de creciente preocupación debido a su alta toxicidad y efectos cancerígenos (Zhang et al., 2023). La acumulación de estos compuestos en los ecosistemas acuáticos impacta negativamente la biodiversidad y la salud humana, provocando alteraciones neurológicas, pulmonares y renales, además de estar asociado con enfermedades como hipertensión y cáncer (Azzam et al. 2023; Ayuso-Álvarez et al. 2022).

Debido a la toxicidad del arsénico y su presencia en diversas regiones, especialmente en países en desarrollo, la bioadsorción ha emergido como una alternativa

eficiente y económica para su eliminación del agua potable, superando a los tratamientos convencionales (Lakshmana Naik et al., 2023; Sevak & Pushkar, 2024). Diversos estudios han evaluado la eficacia de materiales no convencionales en la adsorción de metales pesados, destacando el uso de biocarbón activado a partir de residuos orgánicos como una solución sostenible y de bajo costo pesados (Papadaki et al., 2021). Además, la combinación de estos adsorbentes con alginato de calcio

<sup>1</sup>Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Av. Del Parque 640, San Juan de Lurigancho 15434, Lima, Perú.

**Comi citar:** Pari Salazar, C. R. (2025). Eficiencia del biocarbón activado de *Daucus carota* con perlas de alginato de calcio en la remoción de arsénico, muestras sintéticas. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 27, e27705. <https://doi.org/10.18271/ria.2025.705>



Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) Share - Adapt

ha demostrado mejorar la estabilidad y eficiencia de remoción de contaminantes (Qasem et al., 2021).

En este contexto, la investigación evaluó la eficiencia del biocarbón activado de *Daucus carota* con perlas de alginato de calcio en la remoción de arsénico en muestras sintéticas, analizando variables como la dosis del adsorbente, el pH y el tiempo de contacto. Esta metodología no solo optimiza el proceso de adsorción, sino que también representa una alternativa ecológica y sostenible para mitigar la contaminación por arsénico, promoviendo la economía circular mediante el uso de desechos agroindustriales.

Sakhiya et al. (2023) evaluaron el biocarbón activado derivado de paja de arroz para adsorber arsénico y manganeso en aguas contaminadas, logrando eficiencias de eliminación del 96.01% y del 99.53% respectivamente. La adsorción, ajustada a modelos cinéticos e isotérmicos, fue favorecida por interacciones electrostáticas a un pH 6. El estudio destaca el potencial del biocarbón activado como una alternativa viable para la purificación de agua en zonas rurales.

Das & Mondal (2023) desarrollaron biocarbón magnético a partir de *Acacia auriculiformis*, mejorado con nanopartículas de óxido de hierro para remover arsénico de soluciones acuosas, las propiedades adsorbentes del material lograron una capacidad de adsorción máxima de 294.1 mg/g y una eficiencia de eliminación del 95%. Este estudio enfatiza la importancia de modificar estructuralmente los bioadsorbentes para aumentar su rendimiento en la remoción de arsénico.

Shah et al. (2024) estudiaron un biocarbón producido a partir de lodos tratados con hidróxido de potasio (KOH). Este material mostró un rendimiento significativamente mayor en la eliminación de  $As^{3+}$  en comparación con el biocarbón sin tratar, alcanzando un 98% de remoción a pH 8. Los resultados siguieron los modelos de Langmuir y cinética de pseudo-segundo orden, evidenciando adsorción química en monocapa, el material mantuvo su eficiencia tras cuatro ciclos de regeneración.

Ho et al. (2024) analizaron la eficiencia del biocarbón activado del jacinto de agua para remover  $As(V)$  de soluciones acuosas. La activación con KOH y  $FeCl_3$  permitió alcanzar una capacidad de adsorción de 0.203 mg/g, manteniendo su efectividad en un amplio rango de pH (3-10). La cinética de adsorción se ajustó al modelo de pseudo-primer orden. La reutilización del material en tres ciclos sin pérdida de eficiencia reforzó su aplicabilidad en la purificación del agua.

Yaqub et al. (2023) evaluaron la efectividad del carbón activado derivado de *Dodonaea viscosa* en perlas de alginato de calcio para la remoción de azul de metileno, demostrando una capacidad de adsorción de 370 mg/g con un ajuste al modelo de segundo-pseudo orden y la isoterma de Freundlich. Estos resultados respaldan la viabilidad de los compuestos basados en alginato de calcio en la adsorción de contaminantes.

Pérez-Cid et al. (2020) analizaron la eficiencia del hidrogel de alginato de calcio en la remediación de aguas residuales de galvanoplastia, destacando su capacidad de adsorción para cianuro y metales pesados, con remociones superiores al 85%. Este estudio refuerza la aplicación del alginato de calcio como un material adsorbente sostenible para la eliminación de contaminantes en medios acuosos.

Asimismo, Kachhwaha et al. (2023) evaluaron la eficacia del carbón activado obtenido de cáscaras de naranja, combinado con perlas de alginato de calcio, para remover plomo de soluciones acuosas. Los resultados mostraron una eficiencia del 90.3% en la eliminación de plomo a un pH de 6.5, destacando la importancia de la combinación de biocarbón y alginato de calcio en la mejora de la adsorción de metales pesados.

Este problema se ha visto agravado por el crecimiento de actividades antropogénicas como la minería y la industria química, las cuales generan efluentes con altas concentraciones de metales pesados (Chen y Costa 2021; Hao et al. 2020), en tal sentido el presente estudio tuvo como objetivo determinar la eficiencia máxima del biocarbón activado de *Daucus carota* con perlas de alginato de calcio en la remoción de arsénico, muestras sintéticas y así identificar el tipo de dosis más eficiente de biocarbón activado, descubrir el pH de la solución que optimiza la eficiencia de la adsorción, y también identificar el tiempo de contacto óptimo que logra la máxima eficiencia en la remoción de arsénico utilizando biocarbón activado de *Daucus carota* con perlas de alginato de calcio en muestras sintéticas.

La presente investigación se justificó por la urgente necesidad de encontrar soluciones económicas, eficientes y sostenibles para la remoción de arsénico en el agua, un problema de salud pública global que afecta especialmente a comunidades vulnerables con limitado acceso a tecnologías de tratamiento (Bhatti et al., 2020; Khan et al., 2024). Al emplear biocarbón activado de *Daucus carota*, encapsulado en perlas de alginato de calcio, se propuso un método innovador que no solo mejora la eficiencia de adsorción gracias a su alta porosidad y funcionalidad química (Shah et al.,

2024; Yoon et al., 2023), sino que también promueve la economía circular y reduce el impacto ambiental (Alka et al., 2021). Esta combinación metodológica, poco explorada, aprovecha subproductos agrícolas como materiales económicos y ecológicos para el tratamiento de agua mediante adsorción (Mohan et al., 2019) lo que aporta valor científico y social al proponer una tecnología replicable, de bajo costo y orientada a disminuir las desigualdades en el acceso a agua potable segura.

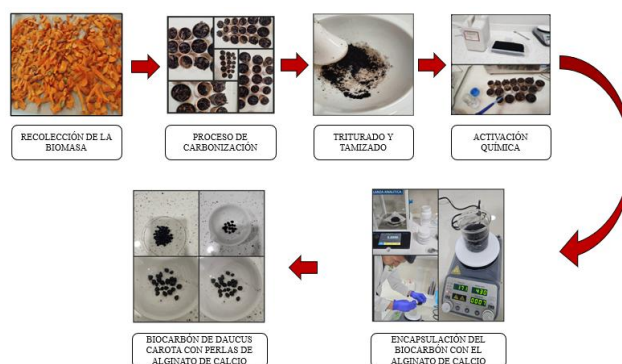
## Materiales y métodos

Este estudio de enfoque cuantitativo (Hernández et al., 2014) evaluó la eficiencia del biocarbón activado de *Daucus carota* (cáscara de zanahoria) en la remoción de arsénico en soluciones sintéticas. De tipo aplicada, se utilizó un diseño experimental puro con un diseño factorial de tres factores: concentración de biocarbón (1, 2 y 3 mg/L), pH (4, 7 y 9) y tiempo de contacto (30, 60 y 120 min).

Para la preparación de las soluciones sintéticas, se utilizó arsénico total diluido en agua destilada hasta alcanzar una concentración de 1.5 mg/L, representativa de ambientes contaminados. El ajuste de pH se realizó mediante la adición controlada de ácido clorhídrico (HCl) o hidróxido de sodio (NaOH), y la agitación se llevó a cabo en un agitador mecánico a velocidad constante de 300 revoluciones por minuto (RPM) para garantizar la homogeneidad de las muestras.

La biomasa de *Daucus carota* (cáscara de zanahoria), la cual fue obtenida de residuos como cáscaras y fragmentos descartados de juguerías, fue limpiada y secada hasta alcanzar una humedad menor al 10%. Luego, se realizó el proceso de pirólisis a utilizando un horno mufla el cual permitió mantener un ambiente controlado y sin oxígeno, la pirólisis se llevó a cabo a una temperatura de 400 °C durante tres horas para su conversión en biocarbón, el proceso térmico permitió la descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno, obteniendo un biocarbón poroso con alta superficie específica. Posteriormente el biocarbón, fue triturado y activado químicamente con ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) al 80% en una proporción de 200 mL por cada kilogramo de cáscara. Finalmente, el biocarbón se lavó, secó a baja temperatura (50-60 °C), se tamizó con malla 200 y almacenó en un ambiente seco y hermético.

El biocarbón activado con perlas de alginato de calcio se preparó disolviendo alginato al 3% en agua destilada y mezclándolo en proporción 1:1 con biocarbón. La mezcla se goteó en una solución de cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) al 3% para formar perlas mediante gelificación instantánea.



**Figura 1.** Formación de perlas de alginato de calcio

Para evaluar el efecto del pH, se prepararon soluciones de arsénico con valores de 4, 7 y 9. Las perlas se incorporaron en 100 mL de agua sintética por tratamiento y se mantuvieron en agitación constante durante 30, 60 y 120 minutos. Posteriormente, las soluciones se filtraron con una bomba de vacío y se analizó la concentración final de arsénico mediante espectrometría de absorción atómica (AAS). La eficiencia de remoción se calculó comparando la concentración inicial y final de arsénico, determinando el tiempo de contacto óptimo para el proceso de adsorción.

**Tabla 1.** Tabla de materiales de laboratorio

| Materiales                   | Capacidad/Especificación |
|------------------------------|--------------------------|
| Vasos precipitados (Clase A) | 2000, 1000 y 500 mL      |
| Probetas graduadas           | 1000 y 100 mL            |
| Micropipetas                 | 1 y 5 mL                 |
| Jeringa                      | 5 mL                     |
| Crisol                       | -                        |
| Barras magnéticas            | -                        |
| Espátulas                    | -                        |

**Tabla 2.** Tabla de equipos o instrumentos

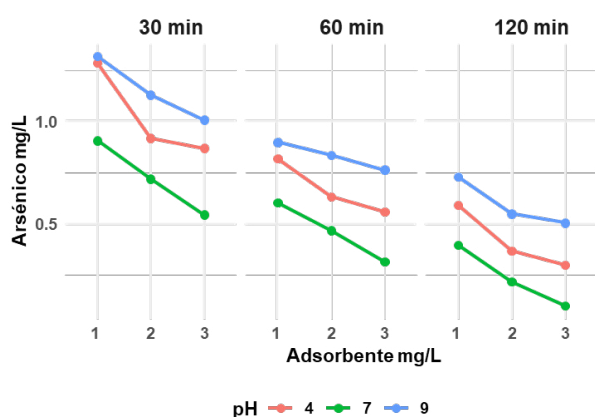
| Equipo                                  | Modelo y/o Marca |
|-----------------------------------------|------------------|
| Multiparámetro                          | Hach HQ2200      |
| Agitador magnético                      | -                |
| Espectrofotómetro de absorción atómica  | ANALYTIK JENA    |
| Horno mufla                             | THERMO           |
| Balanza analítica (Precisión: 0.0001 g) | ADAM             |
| Bomba de vacío                          | ROCKER           |
| Estufa                                  | RAYPA            |

**Tabla 3.** Tabla de reactivos Químicos

| Reactivo             | Fórmula Química / Concentración |
|----------------------|---------------------------------|
| Biocarbón activado   | -                               |
| Alginato de calcio   | -                               |
| Cloruro de calcio    | $\text{CaCl}_2$                 |
| Ácido fosfórico      | $\text{H}_3\text{PO}_4$         |
| Estándar de arsénico | 1000 mg/L                       |
| Ácido sulfúrico      | $\text{H}_2\text{SO}_4$ (0.2N)  |
| Hidróxido de sodio   | $\text{NaOH}$ (0.1N)            |
| Agua destilada       | -                               |

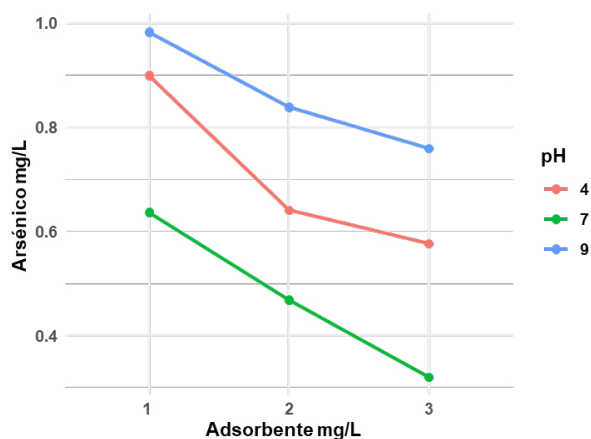
## Resultados

La figura 2 muestra cómo varía la eficiencia de adsorción de arsénico al combinar diferentes niveles de pH (4, 7 y 9), dosis del adsorbente (1, 2 y 3 mg/L) y tiempos de contacto (30, 60 y 120 minutos). Se observa que el pH neutro (pH 7), en combinación con la dosis más alta de adsorbente (3 mg/L) y el mayor tiempo de contacto (120 min), resulta en la máxima eficiencia de remoción (93.263%). En contraste, las condiciones menos favorables (pH 9, 1 mg/L, 120 min) alcanzan solo un 51.31% de remoción. La tendencia general indica que una mayor dosis de adsorbente y un mayor tiempo de contacto mejoran la eficiencia de remoción, especialmente en condiciones neutras.



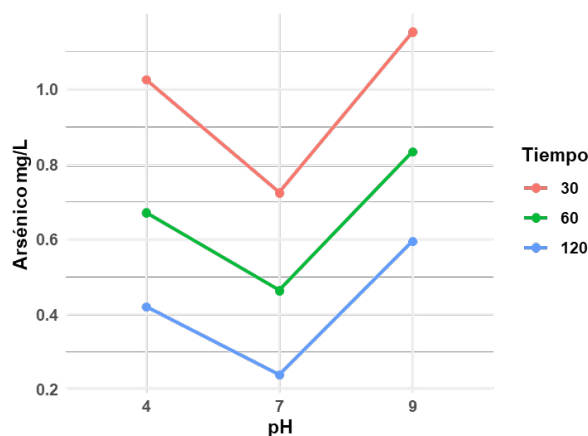
**Figura 2.** Interacción entre biocarbón adsorbente, pH y tiempo

La figura 3 representa cómo varía la eficiencia de remoción de arsénico al combinar diferentes dosis de adsorbente (1, 2 y 3 mg/L) con valores de pH de 4, 7 y 9. Se evidencia que el pH neutro (pH 7) genera los mejores resultados, alcanzando una eficiencia máxima de 78.66% con 3 mg/L de adsorbente. Por otro lado, la menor eficiencia (34.50%) se presenta a pH 9 con la menor dosis. En general, se observa una tendencia ascendente en la eficiencia de remoción a medida que se incrementa la dosis del adsorbente, especialmente en condiciones ácidas y neutras.



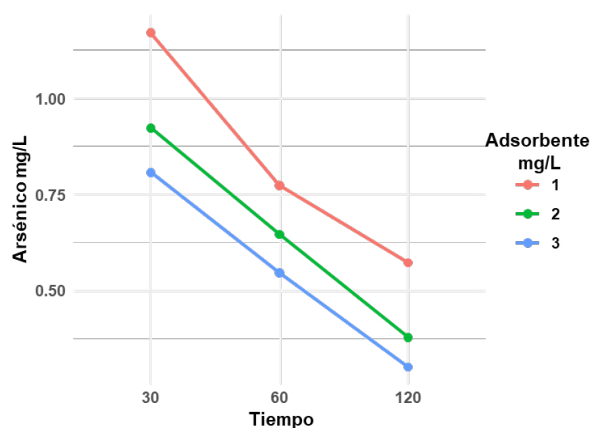
**Figura 3.** Interacción entre el pH y el adsorbente

La figura 4 muestra la relación entre el pH (4, 7 y 9) y el tiempo de contacto (30, 60 y 120 minutos) sobre la eficiencia de remoción de arsénico. Se observa que a un pH neutro (7) y con un tiempo de contacto de 120 minutos se alcanza la máxima eficiencia (84.06%). En contraste, la menor remoción (23.16%) se obtiene a pH 9 con solo 30 minutos de contacto. Estos resultados destacan la importancia del tiempo como variable clave, con mayor eficacia en condiciones neutras, especialmente al prolongar la duración del tratamiento.



**Figura 4.** Interacción entre el tiempo y pH

Finalmente, la figura 5 representa cómo varía la eficiencia de remoción de arsénico en función de la dosis de adsorbente (1, 2 y 3 mg/L) y del tiempo de contacto (30, 60 y 120 minutos). Se destaca que la mayor eficiencia (79.857%) se alcanzó con una dosis de 3 mg/L y un tiempo de 120 minutos. Por el contrario, la menor eficiencia (21.897%) se observó con una dosis de 1 mg/L y solo 30 minutos de contacto. Estos resultados confirman que tanto el incremento de la dosis como la prolongación del tiempo favorecen significativamente la eficacia del proceso de remoción.



**Figura 5.** Interacción entre el adsorbente y tiempo

## Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio evidencian que la eliminación de arsénico en soluciones acuosas mediante adsorción está influenciada por múltiples factores, como el pH, la concentración del adsorbente y el tiempo de contacto. La interacción entre estos parámetros determina la eficiencia del proceso, lo que coincide con estudios previos que destacan la importancia de optimizar las condiciones experimentales para mejorar la remoción de contaminantes (Qasem et al., 2021; Rahdar et al., 2019).

El pH es un factor clave, ya que influye en la especiación del arsénico en solución y en la carga superficial del adsorbente, afectando la eficiencia de remoción (Dias & Fontes, 2020; Raji et al., 2023). En este estudio, la máxima eficiencia de eliminación (93.263%) se alcanzó a pH 7 con una concentración de adsorbente de 3 mg/L y un tiempo de contacto de 120 minutos, en concordancia con estudios que reportan una adsorción óptima en pH neutro (Shangguan et al., 2025). En condiciones alcalinas (pH 9), la eficiencia disminuyó a 51.31% debido a la repulsión electrostática entre las especies aniónicas del arsénico y la superficie del adsorbente (Ali et al., 2022). En pH ácido (pH 4), la eficiencia fue intermedia (75.388%), lo que sugiere que la protonación de los grupos funcionales del adsorbente reduce los sitios activos disponibles para la adsorción (ALSamman & Sánchez, 2023).

El tiempo de contacto también juega un papel crucial en la cinética de adsorción, ya que regula la interacción entre el adsorbente y el contaminante. Se observó que la remoción de arsénico aumentó con el tiempo hasta alcanzar un equilibrio a los 120 minutos, lo que sugiere un ajuste a un modelo de pseudo-segundo orden, en línea con estudios que indican la predominancia de interacciones químicas en la adsorción (Das & Mondal, 2023; Sakhiya et al., 2023).

El tipo y la concentración del adsorbente afectan la eficiencia de eliminación del arsénico. Se encontró que un incremento en la concentración de la adsorbente mejora la remoción del contaminante hasta cierto umbral, tras el cual se produce un efecto de saturación que limita la disponibilidad de sitios activos (Gayathiri et al., 2022). Se ha reportado que adsorbentes modificados, como los biocarbones activados con KOH, presentan eficiencias superiores al 98% en comparación con materiales sin modificar, lo que destaca la importancia de la funcionalización del adsorbente (Shah et al., 2024).

El biocarbón activado combinado con alginato de calcio mostró alta eficiencia en la retención de arsénico,

lo que se atribuye a su porosidad y estabilidad estructural. Este resultado es consistente con investigaciones previas que indican que la incorporación de biopolímeros mejora la capacidad de adsorción y evita la desorción del contaminante en condiciones desfavorables (Mobarak et al., 2024).

A pesar de las altas eficiencias de remoción, el estudio presenta limitaciones como la variabilidad del proceso en distintas matrices de agua y la necesidad de evaluar la regeneración del adsorbente. No obstante, sus hallazgos respaldan estrategias sostenibles y viables para la eliminación de arsénico, reforzando su aplicabilidad en el tratamiento de aguas contaminadas.

## Conclusiones

El estudio demuestra que el biocarbón activado de *Daucus carota* combinado con perlas de alginato de calcio es una estrategia eficiente para la remoción de arsénico en soluciones sintéticas. Se determinó que 3 mg/L es la concentración óptima del adsorbente, evidenciando que el incremento en la cantidad de material mejora la capacidad de retención del contaminante. Este hallazgo resalta subraya la importancia de una dosificación adecuada para optimizar la eficiencia del proceso.

El pH del medio de adsorción es un factor determinante en la remoción de arsénico, siendo el pH neutro (7) la condición más favorable. En condiciones ácidas (pH 4) o alcalinas (pH 9), la eficiencia del proceso disminuyó, lo que sugiere que las interacciones químicas entre el arsénico y el adsorbente son más efectivas en un entorno balanceado. Este resultado aporta evidencia relevante sobre la importancia del control del pH en los sistemas de tratamiento de aguas contaminadas con arsénico.

El tiempo de contacto óptimo para lograr la mayor remoción de arsénico fue de 120 minutos, tras el cual se observó una reducción significativa en la concentración del contaminante. Este comportamiento confirma que el proceso de adsorción es dependiente del tiempo y que una mayor interacción entre el adsorbente y el arsénico mejora la eficiencia de eliminación.

Estos resultados destacan la relevancia de optimizar la dosis de adsorbente, el pH y el tiempo de contacto para mejorar los procesos de descontaminación de aguas contaminadas con arsénico. La combinación de biocarbón activado de *Daucus carota* con perlas de alginato de calcio representa una solución sostenible y eficaz para la remoción de este metal, lo que contribuye al desarrollo de tecnologías de tratamiento de agua ambientalmente responsables y accesibles. Este trabajo



aporta una base sólida para futuras investigaciones enfocadas en la aplicación de materiales bioadsorbentes en la remediación de contaminantes tóxicos.

## Referencias

- Ali, H., Ahmed, S., Hsini, A., Kizito, S., Naciri, Y., Djellabi, R., Abid, M., Raza, W., Hassan, N., Saif Ur Rehman, M., Jamal Khan, A., Khan, M., Zia Ul Haq, M., Aboagye, D., Kashif Irshad, M., Hassan, M., Hayat, A., Wu, B., Qadeer, A., & Ajmal, Z. (2022). Efficiency of a novel nitrogen-doped Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> impregnated biochar (N/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@BC) for arsenic (III and V) removal from aqueous solution: Insight into mechanistic understanding and reusability potential. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(11), 104209. <https://doi.org/10.1016/J.ARABJC.2022.104209>
- Alka, S., Shahir, S., Ibrahim, N., Ndejiko, M. J., Vo, D. V. N., & Manan, F. A. (2021). Arsenic removal technologies and future trends: A mini review. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123805. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.123805>
- ALSamman, M. T., & Sánchez, J. (2023). Adsorption of Copper and Arsenic from Water Using a Semi-Interpenetrating Polymer Network Based on Alginate and Chitosan. *Polymers* 2023, Vol. 15, Page 2192, 15(9), 2192. <https://doi.org/10.3390/POLYM15092192>
- Ayuso-Álvarez, A., Nuñez, O., Martín-Méndez, I., Bel-Lán, A., Tellez-Plaza, M., Pérez-Gómez, B., Galán, I., & Fernández-Navarro, P. (2022). Metal and metalloid levels in topsoil and municipal cardiovascular mortality in Spain. *Environmental Research*, 204, 112395. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2021.112395>
- Azzam, M. A., Rizwan Khan, M., & Moustafa Youssef, H. (2023). Drinking water as a substantial source of toxic alkali, alkaline and heavy metals: Toxicity and their implications on human health. *Journal of King Saud University–Science*, 35(6), 102761. <https://doi.org/10.1016/J.JKSUS.2023.102761>
- Bhatti, Z. A., Qureshi, K., Maitlo, G., & Ahmed, S. (2020). Study of PAN Fiber and Iron ore Adsorbents for Arsenic Removal. *Civil Engineering Journal*, 6(3), 548-562. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2020-03091491>
- Chen, Q. Y., & Costa, M. (2021). Arsenic: A Global Environmental Challenge. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, 61(Volume 61, 2021), 47-63. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV-PHARMTOX-030220-013418/CITE/REFWORKS>
- Das, S., & Mondal, S. (2023). Synthesis of magnetic biochar derived from waste wood of acacia *Auriculiformis* for the removal of arsenic. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 20, 100893. <https://doi.org/10.1016/J.ENMM.2023.100893>
- Dias, A. C., & Fontes, M. P. F. (2020). Arsenic (V) removal from water using hydrotalcites as adsorbents: A critical review. *Applied Clay Science*, 191, 105615. <https://doi.org/10.1016/J.CLAY.2020.105615>
- Gayathiri, M., Pulingam, T., Lee, K. T., & Sudesh, K. (2022). Activated carbon from biomass waste precursors: Factors affecting production and adsorption mechanism. *Chemosphere*, 294, 133764. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.133764>
- Hao, C., Chen, B., Sánchez de la Campa, A. M., & de la Rosa, J. D. (2020). Increased industry contribution and atmospheric heavy metals from economic recovery in Spain. *Journal of Cleaner Production*, 246, 119024. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.119024>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. D. P. (2014). Metodología de la investigación. *Metodología de la investigación*, 91. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>
- Ho, P. N. T., Nguyen, T. B., Dong, C. Di, Ho, H. T. T., Phan, C. T., & Lai, T. H. D. (2024). Arsenic adsorption by activated biochar derived from water hyacinth. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 10, 100907. <https://doi.org/10.1016/J.CSCEE.2024.100907>
- Kachhwaha, V., Kumari, P., Giri, N., & Mishra, P. (2023). Evaluation of Lead Removal by Activated Citrus Sinensis Biochar Impregnated with Calcium Alginate Beads. *Oriental Journal Of Chemistry*, 39(6), 1547-1555. <https://doi.org/10.13005/OJC/390615>
- Khan, N., Hoque, S. F., Mahmud, Z. H., Islam, M. R., Alam, M. A. U., Islam, Md. S., & Charles, K. J. (2024). Water quality and unseen health outcomes: A cross-sectional study on arsenic contamination, subclinical disease and psychosocial distress in Bangladesh. *SSM–Mental Health*, 6, 100344. <https://doi.org/10.1016/J.SSMMH.2024.100344>

- Lakshmana Naik, R., Rupas Kumar, M., & Bala Narsaiah, T. (2023). Removal of heavy metals (Cu & Ni) from wastewater using rice husk and orange peel as adsorbents. *Materials Today: Proceedings*, 72, 92-98. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2022.06.112>
- Mobarak, M., Salah, A. M., Selim, A. Q., Al-arifi, N., Salama, Y. F., Li, Z., & Seliem, M. K. (2024). Magnetic hybrid spheres of glauconite/calcium alginate interface for methylene blue adsorption: Synthesis, characterization, and novel physicochemical insights through theoretical treatment. *International Journal of Biological Macromolecules*, 277, 134106. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2024.134106>
- Mohan, D., Markandeya, Dey, S., Dwivedi, S. B., & Shukla, S. P. (2019). Adsorption of arsenic using low cost adsorbents: Guava leaf biomass, mango bark and bagasse. *Current Science*, 117(4), 649-661. <https://doi.org/10.18520/cs/v117/i4/649-661>
- Papadaki, M. I., Mendoza-Castillo, D. I., Reynel-Avila, H. E., Bonilla-Petriciolet, A., & Georgopoulos, S. (2021). Nut Shells as Adsorbents of Pollutants: Research and Perspectives. *Frontiers in Chemical Engineering*, 3, 640983. <https://doi.org/10.3389/FCENG.2021.640983/BIBTEX>
- Pérez-Cid, B., Calvar, S., Moldes, A. B., & Cruz, J. M. (2020). Effective Removal of Cyanide and Heavy Metals from an Industrial Electroplating Stream Using Calcium Alginate Hydrogels. *Molecules* 2020, Vol. 25, Page 5183, 25(21), 5183. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES25215183>
- Qasem, N. A. A., Mohammed, R. H., & Lawal, D. U. (2021). Removal of heavy metal ions from wastewater: a comprehensive and critical review. *npj Clean Water* 2021 4:1, 4(1), 1-15. <https://doi.org/10.1038/s41545-021-00127-0>
- Rahdar, S., Taghavi, M., Khaksefidi, R., & Ahmadi, S. (2019). Adsorption of arsenic (V) from aqueous solution using modified saxaul ash: isotherm and thermodynamic study. *Applied Water Science*, 9(4), 1-9. <https://doi.org/10.1007/S13201-019-0974-0/TABLES/4>
- Raji, Z., Karim, A., Karam, A., & Khalloufi, S. (2023). Adsorption of Heavy Metals: Mechanisms, Kinetics, and Applications of Various Adsorbents in Wastewater Remediation—A Review. *Waste*, 1(3), 775-805. <https://doi.org/10.3390/WASTE1030046>
- Sakhiya, A. K., Kaushal, P., & Vijay, V. K. (2023). Potential of rice straw derived activated biochar to remove arsenic and manganese from groundwater: A cleaner approach in the Indo-Gangetic Plain. *Applied Surface Science Advances*, 17, 100443. <https://doi.org/10.1016/J.APSADV.2023.100443>
- Sevak, P., & Pushkar, B. (2024). Arsenic pollution cycle, toxicity and sustainable remediation technologies: A comprehensive review and bibliometric analysis. *Journal of Environmental Management*, 349, 119504. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2023.119504>
- Shah, A., Arjunan, A., Thumma, A., Zakharova, J., Bolarinwa, T., Devi, S., & Batool, M. (2024). Adsorptive removal of arsenic from drinking water using KOH-modified sewage sludge-derived biochar. *Cleaner Water*, 2, 100022. <https://doi.org/10.1016/J.CLWAT.2024.100022>
- Shangguan, Y., Li, B., Zhuang, X., Querol, X., Moreno, N., Huang, P., Guo, Y., Shi, Y., Wu, T., & Sola, P. C. (2025). Arsenic distribution and speciation in deposited coal mine dust. *Journal of hazardous materials*, 482. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2024.136537>
- Yaqub, A., Syed, S. M., Ajab, H., & Zia Ul Haq, M. (2023). Activated carbon derived from Dodonaea Viscosa into beads of calcium-alginate for the sorption of methylene blue (MB): Kinetics, equilibrium and thermodynamics. *Journal of Environmental Management*, 327, 116925. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2022.116925>
- Yoon, K., Cho, D. W., Kwon, G., Rinklebe, J., Wang, H., & Song, H. (2023). Practical approach of As(V) adsorption by fabricating biochar with low basicity from FeCl<sub>3</sub> and lignin. *Chemosphere*, 329, 138665. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2023.138665>
- Zhang, K., Chang, S., Zhang, Q., Bai, Y., Wang, E., Zhang, M., Fu, Q., Wei, L., & Yu, Y. (2023). Heavy metals in influent and effluent from 146 drinking water treatment plants across China: Occurrence, explanatory factors, probabilistic health risk, and removal efficiency. *Journal of Hazardous Materials*, 450, 131003. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131003>