

Technologies for arsenic removal from contaminated water: a systematic review of the literature (2022–2025)

Lucerito Katherine Ortiz-Garcia¹ 

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, c25072@utp.edu.pe

Abstract– Arsenic is a priority contaminant in various water sources and poses a significant risk to public health. This study presents a systematic review of the literature on technologies for removing arsenic from contaminated water, considering publications from the period 2022–2025. The PRISMA methodology was applied and a search was conducted in the Scopus database, finally selecting 29 articles according to inclusion and exclusion criteria. The findings show that the most widely used technologies are adsorption and electrocoagulation, in addition to advanced oxidation processes and emerging approaches based on nanomaterials and combined technologies. Likewise, knowledge gaps are shown in relation to the regeneration and reuse of adsorbents, the management of generated waste, scaling up in real conditions, and the economic evaluation of the viability of the reported alternatives.

Keywords– Arsenic; contaminated water; groundwater; technology; removal.

Tecnologías para la remoción de arsénico en aguas contaminadas: una revisión sistemática de la literatura (2022–2025)

Lucerito Katherine Ortiz-Garcia¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, c25072@utp.edu.pe

Resumen– El arsénico es un contaminante prioritario en diversas fuentes de agua y representa un riesgo significativo para la salud pública; en este estudio se presenta una revisión sistemática de la literatura sobre tecnologías para la remoción de arsénico en aguas contaminadas, considerando publicaciones del periodo 2022-2025. Se aplicó la metodología PRISMA y se realizó la búsqueda en la base de datos Scopus, seleccionándose finalmente 29 artículos conforme a criterios de inclusión y exclusión. Los hallazgos evidencian que las tecnologías más empleadas corresponden a la adsorción y la electrocoagulación, además de procesos de oxidación avanzada y enfoques emergentes basados en nanomateriales y tecnologías combinadas. Asimismo, se muestran vacíos de conocimiento relacionados con la regeneración y reutilización de adsorbentes, el manejo de residuos generados, el escalado en condiciones reales y la evaluación económica de la viabilidad de las alternativas reportadas.

Palabras clave-- Arsénico; agua contaminada; agua subterránea; tecnología; remoción.

I. INTRODUCCIÓN

El arsénico es un metaloide de alta toxicidad presente en diversas fuentes de agua, incluyendo aguas subterráneas, superficiales y residuales [1], [2], con origen natural (disolución de minerales) o antropogénico (actividades industriales, agrícolas y mineras). La contaminación por arsénico constituye un problema crítico en numerosos países [3], [4], como India, Bangladesh, México, Argentina y Perú, donde las concentraciones del elemento van más allá de los límites recomendados para agua de consumo humano; la OMS (Organización Mundial de la Salud) y la normativa peruana, el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA [5], establecen un máximo permitido de 10 ug/L en el agua potable [6], [7].

La exposición prolongada al arsénico mediante el consumo del agua contaminada se asocia con efectos adversos para la salud, incluyendo enfermedades cardiovasculares, diabetes, trastornos neurológicos y diferentes tipos de cáncer [8], [9] [10]. Dado que este elemento persiste en el ambiente y su capacidad de bioacumulación, la remoción efectiva del arsénico del agua se considera una prioridad en la agenda global de salud y medio ambiente [11], [12], [10].

Para enfrentar esta problemática, se han desarrollado tecnologías de tratamiento orientadas a minimizar la presencia del arsénico a niveles permisibles; sin embargo, la literatura reporta soluciones con diferencias importantes en eficiencia, costos, aplicabilidad y sostenibilidad, además de los retos asociados a su implementación en condiciones reales [12].

En este contexto, la presente revisión sistemática busca responder: ¿Cuáles son las tecnologías descritas en la literatura científica para la remoción de arsénico en aguas contaminadas durante el periodo 2022 - 2025? El objetivo general es identificar y clasificar las tecnologías reportadas para la remoción de arsénico; y como objetivos específicos: (i) clasificar las tecnologías más empleadas según el tipo de proceso (ii) identificar vacíos de conocimiento y oportunidades de investigación.

Finalmente, esta revisión se organiza en cuatro secciones: metodología de búsqueda y selección (PRISMA), resultados y discusión de los hallazgos principales, y conclusiones. Con ello, se busca aportar una síntesis actualizada que facilite la comprensión del panorama tecnológico reciente y oriente futuras investigaciones hacia alternativas más sostenibles y escalables.

II. METODOLOGÍA

Esta revisión sistemática se desarrolló siguiendo la metodología PRISMA. La búsqueda bibliográfica se realizó en la base de datos Scopus, considerando publicaciones entre 2022 y 2025. Se definieron tres grupos de términos (arsenic, water y technology) y se combinaron mediante operadores booleanos (AND/OR). La estrategia de búsqueda se aplicó con la restricción de consulta en el título del artículo (Article Title) para incrementar la especificidad de los resultados, conforme se detalla en la Tabla I.

TABLA I
FÓRMULA DE BÚSQEDA PARA LA REVISIÓN SISTEMÁTICA.

Palabras clave	Fórmula de búsqueda
Arsenic	(arsenic OR "arsenic removal" OR "arsenic mitigation" OR "arsenic reduction" OR "arsenic elimination" OR "arsenic remediation" OR "arsenic decontamination" OR "arsenic adsorption" OR "arsenic filtration" OR "arsenic precipitation" OR "arsenic oxidation" OR "arsenic immobilization" OR "arsenic detoxification" OR "arsenic extraction" OR "arsenic remediation strategies" OR "arsenic retention" OR "arsenic attenuation")
Water	(water OR "groundwater" OR "subsurface water" OR "aquifer" OR "drinking water" OR "potable water" OR "freshwater" OR "well water" OR "underground water" OR "deep water" OR "water wells" OR "geochemical water" OR "hydrogeological systems" OR "contaminated groundwater" OR "arsenic-polluted water")
Technology	(technology OR technologies OR "water treatment technology" OR "remediation technology" OR "filtration system" OR "adsorption process" OR "membrane filtration" OR "reverse osmosis" OR "electrocoagulation" OR "ion exchange" OR "chemical precipitation" OR "advanced oxidation processes" OR "catalysis" OR

"photocatalysis" OR "plasma technology" OR "nanomaterials" OR "activated carbon" OR "zero-valent iron" OR "electrodialysis" OR "capacitive deionization" OR "permeable reactive barriers" OR "coagulation-flocculation" OR "hydrothermal treatment" OR "photoelectrocatalysis" OR "ferrate oxidation" OR "treatment" OR "filtration" OR "adsorption" OR "nanotechnology" OR "bioremediation" OR "oxidation")
--

Criterios de elegibilidad.

Se incluyeron artículos científicos (tipo “article”), de acceso abierto, que abordaran tecnologías o procesos orientados a la remoción de arsénico en agua contaminada (por ejemplo: agua subterránea, agua potable, agua de pozo u otras matrices acuosas), y que presentaran evidencia experimental o aplicada. Se excluyeron estudios teóricos o conceptuales sin evaluación de desempeño del tratamiento, así como estudios cuyo foco principal no fuera la remoción de arsénico en agua o que trataran simultáneamente contaminantes sin reportar resultados específicos para arsénico.

Proceso de selección

La selección se ejecutó en tres etapas: (i) cribado por título, (ii) cribado por resumen, y (iii) revisión a texto completo. Tras aplicar los criterios definidos, se analizaron 29 artículos a partir de 972 registros identificados inicialmente.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A. Resultados bibliométricos de la revisión sistemática

Los artículos que han sido finalmente seleccionados para la realización de esta revisión sistemática han sido organizados en orden alfabético según sus títulos con sus respectivos autores, los cuales se pueden observar en la Tabla II, con el propósito de realizar un examen detallado de las publicaciones científicas más relevantes sobre este tema.

ARTÍCULOS SELECCIONADOS PARA LA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Autores	Título
Z. Guisela B, D. A. Ohana N, D. Dalvani S, V. Fermin G, L. Francisco HM, N.-G. Luis [13]	Adsorption of arsenic anions in water using modified lignocellulosic adsorbents
S. Q. Hashimi, S.-H. Hong, C.-G. Lee, S.-J. Park [6]	Adsorption of Arsenic from Water Using Aluminum-Modified Food Waste Biochar: Optimization Using Response Surface Methodology
H. Xiong, S. Xu, S. Zhu [14]	Adsorption removal of arsenic from aqueous solutions and groundwater by isomeric FeOOH
P. N. T. Ho, T. B. Nguyen, C. D. Dong, H. T. T. Ho, C. T. Phan, T. H. D. Lai [15]	Arsenic adsorption by activated biochar derived from water hyacinth

L. Verma, J. Singh [3]	Arsenic adsorption from aqueous solution and groundwater using monometallic (Fe) and bimetallic (Fe/Mn) Tectona biochar synthesized from plant refuse: mechanism, isotherm, and kinetic study
Y. Wang <i>et al.</i> [7]	Arsenic Oxidation and Removal from Water via Core-Shell MnO ₂ @La(OH) ₃ Nanocomposite Adsorption
P. Devi, S. Kanwal, Z. Ahmed, M. Rizwan, S. Khan [4]	Arsenic removal from water using marble powder waste: A comprehensive study on adsorption dynamics and machine learning predictions
N. Channa <i>et al.</i> [11]	Efficient and Rapid Combined Electrocoagulation-Filtration of Arsenic in Drinking Water
S. Sorlini, M. Carnevale Miino, Z. Lazarova, M. C. Collivignarelli [16]	Electrochemical Treatment of Arsenic in Drinking Water: Effect of Initial As ³⁺ Concentration, pH, and Conductivity on the Kinetics of Oxidation
Y. Xu, M. Huang, H. Wang, G. Sun, A. Kumar, Z. Yu [1]	Enhancing arsenic adsorptions by optimizing Fe-loaded biochar and preliminary application in paddy soil under different water management strategies
M. Chavez, B. A. Ruffner [17]	Field study of an arsenic removal plant for drinking water using activated carbon and iron in a rural community in the province of Pisco, Peru
M. Andrés Gallardo Salas, D. Ileana Mendoza-Castillo, A. Bonilla-Petriciolet, C. Jiménez-Junca [18]	Functionalized activated carbon with whey protein amyloid fibrils for adsorption of arsenic from water
S. Santoro <i>et al.</i> [19]	Green photocatalytic mixed matrix membranes for simultaneous arsenic photo-oxidation and water recovery via membrane distillation
N. A. Dahlan, A. K. Veeramachineni, R. Paramasivam, A. Patti, J. Pushpamalar [2]	Harnessing Magnetite Poly (ethylene Glycol)-Block-Poly (propylene Glycol)-Block-Poly (ethylene Glycol) (PEG-PPG-PEG) Composites for Efficient Arsenic Removal in Water Treatment
T. A. Formentini <i>et al.</i> [20]	Immobilizing arsenic in contaminated anoxic aquifer sediment using sulfidated and uncoated zero-valent iron (ZVI)
S. Mohammadian <i>et al.</i> [21]	In Situ Remediation of Arsenic-Contaminated Groundwater by Injecting an Iron Oxide Nanoparticle-Based Adsorption Barrier
A. Moreno-Bárcenas, J. A. Arizpe-Zapata, J. A. Rivera Haro, P. Sepúlveda, A. Garcia-Garcia [22]	Jute Fibers Synergy with nZVI/GO: Superficial Properties Enhancement for Arsenic Removal in Water with Possible Application in Dynamic Flow Filtration Systems
J. Abdi, G. Mazloom [23]	Machine learning approaches for predicting arsenic adsorption from water using porous metal-organic frameworks

K. S. Fisher, A. J. Vreugdenhil [24]	Metal-Impregnated Petroleum Coke-Derived Activated Carbon for the Adsorption of Arsenic in Acidic Waters
M. A. Carneiro, J. F. R. Coelho, A. M. A. Pintor, R. A. R. Boaventura, C. M. S. Botelho [25]	Multi-cycle regeneration of arsenic-loaded iron-coated cork granulates for water treatment
S. Amiri, V. Vatanpour, T. He [26]	Optimization of Coagulation-Flocculation Process in Efficient Arsenic Removal from Highly Contaminated Groundwater by Response Surface Methodology
A. Melnikova <i>et al.</i> [27]	Photo driven homogeneous advanced oxidation coupled to adsorption process for an effective arsenic removal from drinking water
J. U. Angai, C. J. Ptacek, E. Pakostova, J. G. Bain, B. R. Verbuyst, D. W. Blowes [28]	Removal of arsenic and metals from groundwater impacted by mine waste using zero-valent iron and organic carbon: Laboratory column experiments
M. Kobya, M. Dolaz, B. Özyaydın-Şenol, A. Y. Goren [8]	Removal of arsenic in groundwater from western Anatolia, Turkey using an electrocoagulation reactor with different types of iron anodes
J. Wielinski <i>et al.</i> [29]	Spatiotemporal Mineral Phase Evolution and Arsenic Retention in Microfluidic Models of Zerovalent Iron-Based Water Treatment
U. Y. Qazi <i>et al.</i> [9]	Synergistically Improved Catalytic Ozonation Process Using Iron-Loaded Activated Carbons for the Removal of Arsenic in Drinking Water
M. B. Raza <i>et al.</i> [30]	Synthesis and Performance Evaluation of Novel Bentonite-Supported Nanoscale Zero Valent Iron for Remediation of Arsenic Contaminated Water and Soil
T. Demirel, F. K. Özmen, Y. Yavuz, A. S. Koparal [31]	The effect of electrocoagulation (EC) on total arsenic, arsenite (As3+) and arsenate (As5+) species removal from model groundwater investigating toxicity and sludge characteristic
S. Dasgupta, J. Roy, M. Ghosh, J. Talukder [32]	Willingness to pay (WTP) for arsenic-safe drinking water: A case study to understand societal embedding of ECAR technology in rural West Bengal, India

El análisis bibliométrico permite identificar artículos distribuidos principalmente en los años 2022 y 2025, tal como se muestra en la Fig. 1. Aunque se presencia una caída en el año 2023, el crecimiento en el número de estudios en el año 2024 refleja el interés creciente en el desarrollo de soluciones para la remoción de arsénico, además de un crecimiento sostenido en el 2025, lo que justifica la necesidad de continuar explorando avances en esta área.

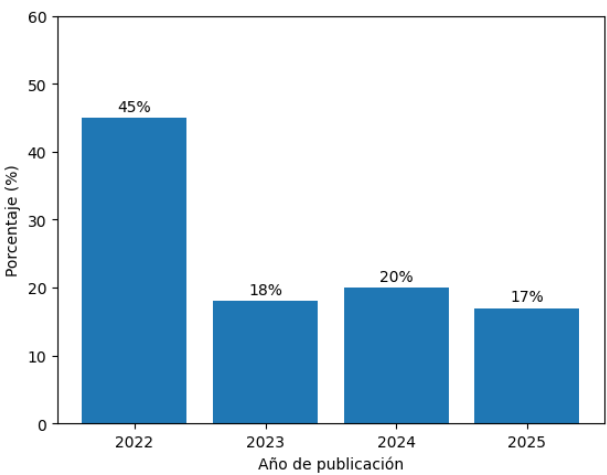


Fig. 1 Porcentaje de los artículos seleccionados finales clasificados por año de publicación.

Para la obtención de los artículos seleccionados finales, se realizó el diagrama de flujo PRISMA [33] , representado en la Fig. 2, simplificando el procedimiento que se llevó a cabo para la elección de los artículos incluidos en esta revisión sistemática[34], [35]. Este esquema permite visualizar de manera clara cómo se fueron filtrando los artículos hasta llegar a la muestra final de los 29 artículos seleccionados.

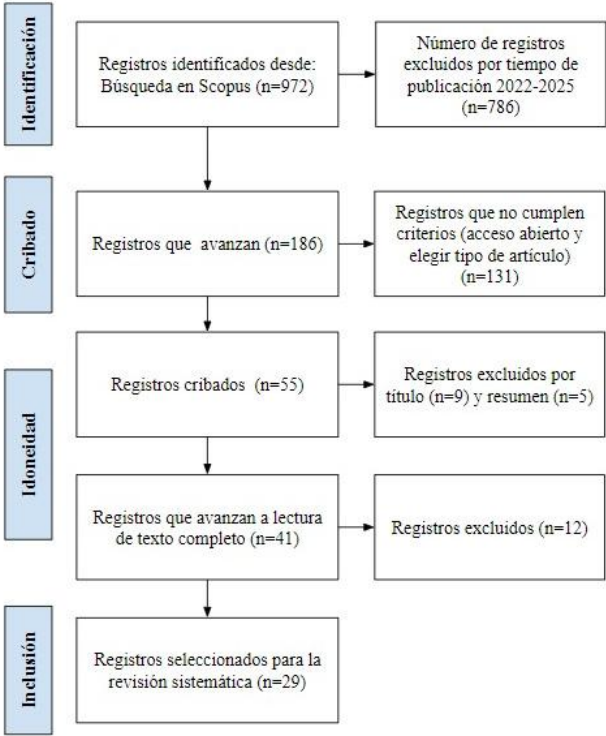


Fig. 2 Diagrama de flujo PRISMA en 4 niveles.

De los 29 artículos seleccionados, se evidencia con la Tabla III como más de la mitad pertenece al Cuartil Q1, esto representa que son estudios que tienen un alto impacto en lo

que la sociedad científica, así como también solo hay 3 artículos en el Cuartil Q3 que, aunque también representan un gran impacto no son lo suficientemente utilizadas. Por cual, se tiene una muestra sólida de artículos seleccionados.

TABLA III
REVISTAS DE ALTO IMPACTO IDENTIFICADAS EN LA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Fuente	Revista	Cuartil
[13]	Results in Engineering	Q1
[15]	Case Studies in Chemical and Environmental Engineering	Q1
[3]	Environmental Engineering Research	Q1
[1]	Environmental Science and Pollution Research	Q1
[18]	Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management	Q1
[19]	Separation and Purification Technology	Q1
[20]	Journal of Hazardous Materials	Q1
[22]	Nanomaterials	Q1
[23]	Scientific Reports	Q1
[25]	Journal of Water Process Engineering	Q1
[27]	Journal of Environmental Management	Q1
[28]	Journal of Hazardous Materials	Q1
[8]	Heliyon	Q1
[29]	Environmental Science and Technology	Q1
[31]	Applied Water Science	Q1
[6]	Water (Switzerland)	Q1, Q2
[7]	International Journal of Environmental Research and Public Health	Q1, Q2
[11]	Water (Switzerland)	Q1, Q2
[16]	Clean Technologies	Q1, Q2
[21]	Water (Switzerland)	Q1, Q2
[24]	ACS Omega	Q1, Q2
[26]	Molecules	Q1, Q2
[9]	Water (Switzerland)	Q1, Q2
[30]	Molecules	Q1, Q2
[32]	Development Engineering	Q1, Q2
[14]	Water Science and Technology	Q2
[36]	Minerals	Q2
[17]	Journal of Water and Health	Q2, Q3
[4]	Desalination and Water Treatment	Q3
[2]	Water Conservation Science and Engineering	Q3

B. Resultados de la revisión sistemática respecto al contenido

Los resultados obtenidos en esta revisión indican que las tecnologías más empleadas para el tratamiento del arsénico en aguas contaminadas, aunque más específico en aguas subterráneas, incluyen la adsorción y la electrocoagulación. Estas tecnologías han sido ampliamente estudiadas y aplicadas en diversos contextos[37]. Por lo cual, en la Tabla IV se clasificó según la tecnología aplicada y se identificó que elementos o materiales se pueden utilizar en cada una de estas.

La adsorción es una de las estrategias más utilizadas debido a su bajo costo y facilidad de implementación [14]. Diversos materiales adsorbentes, como biochar modificado [15], [1], [6], nanocompuestos [7], y carbón activado impregnado con hierro [3], han demostrado ser altamente eficientes en la retención de arsénico. También concordando con estudios de [25], [4], [13], en los cuales se utilizan

materiales pocos conocidos o usados pero aun así muestran una remoción eficiente. La eficacia de estos materiales radica en su capacidad para atrapar y eliminar los iones de arsénico del agua, reduciendo significativamente su concentración.

Asimismo, la electrocoagulación demuestra ser una tecnología de gran impacto en la disminución o la eliminación del arsénico, particularmente en aguas subterráneas con altas concentraciones de este contaminante. Este proceso utiliza electrodos de hierro [8], y aluminio [31], que, al someterse a corriente eléctrica, liberan iones metálicos que forman coágulos con el arsénico presente en el agua, facilitando su remoción mediante procesos de sedimentación y filtración [11].

Además de las principales tecnologías como la adsorción y la electrocoagulación, otras tecnologías avanzadas también han destacado en el tratamiento del arsénico, aunque se evidencia un uso menor en comparación a las mencionadas anteriormente. Se tiene la oxidación avanzada en los cuales se utilizan agentes como el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y el hipoclorito de sodio ($NaOCl$) combinados con radiación UV-C para transformar el arsénico en formas más fáciles de eliminar [27]. Asimismo, se encontró a la nanotecnología que gracias a las nanopartículas con el uso de elementos como el hierro cerovalente (nZVI) [20], [30], permiten una captura eficiente del arsénico en aguas subterráneas.

Finalmente, existen las tecnologías combinadas, como la electrocoagulación-filtración (ECF) [11], buscando mejorar la eficiencia integrando procesos físicos y químicos.

TABLA IV
TECNOLOGÍAS UTILIZADAS PARA EL TRATAMIENTO DE ARSÉNICO

Fuente	Tecnología	Elemento/Material
[13]	Adsorción	Corteza de eucalipto
[6]		Biochar modificado con aluminio
[14]		Óxido de hierro hidratado ($FeOOH$)
[15], [1]		Biochar modificado con hierro
[3]		Biocarbón sintetizado con hierro (Fe) y manganeso (Mn) para crear biocarbón monometálico (Fe-TB) y bimetálico (Fe/Mn-TB)
[7]		Nanocompuestos de MnO_2 utilizando el lantano (La)
[4]		Polvo de mármol de desecho (MWP)
[17]		Carbón activado impregnado con hierro
[18]		Carbón activado impregnado con fibrillas amiloides de proteína de suero de leche
[2]		Óxido de hierro (γ - Fe_2O_3)
[22]		Nanopartículas de hierro cerovalente (nZVI) inmovilizadas sobre óxido de grafeno (GO)
[23]		Marcos metal-orgánicos (MOFs)
[24]		Carbón activado derivado de coque de petróleo
[25]		Granulados de corcho recubiertos con hierro
[29]		Hierro de valencia cero (ZVI)
[21]		Nanopartículas de óxido de hierro
[28]		Mezcla de carbón orgánico (OC) y hierro de valencia cero (ZVI)
[26]	Coagulación-floculación	Ferric chloride ($FeCl_3$)
[19]	Destilación	Dióxido de titanio (TiO_2) como fotocatalizador

	por membrana (MD) y Foto-oxidación	
[8]	Electrocoagulación (EC)	Hierro
[31]		Aluminio
[32]		Hierro
[11]	Electrocoagulación-filtración (ECF)	Se utilizaron dos tipos de electrodos, hierro (Fe) y aluminio (Al)
[16]	Oxidación electroquímica	Silicio
[27]	Oxidación avanzada homogénea impulsada por foto (HP-AOPs)	Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂) e Hipoclorito de sodio (NaOCl)
[9]	Ozonación catalítica	Carbón activado cargado con hierro (Fe-AC)
[30]	Nanotecnología	Nanopartículas de hierro cerovalente (nZVI) soportadas en bentonita
[20]		Nanopartículas de hierro de valencia cero (ZVI)

A pesar de los avances en la remoción de arsénico, aún existen áreas poco exploradas en la literatura. En la Tabla V uno de los vacíos se encuentra en el desarrollo y regeneración de materiales adsorbentes, donde es necesario investigar más sobre la eficiencia de materiales lignocelulósicos modificados [13] y la reutilización de adsorbentes en múltiples ciclos de adsorción [15], [22], [25].

Asimismo, existe una falta de estudios sobre los mecanismos de remoción, incluyendo cinética, termodinámica e isothermas, lo que limita la optimización de procesos [3]. Por otro lado, las tecnologías combinadas, como en el estudio de la electrocoagulación-filtración [11], presentan deficiencias en la investigación de su escalado y del manejo de los residuos generados. Así también, en la coagulación-floculación [26], donde mencionan que la mayoría de investigaciones se centran en la coagulación por sí sola.

A nivel ambiental y económico, se desconoce la estabilidad a largo plazo de algunos materiales avanzados, como la liberación de elementos del polvo de mármol en el agua [4]. También hay una escasez de estudios a gran escala sobre la aplicación de tecnologías en comunidades [32], lo que impide evaluar su viabilidad económica y su aceptación social.

TABLA V
VACÍOS EN LA LITERATURA EN EL TRATAMIENTO DE ARSÉNICO

Fuente	Vacíos en la Literatura
[3], [6], [13], [17], [22], [26], [29]	Falta de estudios para comprender los mecanismos y optimizar los procesos de las diferentes tecnologías
[11], [17], [24], [26]	Se necesitan más estudios sobre los tratamientos combinados
[16], [24]	Poca información del impacto de las tecnologías en presencia de otros contaminantes
[4], [11], [27], [31]	Ausencia de estudios a los residuos después de la tecnología usada

[15], [22], [25]	Escasa información sobre la capacidad de regeneración de los adsorbentes y su reutilización
[29], [32]	Falta de evaluaciones económicas de las tecnologías usadas

Estos vacíos muestran la necesidad de profundizar en el estudio. Por lo cual, gracias a esto existen diversas oportunidades de investigación para mejorar la eficiencia y aplicación de las tecnologías de remoción de arsénico. La optimización de materiales adsorbentes y su regeneración puede reducir costos y hacer más sostenibles los procesos. También es clave desarrollar métodos más efectivos sin el uso de reactivos químicos agresivos, tal como se observa en el estudio de [27].

El escalado y comercialización de tratamientos combinados, como en el estudio de la electrocoagulación-filtración [11], requiere estudios adicionales para evaluar su viabilidad operativa y económica. Asimismo, la estabilidad de materiales avanzados en condiciones reales y su efecto en el agua respecto a su calidad son aspectos que deben investigarse a largo plazo.

IV. CONCLUSIONES

En líneas generales, la revisión de la literatura de los 29 artículos seleccionados gracias a la metodología PRISMA, permitió identificar las tecnologías más utilizadas para el tratamiento del arsénico en aguas contaminadas, destacando la adsorción y la electrocoagulación como las más efectivas. Cada una de estas tecnologías presentando características que las hacen viables en distintos contextos de aplicación, como en aguas subterráneas, aunque aún existen desafíos en términos de optimización.

Del mismo modo, se requiere de continuar con investigaciones que permitan evaluar más a profundidad la viabilidad económica y ambiental de estas tecnologías, así como la combinación de diferentes métodos para poder mejorar su eficiencia. Así también, la regeneración de los materiales adsorbentes y los efectos que puedan traer los tratamientos aplicados en la calidad final del agua son aspectos clave que requieren una exploración más detallada.

Concluyendo, aunque se identifiquen avances significativos en el tratamiento de arsénico en los últimos años, todavía existen oportunidades de mejora que deberían abordarse a través de futuros estudios para garantizar soluciones más sostenibles y accesibles.

REFERENCIAS

- [1] Y. Xu, M. Huang, H. Wang, G. Sun, A. Kumar, y Z. Yu, «Enhancing arsenic adsorptions by optimizing Fe-loaded biochar and preliminary application in paddy soil under different water management strategies», *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 30, n.º 45, pp. 101616-101626, 2023, doi: 10.1007/s11356-023-29499-1.
- [2] N. A. Dahlan, A. K. Veeramachineni, R. Paramasivam, A. Patti, y J. Pushpamalar, «Harnessing Magnetite Poly (ethylene Glycol)-Block-Poly (propylene Glycol)-Block-Poly (ethylene Glycol) (PEG-PPG-PEG) Composites for Efficient Arsenic Removal in Water Treatment», *Water Conserv. Sci. Eng.*, vol. 8, n.º 1, 2023, doi: 10.1007/s41101-023-00205-z.

- [3] L. Verma y J. Singh, «Arsenic adsorption from aqueous solution and groundwater using monometallic (Fe) and bimetallic (Fe/Mn) Tectona biochar synthesized from plant refuse: mechanism, isotherm, and kinetic study», *Environ. Eng. Res.*, vol. 28, n.º 3, 2023, doi: 10.4491/eer.2022.110.
- [4] P. Devi, S. Kanwal, Z. Ahmed, M. Rizwan, y S. Khan, «Arsenic removal from water using marble powder waste: A comprehensive study on adsorption dynamics and machine learning predictions», *Desalin. Water Treat.*, vol. 321, 2025, doi: 10.1016/j.dwt.2024.100912.
- [5] MINSA, «Decreto Supremo N.º 031-2010-SA». Diario Oficial El Peruano, 2010. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/244805-031-2010-sa>
- [6] S. Q. Hashimi, S.-H. Hong, C.-G. Lee, y S.-J. Park, «Adsorption of Arsenic from Water Using Aluminum-Modified Food Waste Biochar: Optimization Using Response Surface Methodology», *Water*, vol. 14, n.º 17, 2022, doi: 10.3390/w14172712.
- [7] Y. Wang *et al.*, «Arsenic Oxidation and Removal from Water via Core-Shell MnO₂@La(OH)₃ Nanocomposite Adsorption», *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 19, n.º 17, 2022, doi: 10.3390/ijerph191710649.
- [8] M. Koby, M. Dolaz, B. Özyaydin-Şenol, y A. Y. Goren, «Removal of arsenic in groundwater from western Anatolia, Turkey using an electrocoagulation reactor with different types of iron anodes», *Heliyon*, vol. 8, n.º 9, 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e10489.
- [9] U. Y. Qazi *et al.*, «Synergistically Improved Catalytic Ozonation Process Using Iron-Loaded Activated Carbons for the Removal of Arsenic in Drinking Water», *Water*, vol. 14, n.º 15, 2022, doi: 10.3390/w14152406.
- [10] OMS, «Arsénico», OMS. [En línea]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
- [11] N. Channa *et al.*, «Efficient and Rapid Combined Electrocoagulation-Filtration of Arsenic in Drinking Water», *Water*, vol. 16, n.º 12, 2024, doi: 10.3390/w16121684.
- [12] A. P. D. Baltrocchi *et al.*, «Assessment of environmental sustainability of drinking water treatments for arsenic removal», *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 211, 2024, doi: 10.1016/j.resconrec.2024.107878.
- [13] Z. Guisela B, D. A. Ohana N, D. Dalvani S, V. Fermin G, L. Francisco HM, y N.-G. Luis, «Adsorption of arsenic anions in water using modified lignocellulosic adsorbents», *Result. Eng.*, vol. 13, 2022, doi: 10.1016/j.rineng.2022.100340.
- [14] H. Xiong, S. Xu, y S. Zhu, «Adsorption removal of arsenic from aqueous solutions and groundwater by isomeric FeOOH», *Water Sci. Technol.*, vol. 86, n.º 7, pp. 1653-1667, 2022, doi: 10.2166/wst.2022.303.
- [15] P. N. T. Ho, T. B. Nguyen, C. D. Dong, H. T. T. Ho, C. T. Phan, y T. H. D. Lai, «Arsenic adsorption by activated biochar derived from water hyacinth», *Case. Stud. Chem. Environ. Eng.*, vol. 10, 2024, doi: 10.1016/j.cscee.2024.100907.
- [16] S. Sorlini, M. Carnevale Miino, Z. Lazarova, y M. C. Collivignarelli, «Electrochemical Treatment of Arsenic in Drinking Water: Effect of Initial As³⁺ Concentration, pH, and Conductivity on the Kinetics of Oxidation», *Clean. Technol.*, vol. 5, n.º 1, pp. 203-214, 2023, doi: 10.3390/cleantechnol5010012.
- [17] M. Chavez y B. A. Ruffner, «Field study of an arsenic removal plant for drinking water using activated carbon and iron in a rural community in the province of Pisco, Peru», *J. Water Health*, vol. 22, n.º 2, pp. 329-336, 2024, doi: 10.2166/wh.2024.273.
- [18] M. Andrés Gallardo Salas, D. Ileana Mendoza-Castillo, A. Bonilla-Petriciolet, y C. Jiménez-Junca, «Functionalized activated carbon with whey protein amyloid fibrils for adsorption of arsenic from water», *Environ. Nanotechnol. Monit. Manag.*, vol. 22, 2024, doi: 10.1016/j.enmm.2024.100956.
- [19] S. Santoro *et al.*, «Green photocatalytic mixed matrix membranes for simultaneous arsenic photo-oxidation and water recovery via membrane distillation», *Sep. Purif. Technol.*, vol. 342, 2024, doi: 10.1016/j.seppur.2024.127042.
- [20] T. A. Formentini *et al.*, «Immobilizing arsenic in contaminated anoxic aquifer sediment using sulfidated and uncoated zero-valent iron (ZVI)», *J. Hazard. Mater.*, vol. 462, 2024, doi: 10.1016/j.jhazmat.2023.132743.
- [21] S. Mohammadian *et al.*, «In Situ Remediation of Arsenic-Contaminated Groundwater by Injecting an Iron Oxide Nanoparticle-Based Adsorption Barrier», *Water*, vol. 14, n.º 13, 2022, doi: 10.3390/w14131998.
- [22] A. Moreno-Bárcenas, J. A. Arizpe-Zapata, J. A. Rivera Haro, P. Sepúlveda, y A. García-García, «Jute Fibers Synergy with nZVI/GO: Superficial Properties Enhancement for Arsenic Removal in Water with Possible Application in Dynamic Flow Filtration Systems», *Nanomaterials*, vol. 12, n.º 22, 2022, doi: 10.3390/nano12223974.
- [23] J. Abdi y G. Mazloom, «Machine learning approaches for predicting arsenic adsorption from water using porous metal-organic frameworks», *Sci. Rep.*, vol. 12, n.º 1, 2022, doi: 10.1038/s41598-022-20762-y.
- [24] K. S. Fisher y A. J. Vreugdenhil, «Metal-Impregnated Petroleum Coke-Derived Activated Carbon for the Adsorption of Arsenic in Acidic Waters», *ACS Omega*, vol. 8, n.º 32, pp. 29083-29100, 2023, doi: 10.1021/acsomega.3c02078.
- [25] M. A. Carneiro, J. F. R. Coelho, A. M. A. Pintor, R. A. R. Boaventura, y C. M. S. Botelho, «Multi-cycle regeneration of arsenic-loaded iron-coated cork granulates for water treatment», *J. Water Process Eng.*, vol. 50, 2022, doi: 10.1016/j.jwpe.2022.103291.
- [26] S. Amiri, V. Vatanpour, y T. He, «Optimization of Coagulation-Flocculation Process in Efficient Arsenic Removal from Highly Contaminated Groundwater by Response Surface Methodology», *Molecules*, vol. 27, n.º 22, 2022, doi: 10.3390/molecules27227953.
- [27] A. Melnikova *et al.*, «Photo driven homogeneous advanced oxidation coupled to adsorption process for an effective arsenic removal from drinking water», *J. Environ. Manage.*, vol. 349, 2024, doi: 10.1016/j.jenvman.2023.119568.
- [28] J. U. Angai, C. J. Ptacek, E. Pakostova, J. G. Bain, B. R. Verbuyst, y D. W. Blowes, «Removal of arsenic and metals from groundwater impacted by mine waste using zero-valent iron and organic carbon: Laboratory column experiments», *J. Hazard. Mater.*, vol. 424, 2022, doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.127295.
- [29] J. Wielinski *et al.*, «Spatiotemporal Mineral Phase Evolution and Arsenic Retention in Microfluidic Models of Zerovalent Iron-Based Water Treatment», *Environ. Sci. Technol.*, vol. 56, n.º 19, pp. 13696-13708, 2022, doi: 10.1021/acs.est.2c02189.
- [30] M. B. Raza *et al.*, «Synthesis and Performance Evaluation of Novel Bentonite-Supported Nanoscale Zero Valent Iron for Remediation of Arsenic Contaminated Water and Soil», *Molecules*, vol. 28, n.º 5, 2023, doi: 10.3390/molecules28052168.
- [31] T. Demirel, F. K. Özmen, Y. Yavuz, y A. S. Koparal, «The effect of electrocoagulation (EC) on total arsenic, arsenite (As³⁺) and arsenate (As⁵⁺) species removal from model groundwater investigating toxicity and sludge characteristic», *Appl. Water Sci.*, vol. 12, n.º 6, 2022, doi: 10.1007/s13201-022-01660-0.
- [32] S. Dasgupta, J. Roy, M. Ghosh, y J. Talukder, «Willingness to pay (WTP) for arsenic-safe drinking water: A case study to understand societal embedding of ECAR technology in rural West Bengal, India», *Dev. Eng.*, vol. 7, 2022, doi: 10.1016/j.deveng.2022.100096.
- [33] M. J. Page *et al.*, «Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas», *Revista Española de Cardiología*, vol. 74, n.º 9, pp. 790-799, sep. 2021, doi: 10.1016/j.recesp.2021.06.016.
- [34] L. Katherine Ortiz García, W. Manuel Hoyos Alayo, S. Lourdes Vidal Taboada, y N. Ivan Pisfil Benites, «BIBLIOMETRIC ANALYSIS ON BRIDGING THE DIGITAL DIVIDE AMONG UNIVERSITY STUDENTS: TRENDS AND PROSPECTS», *Rev. Conhecimento Online*, vol. 1, pp. 193-220, 2025, doi: 10.25112/rco.v1.3963.
- [35] L. Katherine Ortiz García, «Bibliometric analysis of digital inclusion in university students: trends and prospects», en *Proc. LACCEI int. multi-conf. eng. educ. technol.*, Petrie M.M.L., Texier J., y Matta R.A.R., Eds., Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2025. doi: 10.18687/LACCEI2025.1.1.948.
- [36] T. S. Varner, H. V. Kulkarni, M. U. Bhuiyan, M. B. Cardenas, P. S. K. Knappett, y S. Datta, «Mineralogical Associations of Sedimentary Arsenic within a Contaminated Aquifer Determined through Thermal

Treatment and Spectroscopy», *Minerals*, vol. 13, n.º 7, 2023, doi: 10.3390/min13070889.

- [37] L. Katherine Ortiz García, «The Impact of the Circular Economy on waste management in the food industry: A Systematic Review», en *Proc. LACCEI int. multi-conf. eng. educ. technol.*, Petrie M.M.L., Texier J., y Matta R.A.R., Eds., Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2025. doi: 10.18687/LACCEI2025.1.1.1463.