



Universidad **César Vallejo**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Tipos de Adsorbentes y Reutilización Aplicados a la Remoción de
Medios Hídricos Contaminados con Arsénico: Revisión
sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA:

Molina Paz, Karina Alejandra (ORCID: 0000-0002-4776-8725)

ASESOR:

Dr. Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio (ORCID: 0000-0003-1485-5854)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2022

DEDICATORIA

A ti Dios todopoderoso que me ha dado la oportunidad de venir a este mundo y poder concluir satisfactoriamente este trabajo.

A mi madre Ana y padre Wilmar, por su comprensión y su gran ayuda en todas las circunstancias de mi vida. Me han enseñado a vencer las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. Me han dado todo lo que soy como persona, valores, principios, perseverancia y empeño, y todo ello con una gran dosis de amor sin pedir nunca nada a cambio

A mis hermanos quienes con su palabra de aliento no me dejaron decaer para que siguiera adelante, siempre sea perseverante y cumpla con mis ideales.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer en primer lugar a Dios por permitirme seguir estando en pie sana y salva, a mis padres, hermanos y amigos ya que sus constantes muestras de apoyo y afecto han hecho que pueda seguir adelante y culminar todo lo que me proponga.

A mi abuelita querida Valentina Guillen Herrera, siempre presente en mi corazón, por sus sabios consejos y quien me incentivo desde niña a la superación profesional.

Además, expresar mi más sincera gratitud a la Universidad Cesar Vallejo por acogerme y por darme la oportunidad de ser profesional y así contribuir con el ambiente y el desarrollo del país.

Índice de Contenidos

Carátula	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
Índice de Contenidos.....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vi
Índice de gráficos.....	vii
Índice de abreviaturas.....	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	15
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	15
3.2 Categoría, subcategoría y matriz de categorización.....	15
3.3 Escenario de estudio	17
3.4 Participantes.....	17
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	17
3.6 Procedimiento.....	19
3.7 Rigor científico.....	20
3.8 Método de análisis de información.....	21
3.9 Aspectos éticos.....	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
V. CONCLUSIONES	32
VI. RECOMENDACIONES.....	33
REFERENCIAS	34
ANEXOS	

Índice de tablas

Tabla N°1. <i>Tabla de matriz de categorización apriorística</i>	16
Tabla N°2. <i>Adsorbentes aplicados a la remoción de medios hídricos contaminados con Arsénico</i>	20
Tabla N°3. <i>Promedio de eliminación del arsénico</i>	23
Tabla N°4. <i>Utilización los adsorbentes regenerados</i>	27

Índice de figuras

<i>Figura 1. Mecanismo de toxicidad del arsénico</i> -----	11
<i>Figura 2. Diagrama esquemático de la eliminación de arsénico de una solución acuosa a través del proceso de adsorción</i> -----	13

Índice de gráficos

<i>Gráfico 1. Procesos de adsorción</i> -----	12
Gráfico 2. Procedimiento de selección de artículos -----	17

Índice de abreviaturas

AC	: carbón activado
AA	: alúmina activada
CNT	: nanotubos de carbono
MOF	: estructuras metalorgánicas
As	: arsénico

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar cuáles son los tipos de adsorbentes y reutilizaciones aplicados a la remoción de medios hídricos contaminados con Arsénico, para lo cual se realizó una metodología de tipo básico, con un diseño no experimental de estudio sistemático, para lo cual se utilizó una técnica de análisis documental obteniendo la recolección de 26 estudios a nivel mundial.

Mediante los resultados se obtuvo que, los adsorbentes aplicados a la remoción de medios hídricos contaminados con arsénico son los adsorbentes híbridos y convencionales, siendo en su mayoría los convencionales los que más se aplicaron, donde más del 50% de los investigadores lo confirman. El promedio de eliminación del arsénico en el medio hídrico aplicando los diversos adsorbentes es alta, teniendo como promedio a la mayoría de estudios que presentan un promedio de eliminación mayor al 80%, donde 20 de los 23 estudios lo corroboran. Así también, se pudo corroborar que el pH es uno de los parámetros que más incluye en la eficiencia del promedio de remoción del As en los medios hídricos. La utilización los adsorbentes regenerados que fueron aplicados para la remoción de medios hídricos contaminados con arsénico son usados para elaborar materiales de construcción.

Palabras clave: Adsorbentes, agua, arsénico, eliminación, contaminación.

ABSTRACT

The objective of this work was to determine the types of adsorbents and reuses applied to the removal of water media contaminated with arsenic, for which a basic methodology was used, with a non-experimental design of systematic study, for which a documentary analysis technique was used, obtaining the collection of 26 studies worldwide.

The results showed that the adsorbents applied to the removal of arsenic-contaminated water media are hybrid and conventional adsorbents, being the conventional ones the most applied, where more than 50% of the researchers confirm it. The average removal of arsenic in the water by applying the various adsorbents is high, with the majority of studies showing an average removal rate of over 80%, with 20 of the 23 studies corroborating this. It was also possible to corroborate that pH is one of the parameters that most influences the efficiency of the average removal of As in water media. The use of regenerated adsorbents that were applied for the removal of arsenic contaminated water media are used for the elaboration of construction materials.

Keywords: Adsorbents, water, arsenic, removal, contamination.

I. INTRODUCCIÓN

El estrés abiótico, especialmente el estrés por metales pesados, se considera una potente amenaza para diversos recursos como el agua, suelo y aire con importantes implicaciones de riesgo para la salud humana (Moulick Debojyoti et al., 2020, p.1). Se informa de que los metales pesados y los metaloides suelen persistir en el medio ambiente durante un período prolongado junto con una fitotoxicidad demostrada en una amplia gama de cultivos (Sahoo Smita et al., 2019, p.3).

Estos metales pesados y metaloides han hecho su presencia significativa en las tres esferas del medio ambiente, y sus impactos han sido documentados regularmente por muchos autores (Saha Bedabrata et al., 2019, p.1). Sin embargo, en el contexto mundial actual, la toxicidad del As se considera uno de los problemas más alarmantes, que afecta a los ríos, las aguas subterráneas, el suelo, los estuarios, el agua de manantial (geotérmica) y humedales aguas abajo (Yin Shiqian et al., 2022, p.1).

La contaminación por arsénico (As) es un problema global y amenaza seriamente tanto a los ecosistemas como a la salud humana, ya que, la presencia de arsénico en las aguas subterráneas, densamente poblada, evoluciona como un agente de envenenamiento masivo y es la razón de la miseria de millones de personas (Sarkar A. et al., 2022, p.1).

Es así que se presentan estudios de diversas partes del mundo como es el caso de la contaminación por As de las aguas subterráneas en partes del norte de la India. Así también, se presentan incidentes de contaminación por As en aguas subterráneas de Bengala Occidental (Chakraborty M. et al., 2020, p.1). Al igual que el Servicio Geológico Británico documentó un informe sobre la contaminación por As de los acuíferos subterráneos del sur de Asia (Maity Sourav et al., 2020, p.2).

Además, en la actualidad, la calidad química de los recursos hídricos subterráneos de la Amazonia Occidental se han presentado indicación de que las aguas subterráneas de esta región podrían estar naturalmente contaminadas por arsénico en condiciones de acuíferos reductores (De Meyer Caroline M. et al., 2017, p.2).

A nivel mundial, aproximadamente 200 millones de personas se ven gravemente afectadas por este metaloide en 70 países (Sodhi Kushneet K. et al., 2019, p.4). Es

debido a ello que, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha clasificado todos los elementos cancerígenos, incluido el As, que está clasificado como carcinógeno del Grupo 1 en la lista (Srivastava S, et al., 2016, p.2).

Ante la problemática expuesta la adsorción es considerada una técnica de remediación de arsénico ampliamente utilizada debido a su alta eficacia, valor económico, facilidad de operación y mantenimiento, y otros múltiples factores (Bhattacharya P. et al., 2020, p.2). Sin embargo, la gestión adecuada de los medios usados cargados de arsénico es uno de los principales desafíos, lo que afecta la sostenibilidad de esta técnica de tratamiento (Sodhi K. et al., 2019, p.1).

Además, en la mayoría de los países en desarrollo, la eliminación de los medios gastados utilizados como adsorbentes es una preocupación importante y, en muchos casos, los efectos ecotóxicos para el medio ambiente relacionados con su eliminación directa impone un obstáculo crítico en este proceso (Awasthi S. et al., 2017, p.3).

Por tal motivo; este estudio plantea el siguiente problema: ¿Cuáles son los tipos de adsorbentes y reutilizaciones aplicados a la remoción de medios hídricos contaminados con Arsénico? Y para resolver dicho problema se plantearon los siguientes problemas específicos:

PE1: ¿Cuáles son los adsorbentes aplicados a la remoción de medios hídricos contaminados con Arsénico?

PE2: ¿Cuál es el promedio de eliminación del arsénico en el medio hídrico aplicando los diversos adsorbentes?

PE3: ¿Cuál es el uso de los adsorbentes regenerados que fueron aplicados para la remoción de medios hídricos contaminados con Arsénico?

Es así como se planteó el objetivo de estudio: Determinar cuáles son los tipos de adsorbentes y reutilizaciones aplicados a la remoción de medios hídricos contaminados con Arsénico. Dando ello la generación de los siguientes objetivos específicos:

OE1: Clasificar los adsorbentes aplicados a la remoción de medios hídricos contaminados con Arsénico

OE2: Analizar el promedio de eliminación del arsénico en el medio hídrico aplicando los diversos adsorbentes

OE3: Identificar el uso los adsorbentes regenerados que fueron aplicados para la remoción de medios hídricos contaminados con Arsénico

El presente estudio busca desarrollar la gestión de adsorbentes gastados en todo el mundo, así como las prácticas de uso de diversos adsorbentes; por lo cual, este trabajo presenta una justificación teórica, debido a que, se realizará el análisis y recolección de diversos estudios a nivel mundial. Con el objetivo de ampliar las investigaciones en la eliminación de arsénico por adsorción, así como incentivar la reutilización y mejores prácticas sostenibles; por lo cual este trabajo va dirigido a los futuros investigadores.

II. MARCO TEÓRICO

Existen estudios a nivel mundial que se han enfocado en la aplicación de adsorbentes como una técnica de remoción de Arsénico en el medio hídrico, siendo estudiados dichos estudios y mostrados a continuación los más relevantes:

Dutta Soumi et al., (2020, p.1), en su investigación los nanocompuestos magnéticos de microesfera hueca de polianilina (PNHM)/Fe₃O₄ se han sintetizado mediante una estrategia novedosa y se han caracterizado. Posteriormente, se utilizó PNHM/Fe₃O₄-40 (contenido de Fe₃O₄: 40% en peso) como adsorbente para la eliminación de arsénico (As) del agua contaminada. Nuestras investigaciones mostraron una eliminación del 98–99 % de As(III) y As(V) en presencia de PNHM/Fe₃O₄-40 siguiendo una cinética de pseudo segundo orden ($R^2 > 0.97$) y datos de isoterma de equilibrio que se ajustan bien con Isoterma de Freundlich ($R^2 > 0,98$). La capacidad máxima de adsorción de As(III) y As(V) corresponde a 28,27 y 83,08 mg g⁻¹, respectivamente; además, en contraste con los iones NO₃⁻ y SO₄²⁻, la presencia de co-iones PO₄³⁻ y CO₃²⁻ en agua contaminada mostró una disminución en la capacidad de adsorción de As(III) debido a la adsorción competitiva. Los estudios de regeneración y reutilización de PNHM/Fe₃O₄ gastado. El adsorbente -40 mostró ~83% de eliminación de As(III) en el tercer ciclo de adsorción. También se encontró que PNHM/Fe₃O₄-40 es muy eficaz en la eliminación de arsénico (<10 µg L⁻¹) de muestras de agua subterránea contaminadas naturalmente con arsénico.

Sun Jianqiang et al., (2019, p.1), en su estudio para obtener un adsorbente rentable para la eliminación de arsénico en el agua, se preparó con éxito un novedoso adsorbente de marco orgánico de metal basado en Fe-Co nanoestructurado (MOF-74) a través de un método solvotérmico simple. Donde, los experimentos de adsorción mostraron que la relación molar óptima de Fe/Co en el adsorbente era de 2:1. El Fe₂Co₁ MOF-74 se caracterizó mediante diversas técnicas y los resultados mostraron que el diámetro de las nanopartículas osciló entre 60 y 80 nm y el área superficial específica fue de 147,82 m²/g. La isoterma y los parámetros cinéticos de la remoción de arsénico en Fe₂Co₁ MOF-74 se adaptaron bien a los modelos Langmuir y de pseudo-segundo orden. Las capacidades máximas de adsorción hacia As(III) y As(V) fueron de 266,52 y 292,29 mg/g, respectivamente. La presencia de sulfato, carbonato y ácido húmico no tuvo un efecto evidente sobre la adsorción

de arsénico. Sin embargo, el fosfato coexistente dificultó significativamente la eliminación de arsénico, especialmente en concentraciones altas (10 mmol/L).

Lv Zhimin et al., (2019, p.1), en su artículo científico, una serie de compuestos magnéticos de estructura de esfera hueca similar a una cáscara de castaña ($\text{NiO} \times/\text{Ni}@C$) se derivaron mediante la pirolización de un MOF que contenía níquel como plantilla auto sacrificada y sirvieron como materiales adsorbentes para la eliminación de arsénico (V) (As(V)) de soluciones acuosas. Los resultados experimentales indicaron que la capacidad de adsorción de $\text{NiO}/\text{Ni}@C400$ hacia As(V) (454,94 mg/g) fue superior a la de $\text{Ni}@C600$ (342,77 mg/g), $\text{Ni}@C500$ (290,89 mg/g), $\text{NiO}@C300$ (210,40 mg/g) y Ni-MOF (133,93 mg/g), que podrían atribuirse a grupos funcionales ricos en oxígeno $\text{NiO}/\text{Ni}@C400$ y alta área de superficie específica. El $\text{NiO}/\text{Ni}@C400$ tenía una alta intensidad de magnetización y podía separarse fácilmente bajo un campo magnético externo. Además, $\text{NiO}/\text{Ni}@C400$ tuvo un excelente rendimiento de eliminación de As(V) en un amplio rango de pH de 1 a 10.

Nguyen Thi Hai et al., (2020, p.1), en su estudio, se probaron siete materiales de bajo costo disponibles localmente para la eliminación de arsénico mediante la realización de experimentos de adsorción por lotes; de estos materiales, una laterita natural (48,7% Fe_2O_3 y 18,2% Al_2O_3) de Thach That (NLTT) se consideró el adsorbente más adecuado según el rendimiento de eliminación de arsénico, la disponibilidad local, la estabilidad/bajo riesgo y el costo (0,10 USD/kg). Los resultados demostraron que el proceso de adsorción dependía menos del pH de la solución de 2,0 a 10. Los aniones coexistentes competían con el As(III) y el As(V) en el orden fosfato > silicato > bicarbonato > sulfato > cloruro. El proceso de adsorción alcanzó un rápido equilibrio en aproximadamente 120-360 min, dependiendo de las concentraciones iniciales de arsénico, también las capacidades máximas de adsorción de Langmuir de NLTT a 30 °C fueron 512 $\mu\text{g/g}$ para As(III) y 580 $\mu\text{g/g}$ para As(V) , respectivamente y el estudio termodinámico realizado a 10 °C, 30 °C y 50 °C sugirió que el proceso de adsorción de As(III) y As(V) era de naturaleza espontánea y endotérmica. Por último, se probó un sistema de filtración de agua lleno de NLTT en un centro de cuidado infantil en la comunidad más desfavorecida de la provincia de Ha Nam, Vietnam, para determinar el rendimiento de eliminación de arsénico en una operación que duró seis meses. Los resultados mostraron que el sistema redujo la concentración total de arsénico en el

agua subterránea de 122 a 237 µg/L por debajo del estándar de agua potable de Vietnam de 10 µg/L.

Zeng Huiping et al., (2020, p.1), en su estudio la porosidad de las perlas de lodo de Fe de alginato de quitosano reforzadas con lodo de manganeso (CAFB) se optimizó mediante la adición de polvo de CaCO_3 o NaHCO_3 para generar gas CO_2 durante el proceso de preparación. Se fabricaron dos tipos de adsorbentes Dropped-CAFB (D-CAFB) y Heated-CAFB (H-CAFB). SEM-EDS, BET, XRD, así como experimentos de cinética de adsorción y adsorción isotérmica se utilizaron para evaluar los efectos de los dos métodos de formación de poros. Los resultados SEM-EDS, BET confirmaron que el adsorbente preparado tiene buena porosidad y un área de superficie específica de 128,16 m^2/g . Los resultados de XRD mostraron que la estructura es óxido de manganeso de hierro amorfo. Los modelos de pseudosegundos, intrapartículas y de Freundlich resultaron adecuados para describir el proceso de adsorción ($R^2 > 0,9$), la capacidad máxima de adsorción de As(III) a 298K es de 24,06 mg/g.

Wei Jinshan et al., (2021, p.1), desarrolló la fibra de amina acrílica (AAF) para la eliminación por adsorción de Se y As del agua y estudiamos sistemáticamente los factores influenciados. Se realizaron experimentos por lotes para investigar los bordes de adsorción, mientras que se emplearon pruebas de filtración en columna para los bordes de aplicación dinámica. A pH neutro, los accesos de isoterma de Langmuir dieron las capacidades máximas de adsorción de As(V), As(III), Se(VI) y Se(IV) de 270,3, 40,5, 256,4 y 158,7 mg/g, respectivamente. Los efectos de los aniones inorgánicos coexistentes en la adsorción de As(V) y Se(VI) usando AAF dieron el orden de $\text{PO}_4^{3-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{SiO}_3^{2-}$, mientras que los diferentes ácidos orgánicos obedecen al orden de ácido cítrico > ácido oxálico > ácido fórmico. El análisis infrarrojo por transformada de Fourier mostró que los mecanismos de competencia de PO_4^{3-} y SO_4^{2-} son repulsiones electrostáticas, mientras que la competencia de ácidos orgánicos deriva de la reacción ácido-base entre el grupo carboxilo y el grupo amino. Además, los resultados de la regeneración y la filtración en columna mostraron que el AAF gastado se puede regenerar utilizando una solución de HCl de 0,5 mol/l y se puede reutilizar sin que disminuya mucho la capacidad de adsorción.

Lee Chang Gu et al., (2017, p.1), en su estudio investiga la eliminación de As(V) de soluciones acuosas utilizando una nueva fibra de intercambio iónico acrílica dopada con amina. La reacción de dopaje con amina se confirmó mediante FT-IR y la superficie de la fibra se caracterizó mediante FEG-SEM. El proceso de síntesis se completó en 60 min utilizando un catalizador de $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ a 100°C , y el resultado fue una fibra con una capacidad de intercambio iónico de 7,5 meq/g. La eficacia de eliminación de la fibra A-60 se vio afectada por el pH de la solución y la eficacia fue óptima a pH 3,04. La adsorción de As(V) sobre la fibra fue rápida en los primeros 20 min y alcanzó el equilibrio en 60 min. La eliminación de As (V) siguió una cinética de pseudo primer orden y la isoterma de adsorción de Redlich-Peterson modelo proporcionó el mejor ajuste de los datos de equilibrio. La fibra tiene una capacidad de adsorción de As(V) (q_e) de $205,32 \pm 3,57$ mg/g, que es considerablemente mayor que los valores de la literatura y los adsorbentes comerciales. La eficiencia de eliminación de la fibra estuvo por encima del 83% del valor inicial después de nueve ciclos de regeneración.

Pillao Paewathi et al., (2020, p.1), en su estudio la modificación de las nanopartículas de óxido de hierro con cáscara de arroz (RH + óxido de hierro) se confirmó mediante FTIR , XRD y SEM y también se realizaron experimentos de adsorción por lotes para la eliminación de arsénico de la solución sintética. La remoción de Arsénico se logró en un 95% con 2.5 g/L, 10 ppm y 30°C de dosis de adsorbente, concentración inicial y temperatura de HR + Óxido de hierro. FreundlichLa isoterma de adsorción fue la misma capa de 82 mg/g que tiene la mayor capacidad que otros adsorbentes. El coeficiente de regresión de pseudo segundo orden en el estudio cinético fue de 0,96. Así mismo, el resultado de su trabajo de investigación proporciona información importante sobre adsorbentes prometedores para la eliminación de arsénico.

Wang Yulong et al., (2020, p.1), en su trabajo, se preparó un nuevo adsorbente, carbón activado modificado con $\delta\text{-MnO}_2$, y se investigó su rendimiento para la absorción de especies de arseniato y arsenito de soluciones acuosas mediante experimentos por lotes. Se emplearon varias técnicas, incluidos FESEM-EDX, p-XRD, XPS y análisis de área de superficie BET, para caracterizar las propiedades del adsorbente y los mecanismos de adsorción de arsénico. Los resultados mostraron que $\delta\text{-MnO}_2$ cubierto en la superficie y acolchado en los poros del carbón

activado. Los estudios de cinética de adsorción revelaron que aproximadamente el 90,1 % y el 76,8 % de As(III) y As(V), respectivamente, fueron eliminados por el adsorbente en las primeras 9 h, y la adsorción alcanzó el equilibrio en 48 h. Las capacidades máximas de adsorción de As(V) y As(III) a pH 4,0 calculadas a partir de las isothermas de adsorción de Langmuir fueron 13,30 y 12,56 mg/g, respectivamente, además, el efecto del pH sobre la eliminación de As(V) y As(III) fue similar, y la eficiencia de eliminación se redujo significativamente con el aumento del pH de la solución.

Zhang Gaosheng et al., (2020, p.1), en su trabajo con el objetivo de una absorción eficiente de As(III), sintetizó un óxido trimetálico de hierro-cobre-manganeso (ICM) nanoestructurado utilizando un enfoque de oxidación y coprecipitación simultáneas a temperatura ambiente. El ICM preparado presenta propiedades multifuncionales, que no solo pueden oxidar eficazmente el As(III) sino también absorber el As(V) producido. La capacidad máxima de sorción de As(III) alcanza hasta 131 mg/g en condiciones neutras, lo que supera a la mayoría de los adsorbentes informados en la literatura. La adsorción de As(III) cae gradualmente a medida que aumenta el pH de la solución. Sin embargo, no está significativamente influenciado por la fuerza iónica y los aniones presentes excepto por PO_4^{3-} , lo que implica una selectividad relativamente alta. Los sitios de sorción activos del ICM gastado se pueden restaurar fácilmente mediante el tratamiento con una solución de NaOH. La eliminación de As(III) es un proceso complicado que implica tanto la oxidación como la adsorción, en el que se forman complejos en la superficie de la esfera interna.

Ante los antecedentes expuestos la problemática se explica desde el estrés abiótico, especialmente el estrés por metales pesados, donde se considera una potente amenaza para la producción de cultivos sostenibles con importantes implicaciones de riesgo para la salud humana (Moulick Debojyoti et al., 2020, p.1).

Se informa que los metales pesados y los metaloides suelen persistir en el medio ambiente durante un período prolongado junto con una fitotoxicidad demostrada en una amplia gama de cultivos (Sahoo Smita et al., 2019, p.2). Estos metales pesados y metaloides han hecho su presencia significativa en las tres esferas del medio ambiente, y sus impactos han sido documentados regularmente por muchos autores (Mazumder Muhammad K. et al., 2022, p.3).

Sin embargo, en el contexto mundial actual, la toxicidad del As se considera uno de los problemas más alarmantes, que afecta a los ríos, las aguas subterráneas, el suelo, los estuarios, el agua de manantial (geotérmica) y los humedales aguas abajo (Liu Chen Wing et al., 2016, p.2).

Ante ello, se pone de conocimiento que el arsénico es un metaloide omnipresente con muchos alótropos, que existe en el medio ambiente terrestre y acuático de más de 105 países de todos los continentes, como Estados Unidos, China, Europa y el sudeste asiático (Bhattacharya P. et al., 2020, p.4). Es decir, el As considerado como metaloide natural entra en el medio ambiente a través de diversas fuentes naturales y antropogénicas y, por tanto, contamina el agua potable en su estado disuelto (Ruiz ángel et al., 2022, p.203).

Continuando con la problemática, la concentración de arsénico en el agua potable se ha evaluado y se ha reducido a 10 ug/L en Estados Unidos y a 25 ug/L en Canadá, pero Bangladesh y la India (Bengala Occidental) se encuentran entre los países más contaminados con arsénico (Sarmah S. et al., 2019, p.2). Así mismo, el arsénico se ha encontrado en otros lugares de América del Norte y del Sur, así como en la parte central y oriental de Europa y Australia (Haines Douglas A. et al., 2017, p.3).

Es necesario destacar que en la actualidad se han medido niveles de arsénico natural de hasta 1000 µg/L en el agua potable de los EE. UU. y en Canadá se han informado varios casos de agua contaminada con arsénico debido a la actividad minera (Souza Ana C. et al., 2018, p.2). De hecho, después de la contaminación del agua por microorganismos patógenos, el envenenamiento por arsénico es la segunda amenaza más importante para la salud relacionada con el agua potable y constituye el evento de envenenamiento masivo más grande de la historia (Rashed H. et al., 2018, p.3).

Y es que, dependiendo del pH, las condiciones redox y la temperatura, el arsénico se solubiliza fácilmente en el agua subterránea (Ahuja Satinder, 2019, p.11). Así mismo, se sabe especialmente que las aguas geotérmicas contienen altas concentraciones de arsénico y la contaminación de las aguas subterráneas por arsénico es un problema importante en todo el mundo y se estima que entre 37 y 100 millones de personas corren el riesgo de beber agua contaminada con As (Cheo S, et al., 2016, p.267).

Como consecuencia, a nivel mundial, aproximadamente 200 millones de personas se ven gravemente afectadas por este metaloide en 70 países (Sodhi Kushneet K. et al., 2019, p.3). Y es que la contaminación por arsénico en el agua potable ha sido la preocupación más crítica para la humanidad (Quarato Marco et al., 2017, p.2).

Siendo que, como efectos negativos, la toxicidad del arsénico se observa tanto en las plantas como en los animales, y el arsénico inorgánico se considera un carcinógeno potencial en los seres humanos (Martin Elizabeth et al., 2016, p.3). Donde, el As presenta una amplia gama de toxicidad, dependiendo de la especiación del arsénico, donde se considera que las especies inorgánicas son más tóxicas que las orgánicas para los seres humanos y los animales (Mayer J. et al., 2016, p.2).

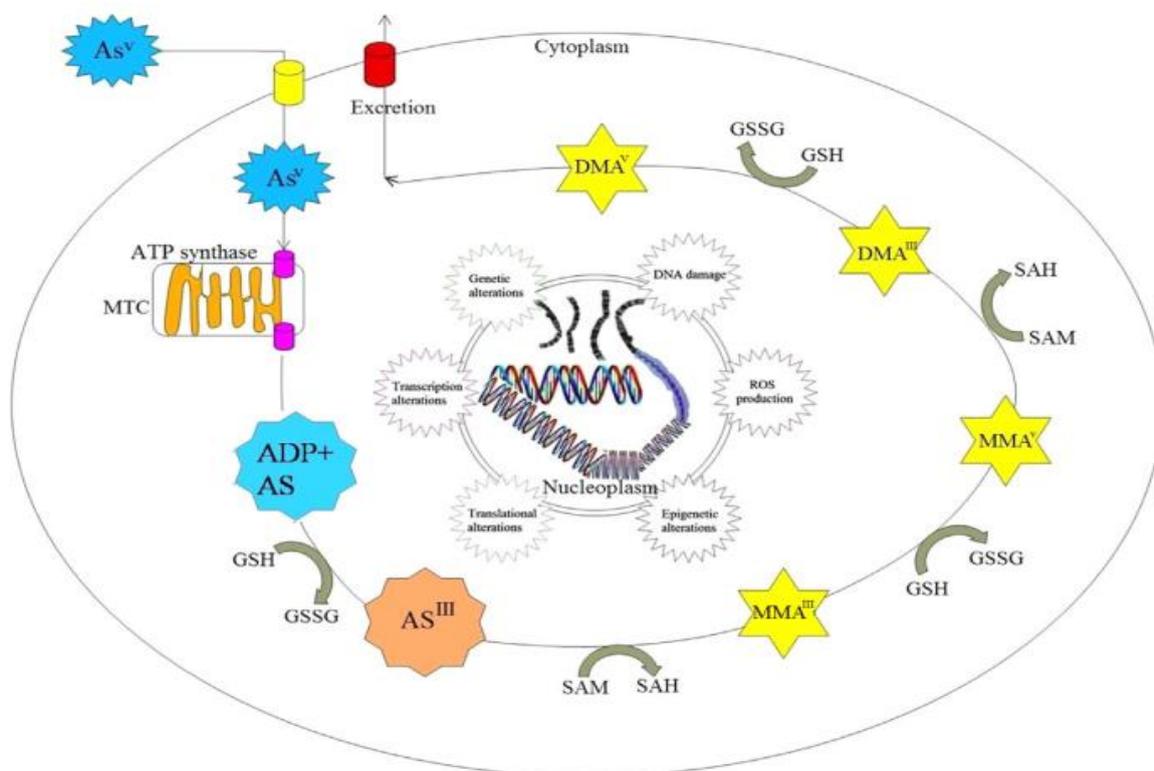
El As(III) es más tóxico que el As(V), y se sabe que los productos de arsénico metilado MMA(III) y DMA(III) ejercen efectos genotóxicos que sus compuestos originales (Vimercati Luigi et al., 2017, p.2). La toxicidad de los compuestos trivalentes se atribuye a una mayor afinidad hacia los grupos sulfhidrilos, incluyendo el glutatión (GSH), los residuos cisteínicos de las enzimas y también los ácidos lipoicos inhibe muchas actividades enzimáticas como el glutatión peroxidasa, las reductasas y las tiorredoxinas peroxidadas y reductasas (Pace Clare et al., 2016, p.4).

Pero, las formas pentavalentes no ejercen tal toxicidad, ya que no pueden interactuar directamente y unirse a los grupos sulfhidrilos, pero como se ha informado, la forma pentavalente del arsénico puede ser activada por los grupos sulfuro y unirse a los grupos sulfhidrilos del glutatión y ejercer los efectos tóxicos (Saint Jacques N. et al., 2018, p.5).

Siendo así que, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha clasificado todos los elementos cancerígenos, incluido el As, como carcinógeno del Grupo 1 en la lista (Shrivastava Anamika et al., 2016, p.1). Además, la ingesta de arsénico puede aumentar el riesgo de cáncer en los pulmones, el hígado, la piel, la vejiga y los riñones (Koutros Stella et al., 2018, p.2).

Como se observa en la figura 1 donde se grafica el mecanismo de toxicidad del arsénico.

Figura N°1. Mecanismo de toxicidad del arsénico



Fuente: Extraído de Sodhi K. et al., (2019)

Debido a que el arsénico es uno de los metaloides más peligrosos, merece especial atención por su toxicidad y carcinogenicidad en el medio ambiente; por tal motivo, se han realizado amplias investigaciones a lo largo de los años donde varias tecnologías han sido estudiadas (Ozola Ruta et al., 2019, p.1).

Pero de las amplias tecnologías la adsorción todavía se considera el método de tratamiento más prometedor a escala de campo en cuanto a su simplicidad técnica y rentabilidad (Dias Adriana c. y Fontes M. et al., 2020, p.2).

La adsorción puede definirse como la acumulación de un elemento o sustancia en la interfaz entre la superficie sólida y la solución adyacente (Dias Adriana C. et al., 2019, p.5). El adsorbato se define como el material que se acumula en una interfaz; el adsorbente es la superficie sólida sobre la que se acumula el adsorbato, y el adsorbente es el ion o molécula en solución que tiene el potencial de ser adsorbido (Licona Aguilar A. et al., 2022, p.3).

La adsorción es un proceso tradicional de separación de solutos de disolventes o gases, ya que la cantidad de solutos aumenta en la superficie del adsorbente y disminuye en el disolvente (Kumar Rahul et al., 2019, p.3).

Se puede clasificar en dos categorías como se muestra en el gráfico 1.

Gráfico N° 1. Procesos de adsorción

Adsorción por coagulación

- Este proceso también se conoce como precipitación o coprecipitación.
- En el proceso de coagulación, las partículas sólidas coloidales del agua contaminada con As se agrupan mediante la adición de partículas coagulantes (Al^{3+} o Fe^{3+}).
- Los iones de arseniato en el agua forman arseniato férrico ($FeAsO_4$) o arseniato de aluminio ($AlAsO_4$) con especies hidrolizadas de Al^{3+} o Fe^{3+} , que son constituyentes de la estructura del adsorbente (Lima Eder C. et al., 2018, p.3).

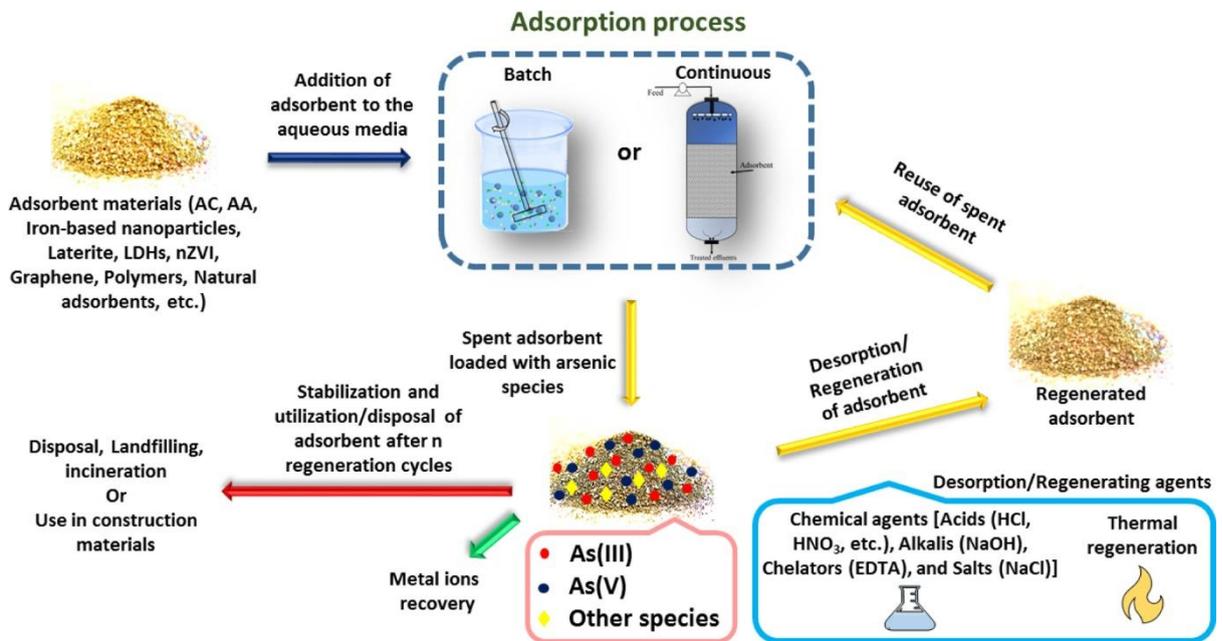
Adsorción por intercambio iónico

- Puede considerarse como una adsorción especial e implica la fuerte afinidad del oxihidróxido de Fe y Al por el As disuelto.
- En este proceso el arsénico es fuertemente atraído por los sitios de adsorción en las superficies sólidas, siendo efectivamente de la solución (Burakov Alexander E. et al., 2018, p.2).

Elaboración propia

Así mismo, algunos estudios sobre la adsorción de As han utilizado como adsorbentes una serie de materiales como se muestra en la figura 2

Figura N° 2. Diagrama esquemático de la eliminación de arsénico de una solución acuosa a través del proceso de adsorción



Fuente: Extraído de Yadav Manoj k. et al., (2022)

Como se puede observar en la figura 2 existen diversos adsorbentes ampliamente utilizados para la remediación de arsénico, donde se pueden utilizar en estudios a escala de laboratorio en modo por lotes o estudios a escala de campo en modo de operación continua.

Entre los materiales se encuentran los naturales y sintéticos, como carbón activado (AC), laterita, alúmina activada (AA), zeolita, nanotubos de carbono (CNT), estructuras metalorgánicas (MOF), óxido de grafeno, hierro de valencia cero (ZVI), etc., se emplearon en la eliminación por adsorción de arsénico (ghosal Partha S. et al., 2018, p.2).

Además, algunos subproductos agrícolas e industriales como paja de trigo, cascarilla de arroz, biocarbón, escorias siderúrgicas, cenizas volantes, etc., también se han utilizado como material adsorbente de bajo costo en este contexto (Da Silva M. et al., 2021, p.3).

También, después del tratamiento, el adsorbente se satura con las especies de arsénico y se puede realizar la desorción/regeneración para su reutilización, lo que está influenciado en gran medida por el tipo de eluyente y el químico regenerador, así como por la naturaleza del adsorbente (Ayala J. et al., 2020, p.4).

Por otro lado, la adsorción de iones a matrices minerales se puede representar gráficamente mediante isoterma de adsorción, siendo que, una isoterma muestra la relación entre la cantidad de un ion adsorbido en una fase sólida y su concentración en solución, a una temperatura dada (Sun yaofei et al., 2019, p.2). Se ha evaluado la adsorción de arsénico (V) por diferentes adsorbentes, principalmente por la isoterma de Langmuir (Banerjee Sushmita et al., 2019, p.2).

Pero también, la especiación de arsénico se ve significativamente afectada por diversos parámetros como es el caso del pH de la solución y, por lo tanto, por el proceso de adsorción (Mondal Monoj K. et al., 2017, p.4). Siendo que, en condiciones de pH entre 2 y 7, la especie predominante de As es $H_2AsO_4^{3-}$, mientras que la especie aniónica $HAsO_4^{2-}$ predomina entre pH 7 y 11 (Siddiqui Sharf et al., 2017, p.3).

En condiciones extremadamente ácidas o alcalinas, el H_3AsO_4 y AsO_4^{3-} predominan, respectivamente y se describe que la remoción de arsénico está influenciada negativamente por el aumento del pH, alcanzando la máxima eficiencia a pH entre 4 y 6, y mínima entre 10 y 14 (Gauma Ravindra K. et al., 2016, p.6).

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación que se aplicó fue aplicada, donde esta investigación hace referencia a las actividades que realizan los investigadores o científicos sobre temas teóricas con la finalidad de conseguir o adquirir nuevos conocimientos (Howard Deborah, 2016, p.9). Así mismo, la ciencia básica implica teorías sobre el mundo, y de hecho el universo, que se consideran fundamentales para la comprensión humana (Jacobs Arthur M. y Ziegler Johannes C., 2016, p.2).

Las ciencias sociales básicas, entonces, se refieren al conocimiento que los científicos usan para formular preguntas y estrategias de investigación para comprender mejor el comportamiento humano (Pomeroy C. et al., 2016, p.2). Siendo así que este tipo de investigación se aplica, ya que, se buscará adquirir conocimientos acerca del uso y adsorbentes y su reutilización para la remoción de As en los medios hídricos.

Además, el diseño de la investigación fue no experimental, siendo dentro del diseño aplicado el estudio sistemático; donde según Gough et al. (2012, p.2), las revisiones sistemáticas emplean métodos explícitos, rigurosos y responsables para informar nuevas preguntas de investigación. Además, la revisión sistemática de la investigación implica tres actividades clave: identificar y describir investigaciones relevantes publicadas previamente; evaluar críticamente los métodos de investigación y reunir los hallazgos agregados en una síntesis de los hallazgos de la investigación (Mertens, 2018, p.7).

3.2 Categoría, subcategoría y matriz de categorización

Las categorías y sub categorías que se elaboraron en la tabla 1 enmarca las categorías y sub categorías que fueron establecidas de acuerdo a los 3 objetivos y problemas específicos para el desarrollo el problema de estudio, buscando la claridad y orden en los resultados.

Tabla N° 1: Tabla de matriz de categorización apriorística

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 2
Clasificar los adsorbentes aplicados a la remoción de medios hídricos contaminados con Arsénico	¿Cuáles son los adsorbentes aplicados a la remoción de medios hídricos contaminados con Arsénico?	Tipos de adsorbentes aplicados (Rashed H. et al., 2018, p.3).	Materiales híbridos Materiales convencionales (Dias Adriana c. y Fontes M. et al., 2020, p.2).	De acuerdo al medio de adsorción	De acuerdo a la característica del agua contaminada
Analizar el promedio de eliminación del arsénico en el medio hídrico aplicando los diversos adsorbentes	¿Cuál es el promedio de eliminación del arsénico en el medio hídrico aplicando los diversos adsorbentes?	Promedio de eliminación del arsénico (Martin Elizabeth et al., 2016, p.3).	Eficiencia alta (>50%) Eficiencia baja (<50%) (Licona Aguilar A. et al., 2022, p.3).	De acuerdo al pH	De acuerdo a la capacidad de adsorción
Identificar el uso los adsorbentes regenerados que fueron aplicados para la remoción de medios hídricos contaminados con Arsénico	¿Cuál es el uso de los adsorbentes regenerados que fueron aplicados para la remoción de medios hídricos contaminados con Arsénico?	Uso los adsorbentes (Ahuja Satinder, 2019, p.11).	Ladrillos Tejas para pisos y techos Agregados livianos y densos (Ayala J. et al., 2020, p.4).	De acuerdo al tipo de adsorbente	De acuerdo al proceso de utilización

Elaboración Propia

3.3 Escenario de estudio

El escenario de estudio es considerado como la descripción del lugar y/o entorno en el que se ejecutan los trabajos prácticos para la obtención de un objetivo de estudio, pero al ser el presente el trabajo de investigación una revisión sistemática y al realizar una recopilación de diversos estudios actualizados se tomaron en cuenta los distintos lugares en los que los autores llevaron a cabo sus estudios para la remoción de arsénico; como es el caso de los lugares donde los investigadores tomaron muestras de agua contaminada, y laboratorios donde se realizaron los estudios y análisis experimentales.

3.4 Participantes

Los participantes que presentaron real importancia y formaron parte del estudio fueron las diversas plataformas virtuales web de las cuales se extrajeron artículos científicos.

Dichas plataformas fueron: Sciencedirect, Scopus y Pubmed; siendo estos portales que albergan gran cantidad de estudios científicos como revistas académicas y libros electrónicos, encontrándose todos indizados, por lo que brindaron el respaldo que se requiere para el uso de los artículos.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos incluyen entrevistas, observaciones (directas y participantes), cuestionarios y documentos relevantes; pero al realizarse una revisión sistemática de estudios se aplicó el método de análisis documental, en el cual permitió que se realizaran recopilaciones de estudios que se usaron en el trabajo de investigación.

Así también, mediante el análisis documental se utilizó como instrumento de recolección la ficha encontrada en el anexo 1, cual fue una elaboración propia denominada ficha de análisis de contenido.

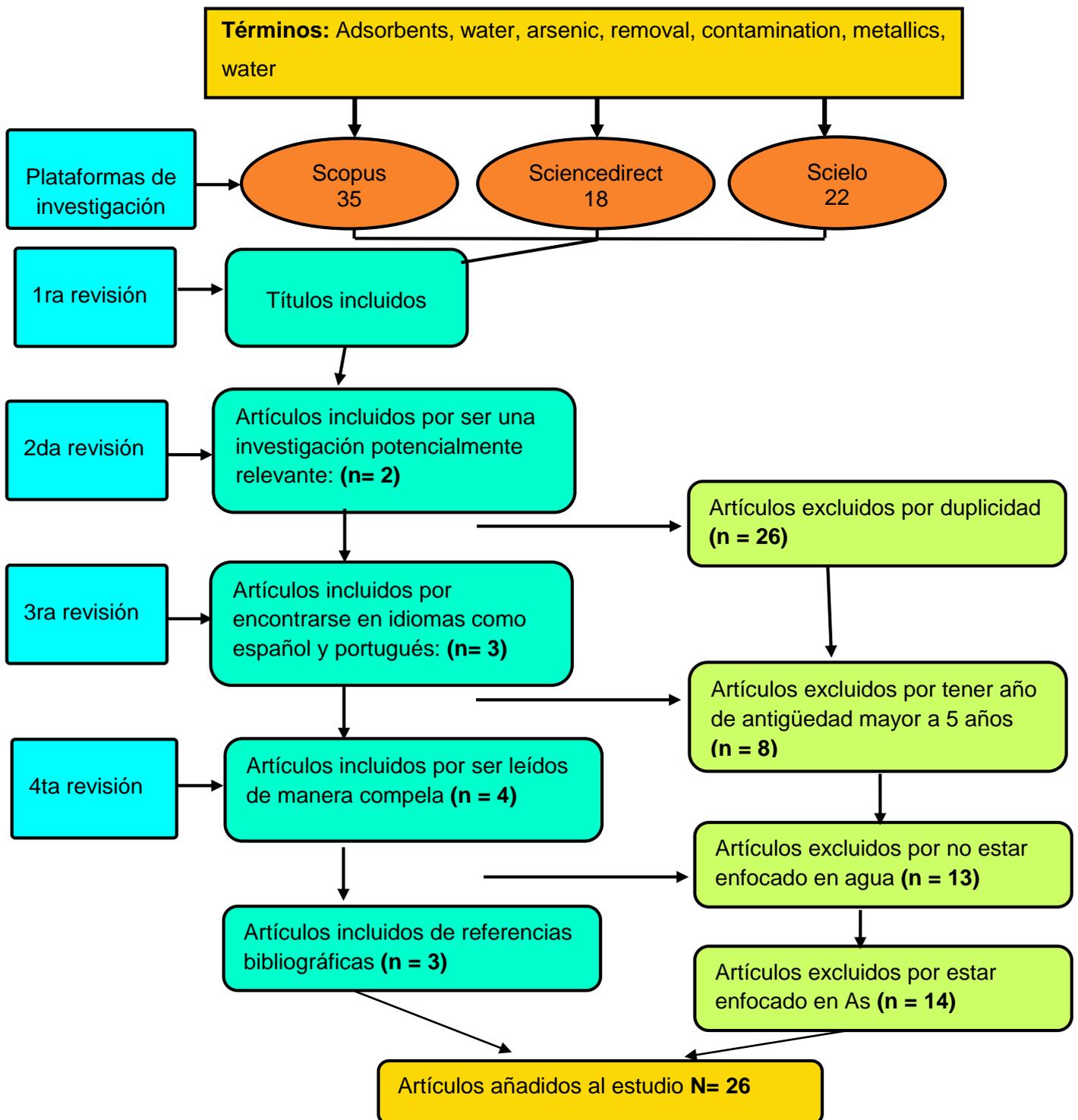
Dicha ficha es un documento en el cual se textualiza la información relevante del documento original que se usó, con la finalidad que se logre la recuperación y fácil acceso al contenido de dicho documento; siendo las informaciones más importantes

que se extraen: Título del estudio, datos de autor, metodología, tipo de adsorbente usado, resultados, conclusiones.

3.6 Procedimiento

El procedimiento seguido con cada estudio recolectado paso por dos filtros, para poder ser seleccionados y añadidos al estudio, siendo estos mostrados a detalle en el gráfico 2.

Gráfico N° 2. Procedimiento de selección de artículos



Elaboración propia

3.7 Rigor científico

En rigor, es la aplicación del método científico, donde tiene relación con la calidad de los datos obtenidos mediante el informe de indagación creado o los diferentes métodos implementados y el debate sobre rigor incluye una controversia más elemental de la lógica y la práctica en relación a partir de una visión epistemológica. (Cornejo et.al.,2011, pág.15).

Ante ello, el rigor científico de este estudio cuenta con 4 criterios científicos; siendo descrito por Müller, (2000, p. 15), como se muestra a continuación:

Dependencia, este criterio se encarga de que un estudio presente estabilidad de la información, por lo cual, los datos deben ser revisados por varios investigadores y los resultados deben ser similares en todos los casos.

Así mismo, la confiabilidad de una medición se refiere al grado en que su aplicación repetida en el mismo sujeto u objeto produce resultados similares. Sin embargo, la confiabilidad puede verse afectada por varios factores, entre los que se encuentran la improvisación, ya que la elección de un instrumento a la ligera y el desarrollo de un instrumento muestran una falta de conocimiento y, por lo tanto, es una herramienta poco confiable e inválida.

Aplicabilidad de los instrumentos, esto depende de la naturaleza del estudio o investigación, ya que no todos los instrumentos se pueden utilizar para todo tipo de investigaciones, como la entrevista a profundidad solo se enfoca en un individuo mientras que una encuesta puede representar a toda una población. Por otro lado, la observación participante es útil ya que se investigan fenómenos sociales y ciclos de vida, los antropólogos tienen en esta técnica una valiosa herramienta.

Credibilidad, es un criterio que permite encontrar hallazgos, mediante la búsqueda que realiza el investigador, además, se considera que este criterio va a ser verdadero cuando se hayan presentado personas o sujetos que puedan dar fe de los experimentos presentados.

3.8 Método de análisis de información

En el método de análisis se utilizó la matriz apriorística el cual contó con 3 categorías:

Tipos de adsorbentes aplicados: Donde las sub categorías para esta categoría fueron los Materiales híbridos y Materiales convencionales teniendo como criterios el medio de adsorción y la característica del agua contaminada.

Promedio de eliminación del arsénico: Donde las sub categorías para esta categoría Eficiencia alta (>50) y eficiencia baja (<50%), teniendo como criterios al tipo de pH y a la capacidad de adsorción del adsorbente.

Uso los adsorbentes: Donde las sub categorías para esta categoría fueron la elaboración de ladrillos, tejas para pisos y techos, agregados livianos y teniendo como criterios al tipo de adsorbente y al proceso de utilización.

3.9 Aspectos éticos

Los aspectos éticos con los que cuenta este estudio son la autenticidad, honestidad, los rigores científicos; donde se siguió con lo establecido por la resolución de investigación N°110-2022-VI-UCV la guía de elaboración de productos observables de investigación; además, cada cita plasmada fue debidamente citado por la norma ISO 690-2.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tipos de adsorbentes y reutilizaciones aplicados a la remoción de medios hídricos contaminados con arsénico se detallan mediante la clasificación realizada en la tabla 2, en la cual se detallan los adsorbentes aplicados a la remoción de medios hídricos contaminados con arsénico, así también, se analiza el promedio de eliminación del arsénico con los adsorbentes con la tabla 3 y por último, se identifica el uso que se puede generar de los adsorbentes regenerados que fueron aplicados para la remoción de medios hídricos contaminados con arsénico mediante la tabla 4.

Siendo así que en la tabla 2, se detalla los adsorbentes aplicados a la remoción de medios hídricos con arsénico, donde se tiene como criterios el medio de adsorción y la característica del agua contaminada.

Tabla N°2. Adsorbentes aplicados a la remoción de medios hídricos contaminados con Arsénico

Medios adsorbentes	Características del agua afluyente	Referencias
Microesfera de polianilina hueca/ Nanocompuesto de Fe ₃ O ₄	As(III) conc inicial.=1000mg/L; pH~7; Temperatura.=300 ± 3K	Dutta Soumi et al. (2020, p.1)
Estructura metal-orgánica basada en Fe-Co	As (III) y As (V)=1–250 mg/L de pH=4.3; Temperatura.=298K	Sun Jianqiang et al. (2019, p.1)
Compuestos magnéticos de estructura de esfera hueca similar a una cáscara de castaño	pH=3; Temperatura.=298K; 0,01/0,001 mol/l NaCl	Lv Zhimin et al. (2019, p.1)
Nanopartículas de estructura metal-orgánica	As (V)=5 mg/L	Li Zong Qun et al. (2016, p.1)
Laterita	As (III) y As (V)=0,1–25 mg/L; Temperatura.=303K	Nguyen Thi Hai et al. (2020, p.1)
Lechos de lodo de Fe de alginato de quitosano (CAFB) reforzados con lodo de manganeso	As (III)=5–20 mg/L, pH=7, temperatura=297.5, 307.5 y 317K	Zeng Huiping et al. (2020, p.1)
Fibra de amina acrílica	As (V)=100mg/L, SO ₄ ²⁻ =0–5 mg/L, Cl ⁻ =87–103 mg/L, VO ₄ ³⁻ =0.8mg/L.	Wei Jinshan et al. (2020, p.1)

Nueva fibra de intercambio iónico acrílica dopada con amina	As (V)=10 mg/l, temp.=298 K, pH=3.04	Lee Chang Gu et al. (2017, p.1)
Óxido de hierro modificado con cascarilla de arroz	As =10 mg/l, temp.=303 K, pH=6	Pillai Parwathi et al. (2020, p.2)
d-Carbón activado modificado con MnO ₂	As =2 mg/L, pH=4,	Wang Yulong et al. (2020, p.1)
Óxido trimetálico de Fe-Cu-Mn nanoestructurado	As (III)=10 mg/L, pH=7, temperatura=298K	Zhang Gaosheng et al. (2020, p.1)
Óxido compuesto de Fe-Ti-Mn nanoestructurado	As =2 a 50 mg/L, Temp.=298K; pH=7 ± 0,1	Zhang et al. (2019)
Los residuos de desecho contienen óxidos de Fe y Mn	pH=7.5–7.7, As =1–25 mg/L,	Ocinski Daniel et al. (2016, p.2)
Oxihidróxido de hierro	pH=10–12, As(III) y As(V)=0,25 a 12,5 mg/L	Tresintsi Sofia et al. (2015, p.1)
Nanocompuesto magnético a base de óxido de nitrilo-cálix grafeno	As (III) conc.=1,0–50 mg/L; pH=7	Rezania Shahabaldine t al. (2021, p.2)
Compuesto de quitosano-óxido de grafeno/gadolinio	As (V)=10–160 mg/L; pH=6	Choy Jong Soo et al. (2020, p.1)
Nanocompuesto de óxido de grafeno magnético de quitosano	As (III)=10 miligramos por litro; pH=7.3	Sherlala A. et al. (2019, p.1)
Compuesto de óxido de LDH-Fe con respuesta magnética	As (V)=0,1–25 mmol/L; pH=5,0 ± 0,2	Maziarz Paulina et al. (2019, p.1)
Adsorbente magnético Fe ₃ O ₄ dopado con Cu	As (III)=1–85 mg/L o As(V)=1–45 mg/L; pH 5 ± 0,2; Temperatura.=298K	Wang Ting et al. (2016, p.1)
Nanobiocarbón de cáscara de arroz mesoporoso impregnado de óxido de hierro	As conc.=0,01–10 mg/L; pH=7–12	Nath B. et al. (2019, p.1)
Heteroestructura de nano bentonita porosa	As (V)= 10-500 mg/L pH=10; Temperatura.=298K	Barakan S. y Aghazadeh V., (2019, p.1)

Compuestos de óxido de hierro hidratado a base de resina (HFOR)	As (V)=0–100 mg/L	Liu Biming et al. (2020, p.1)
FeOOH/CuO@ agua compuesto de celulosa de bambú	As (III)= 20-200 mg/L Temperatura= 303K	Liu Hui et al. (2020, p.1)

Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 2, se tiene que los adsorbentes aplicados son los adsorbentes híbridos y convencionales, siendo en su mayoría los convencionales los que más se aplicaron. Siendo así corroborado por más de la mitad de los investigadores.

Ello debido a la gran variedad de adsorbentes convencionales de distinta naturaleza que pueden utilizarse en estructuras prístinas o modificadas para eliminar los iones de metales pesados nocivos de las aguas residuales y medios hídricos.

Siendo así corroborado por; Liu Hui et al. (2020, p.1), Nath B. et al. (2019, p.1), Sherlala A. et al. (2019, p.1), Ocinski Daniel et al. (2016, p.2), Wang Yulong et al. (2020, p.1), Pillai Parwathi et al. (2020, p.2), Li Zong Qun et al. (2016, p.1), Lv Zhimin et al. (2019, p.1), Dutta Soumi et al. (2020, p.1) y Sun Jianqiang et al. (2019, p.1).

Presentando cierta oposición, Méndez Jr. et al., (2016, p.2); en su estudio señala que el uso del carbón activado como adsorbente, aunque es una opción atractiva presenta limitaciones respecto a su capacidad; por lo cual, se ha contribuido en los últimos años a esta área de investigación mediante la síntesis de adsorbentes híbridos basados en oxihidróxidos metálicos-carbón con capacidad de adsorción elevada.

Así también, Nath B. et al. (2019, p.1), en su estudio actual implica la optimización de nanobiocarbón mesoporoso de cáscara de arroz impregnado de óxido de hierro (IPMN) para la eliminación de As, donde, se sintetizó a través de un enfoque pirolítico modificado químicamente.

Así mis, apoyando a lo mencionado Wang Yulong et al. (2020, p.1), en su estudio preparó un carbón activado modificado con $\delta\text{-MnO}_2$, y se investigó su rendimiento para la absorción de especies de arseniato y arsenito de soluciones acuosas mediante experimentos por lotes; donde este enfoque proporciona un método posible para la purificación de aguas subterráneas contaminadas con arsénico.

Por otro lado, se analizó el promedio de eliminación del arsénico en el medio hídrico aplicando los diversos adsorbentes en la tabla 3 teniendo como criterios el pH y la capacidad de adsorción.

Tabla N°3. Promedio de eliminación del arsénico

Medios adsorbentes	Características del agua afluyente	Capacidad de adsorción	Agente de regeneración/desorción	# de ciclos de regeneración	Eficiencia de eliminación después de N ciclo	Referencias
Microesfera de polianilina hueca/ Nano compuesto de Fe ₃ O ₄	As(III) conc inicial.=1000mg/L; pH ~7; Temperatura.=300 ± 3K	28,27 miligramos por gramo	NaOH 0,5 M	4	~83%	Dutta Soumi et al. (2020, p.1)
Estructura metal-orgánica basada en Fe-Co	As (III) y As (V)=1–250 mg/L de pH=4.3; Temperatura.=298 K	As (III)=266,52 mg/g y As(V)=292,29 mg/g	NaOH 0,5 M	5	As(III) ~73% y As(V)~76%	Sun Jianqiang et al. (2019, p.1)
Compuestos magnéticos de estructura de esfera hueca similar a una cáscara de castaño	pH=3; Temperatura.=298K; 0,01/0,001 mol/l NaCl	454,9 mg/g	NaOH 1 M	5	~69% de eficiencia de eliminación inicial	Lv Zhimin et al. (2019, p.1)
Nanopartículas de estructura metal-orgánica	As(V)=5 mg/L	24,83 mg/g	Na ₂ SO ₄ 0,5 M	5	~82%	Li Zong Qun et al. (2016, p.1)
Laterita	As(III) y As (V)=0,1–25 mg/L; Temperatura.=303K	As (III)=0,51 mg/g y As(V)=0,58 mg/g	Agua DI (pH 12)	1 As (III), As (V)	18,5%, 12,6%	Nguyen Thi Hai et al. (2020, p.1)
			HCl 0,5 M,		15,4%, 14,0%	
			NaOH 0,5 M,		47,8%, 29%	
			NaCl 0,5 M		0,04%, 0,01%	
			EDTA (5%)		6%, 2,8%	
Lechos de lodo de Fe de alginato de quitosano	As (III)=5–20 mg/L, pH=7, temperatura=297.5, 307.5 y 317K	21,29–24,06 mg As(III)/g	NaOH	4	~80%	Zeng Huiping et

(CAFB) reforzados con lodo de manganeso						al. (2020, p.1)
Fibra de amina acrílica	As (V)=100mg/L, SO ₄ ²⁻ =0–5 mg/L, Cl ⁻ =87–103 mg/L,	8,1 mg As(III)/g y 59,5 mg As(V)/g	HCl 0,5 M	5	95%	Wei Jinshan et al. (2020, p.1)
Nueva fibra de intercambio iónico acrílica dopada con amina	As (V)=10 mg/l, temp.=298 K, pH=3.04	250,3 ± 3,57 mg As(V)/g	HCl 0,1 N, NaOH 0,1 N y agua ultrapur a	9	83%	Lee Chang Gu et al. (2017, p.1)
Óxido de hierro modificado con cascarilla de arroz	As =10 mg/l, temp.=303 K, pH=6	82 mg As/g	HCl	5	56%	Pillai Parwathi et al. (2020, p.2)
d- Carbón activado modificado con MnO ₂	As =2 mg/L, pH=4,	13,30 mg As(III)/g y 12,56 mg As(V)/g	NaOH 0,1 M	3	75,5% para As(V) y 73,1% para As(III)	Wang Yulong et al. (2020, p.1)
Óxido trimetálico de Fe-Cu-Mn nanoestructurado	As (III)=10 mg/L, pH=7, temperatura=298K	131 mg As(III)/g	NaOH 0,5 M	4	~82%–90%	Zhang Gaoshe ng et al. (2020, p.1)
Óxido compuesto de Fe-Ti-Mn nanoestructurado	As =2 a 50 mg/L, Temp.=298K; pH=7 ± 0,1	Se observaron 122,3 mg As(III)/g y 74,4 mg As(V)/g	NaOH	8	>50% de su capacidad inicial	Zhang et al. (2019)
Los residuos de desecho contienen óxidos de Fe y Mn	pH=7.5–7.7, As =1–25 mg/L,	132 mg As(III)/g y 77 mg As(V)/g	NaOH al 2 % y NaCl al 2 %	1	79% para As(III) y 62% para As(V)	Ocinski Daniel et al. (2016, p.2)
oxihidróxido de hierro	pH=10–12, As(III) y As(V)=0,25 a 12,5 mg/L	59,4 mg As(V)/g y 50 mg As(III)/g	NaOH 0,05N	5	80%	Tresinti Sofia et al. (2015, p.1)

Nanocompuesto magnético a base de óxido de nitrilo-cálix grafeno	As (III) conc.=1,0–50 mg/L; pH=7	67,11 miligramos por gramo	HCl 0,1 M	6	65% de 87%	Rezania Shahabaldinet al. (2021, p.2)
Compuesto de quitosano-óxido de grafeno/gadolino	As (V)=10–160 mg/L; pH=6	252,12 miligramos por gramo	NaOH 0,1 M	6	78% de 99%	Choy Jong Soo et al. (2020, p.1)
Nanocompuesto de óxido de grafeno magnético de quitosano	As(III)=10 miligramos por litro; pH=7.3	45 mg/g	NaOH 0,1 M	5	47,72 % del 61%	Sherlala A. et al. (2019, p.1)
Compuesto de óxido de LDH-Fe con respuesta magnética	As(V)=0,1–25 mmol/L; pH=5,0 ± 0,2	~1200mmol/kg	1 M KH_2PO_4	5	~30% de ~100%	Maziarz Paulina et al. (2019, p.1)
Adsorbente magnético Fe_3O_4 dopado con Cu	As (III)=1–85 mg/L o As(V)=1–45 mg/L; pH 5 ± 0,2; Temperatura.=298K	As (V)=42,90 mg/g y As(III)=37,97 mg/g	NaOH 0,1 M	6	As (III)=81,8% y As(V)=82,4%	Wang Ting et al. (2016, p.1)
Nanobiocarbón de cáscara de arroz mesoporoso impregnado de óxido de hierro	As conc.=0,01–10 mg/L; pH=7–12	5987mg/g	0,5 NaCl	5	~61,81%	Nath B. et al. (2019, p.1)
			0,5 NaOH	5	~65,76%	
			Solución salina tamponada con fosfato (PBS)	5	~67,20%	
Heteroestructura de nanobentonita porosa	As (V)=10–500 mg/L; pH=10; Temperatura.=298K	N / A	NaOH 0,1 M	4	>80%	Barakan S. y Aghazadeh V., (2019, p.1)
Compuestos de óxido de hierro hidratado a base de resina (HFOR)	As (V)=0–100 mg/L	92,77 miligramos por gramo	NaOH–NaCl (ambos al 10 % en peso)	5	~91% del valor inicial	Liu Biming et al. (2020, p.1)

FeOOH/CuO @ agua compuesto de celulosa de bambú	As (III)=20–200 mg/L; Temperatura.=303K	49,40 mg/g	NaOH 0,1 M	5	~50% de~75	Liu Hui et al. (202 0, p.1)
---	--	---------------	---------------	---	---------------	--------------------------------------

Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 3, se tiene que el promedio de eliminación del arsénico en el medio hídrico aplicando los diversos adsorbentes es alta, teniendo como promedio a la mayoría de estudios que presentan un promedio de eliminación mayor al 50%, donde 20 de los 23 estudios en la tabla 3 que lo corroboran.

Así también, se pudo corroborar que el pH es uno de los parámetros que más incluye en la eficiencia del promedio de remoción del As en los medios hídricos. Donde, los autores Vences Alvares E. et al., (2022, p.4), evaluaron la eliminación de As a pH 4, 7 y 9, y obtuvieron una capacidad adsorción de As de 16,24, 6,59 y 5,66 mg L⁻¹ respectivamente y estos resultados demuestran la influencia del pH de la solución en el proceso de adsorción donde la mayor capacidad de adsorción de As(V) se alcanzó a pH 4. Sin embargo, los autores Chiban M. et al., (2016, p.4), observaron que un aumento del pH a valores superiores a 10 reducía el porcentaje de eliminación al 75% del arsénico de las soluciones acuosas.

Así también se obtuvo que el As (V) es más fácil de remover que el As (III), siendo ello corroborado por los estudios comparativos de: Sun Jianqiang et al. (2019, p.1), Wei Jinshan et al. (2020, p.1), Tresintsi Sofia et al. (2015, p.1), Wang Ting et al. (2016, p.1).

Ello debido a que, por lo general la remoción de arsenito As (III) es más difícil que la remoción de arseniato As (V) en agua contaminada porque, en condiciones normales de pH (6–9), el arsenito se encuentra principalmente como una especie sin carga (H₃AsO₃), mientras que las especies cargadas negativamente solo se encuentran a pH alto. Debido a que la forma trivalente de arsénico es neutra hasta un pH de 9,2, y tiene menos capacidad de eliminación (De Almeida O. et al., 2022, p.4).

Así también Wang Yulong et al. (2020, p.1), señala que el efecto del pH sobre la eliminación de As(V) y As(III) fue similar, y la eficiencia de eliminación se redujo significativamente con el aumento del pH de la solución. Obteniendo que aproximadamente el 90,1 % y el 76,8 % de As(III) y As(V), respectivamente, fueron

eliminados por el adsorbente en las primeras 9 horas, y la adsorción alcanzó el equilibrio en 48 horas. Las capacidades máximas de adsorción de As(V) y As(III) a pH 4,0 calculadas a partir de las isotermas de adsorción de Langmuir fueron 13,30 y 12,56 mg/g, respectivamente.

Pero Li Zong Qun et al. (2016, p.1), en la tabla 3 señala que los materiales convencionales como nanopartículas de MOF-808 obtenidas exhibieron una alta superacidez, lo que las convierte en un excelente adsorbente para la eliminación de arsénico y la capacidad de adsorción de arsénico de las nanopartículas de MOF-808 sintetizadas fue de 24,83 mg/g. Además, los adsorbentes aún mantuvieron el 82,10 % de la eficiencia de eliminación después de cinco ciclos, lo que indica que las nanopartículas MOF-808 pueden servir como adsorbente de As(V) regenerable.

Así también, Dutta et al. (2020, p.1), en su investigación mostró una eliminación del 98–99 % de As(III) y As(V) en presencia de PNHM/Fe₃O₄-40 siguiendo una cinética de pseudo segundo orden ($R^2 > 0.97$) y datos de isoterma de equilibrio que se ajustan bien con Isoterma de Freundlich ($R^2 > 0,98$). La capacidad máxima de adsorción de As(III) y As(V) corresponde a 28,27 y 83,08 mg g⁻¹, respectivamente.

Por último, se identificó cual es el uso de los adsorbentes regenerados que fueron aplicados para la remoción de medios hídricos contaminados con arsénico mediante la tabla 4, donde los criterios empleados fueron el tipo de adsorbente y el proceso de utilización.

Tabla N° 4. Utilización los adsorbentes regenerados

Adsorbente	Contaminante	Proceso de utilización	Técnica de encuadernación/fase de encuadernación/aglutinante	Concentración de contaminantes en el adsorbente gastado	Referencias
Ceniza de cáscara de arroz modificada con hidroxilo-alúmina	Arsénico	Inmovilización y uso como componente de materia prima en el clínker de cemento	Matriz de clínker de cemento	–	Sarmah Susmita et al. (2019, p.1)

MgO	Arsénico	Estabilización y uso como aditivo en productos de cemento.	Matriz de clínker	<1u gramos por litro	Tresintsi S. et al. (2015, p.2)
Nanopartículas de óxido/hidróxido de aluminio	Arsénico	Estabilización en forma de ladrillos de arcilla.	Mezclado con arcilla	48.48µg/g	Rathore V. y Mondal P. (2017, p.1)
	Fluoruro			4,65 mg/g	
Nanopartículas de Fe/MgO	Arsénico	Estabilización sólida	Concreto	–	Simeonidis K. et al. (2017, p.2)
Biochar de harina de canola	Hierro arsénico	Estabilización y solidificación después del vertido.	Quelantes de fosfato modificados químicamente/MgK PO ₄	5 mg/g 25 mg/g	Devi P. et al. (2020, p.1)

Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 4, se tiene que la utilización los adsorbentes regenerados que fueron aplicados para la remoción de medios hídricos contaminados con arsénico son usados para elaborar materiales de construcción, ello debido a que diversos estudios analizados han demostrado la estabilización e incorporación del adsorbente gastado en las materias primas, que son utilizadas para la producción de diversos materiales de construcción, como ladrillos, tejas para pisos y techos.

Así mismo, el estudio de Sarmah Susmita et al. (2019, p.1), utilizó el adsorbente gastado como componente de materia prima para la producción de clínker de cemento. De manera similar, Rathore V. y Mondal P. (2017, p.1), investigaron la técnica de estabilización/solidificación de los adsorbentes gastados (cargados con arsénico y fluoruro) en forma de ladrillos de arcilla.

Sin embargo, Webster Tara M. et al., (2016, p.5), señala que el conocimiento de este proceso es escaso y necesita más estudio, ya que, a veces, la recuperación de arsénico se puede realizar a partir de los medios gastados y se puede realizar la eliminación de los medios gastados no tóxicos. Sin embargo, este proceso es costoso y el arsénico no tiene mucha necesidad en las industrias y el mercado.

Así también, Mondal M. y Garg R., (2017, p.3), menciona que la recuperación de arsénico tiene poco interés económico tanto por cuestiones de costo como de seguridad durante su almacenamiento.

Pero ello, es refutado por Ghosh D. et al., (2015, p.5), quien afirma que las prácticas de campo de gestión del adsorbente gastado cargado con arsénico tienen varios enfoques, como el uso en materiales de construcción, tratamiento S/S y eliminación, etc., realizándose estudios en el estado de Bengala Occidental, India, que contenían el arsénico cargados de sólidos gastados en la parte superior de un filtro de arena bien aireado y se afirmó que esta técnica de eliminación es científicamente más apropiada que el vertido en vertederos con un entorno reductor.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se estudiaron los tipos de adsorbentes y reutilizaciones aplicados a la remoción de medios hídricos contaminados con Arsénico, donde los tipos de adsorbentes usados son los de materiales convencionales e híbridos, y las reutilizaciones de los residuos gastados son aplicados para la elaboración de materiales de construcción; siendo detallado la conclusión mediante los siguientes puntos:

Los adsorbentes aplicados a la remoción de medios hídricos contaminados con arsénico son los adsorbentes híbridos y convencionales, siendo en su mayoría los convencionales los que más se aplicaron, donde más del 50% de los investigadores lo confirman, ello debido a la gran variedad de adsorbentes convencionales de distinta naturaleza que pueden utilizarse en estructuras prístinas o modificadas para eliminar los iones de metales pesados nocivos de las aguas residuales y medios hídricos.

El promedio de eliminación del arsénico en el medio hídrico aplicando los diversos adsorbentes es alta, teniendo como promedio a la mayoría de estudios que presentan un promedio de eliminación mayor al 80%, donde 20 de los 23 estudios lo corroboran. Así también, se pudo corroborar que el pH es uno de los parámetros que más incluye en la eficiencia del promedio de remoción del As en los medios hídricos.

La utilización los adsorbentes regenerados que fueron aplicados para la remoción de medios hídricos contaminados con arsénico son usados para elaborar materiales de construcción, ello debido a que diversos estudios analizados han demostrado la estabilización e incorporación del adsorbente gastado en las materias primas, que son utilizadas para la producción de diversos materiales de construcción, como ladrillos, tejas para pisos y techos.

VI. RECOMENDACIONES

Mediante el estudio realizado se puede observar que el mayor desafío asociado con la eliminación de medios agotados cargados de arsénico es la estimación adecuada de la lixiviación mediante la simulación exacta de las condiciones de campo de un vertedero; por lo que se recomienda clasificar los residuos gastados como peligrosos y no peligrosos, lo que además decide su gestión de eliminación.

Así mismo, se pueden imponer y mantener normas estrictas y protocolos apropiados en el manejo del adsorbente gastado de las unidades de remoción de arsénico; ello debido a que en muchos países los desechos cargados de arsénico generalmente se eliminan al aire libre debido a la falta de pautas de limitación adecuadas.

Aunque se observa un progreso sustancial en términos de tecnologías de tratamiento para la remediación del arsénico del agua, la gestión de la eliminación de los medios gastados cargados de arsénico sigue siendo un área de brecha significativa; por ello se recomienda realizar una amplia investigación sobre la gestión de la eliminación, especialmente en términos de inmovilización de arsénico, así como la reutilización de material gastado.

Por último, los ingenieros deberían hacer más hincapié en la eficiencia de regeneración del adsorbente para reducir la explotación de recursos y la contaminación ambiental, para llegar a una gestión económica y sostenible de los medios gastados.

REFERENCIAS

1. AHUJA, Satinder. Overview: Evaluating water quality to prevent future disasters. *Separation Science and Technology*, 2019, vol. 11, p. 1-12. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815730-5.00001-6>
2. AWASTHI, Surabhi, et al. The journey of arsenic from soil to grain in rice. *Frontiers in Plant Science*, 2017, vol. 8, p. 1007. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01007>
3. AYALA, Julia; FERNÁNDEZ, Begoña. Industrial waste materials as adsorbents for the removal of As and other toxic elements from an abandoned mine spoil heap leachate: a case study in Asturias. *Journal of hazardous materials*, 2020, vol. 384, p. 121446. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121446>
4. BANERJEE, Sushmita, et al. Adsorption characteristics of alumina nanoparticles for the removal of hazardous dye, Orange G from aqueous solutions. *Arabian Journal of Chemistry*, 2019, vol. 12, no 8, p. 5339-5354. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2016.12.016>
5. BARAKAN, Shima; AGHAZADEH, Valeh. Structural modification of nano bentonite by aluminum, iron pillarization and 3D growth of silica mesoporous framework for arsenic removal from gold mine wastewater. *Journal of hazardous materials*, 2019, vol. 378, p. 120779. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120779>
6. BHATTACHARYA, Piyal, et al. Health risk assessment of co-occurrence of toxic fluoride and arsenic in groundwater of Dharmanagar region, North Tripura (India). *Groundwater for Sustainable Development*, 2020, vol. 11, p. 100430. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100430>
7. BURAKOV, Alexander E., et al. Adsorption of heavy metals on conventional and nanostructured materials for wastewater treatment purposes: A review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2018, vol. 148, p. 702-712. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.034>

8. CHAKRABORTY, Madhumita, et al. Modeling regional-scale groundwater arsenic hazard in the transboundary Ganges River Delta, India and Bangladesh: Infusing physically-based model with machine learning. *Science of the total environment*, 2020, vol. 748, p. 141107. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141107>
9. CHIBAN, Mohamed, et al. Equilibrium and thermodynamic studies for the removal of As (V) ions from aqueous solution using dried plants as adsorbents. *Arabian Journal of Chemistry*, 2016, vol. 9, p. S988-S999. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.10.002>
10. CHOE, S.-I.; SHEPPARD, D. C. Bioremediation of arsenic using an aspergillus system. En *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*. Elsevier, 2016. p. 267-274. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63505-1.00034-8>
11. CHOI, Jong-Soo, et al. Fabrication of chitosan/graphene oxide-gadolinium nanorods as a novel nanocomposite for arsenic removal from aqueous solutions. *Journal of Molecular Liquids*, 2020, vol. 320, p. 114410. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114410>
12. DA SILVA MEDEIROS, Deborah Cristina Crominski, et al. Pristine and engineered biochar for the removal of contaminants co-existing in several types of industrial wastewaters: A critical review. *Science of The Total Environment*, 2021, p. 151120. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151120>
13. DE ALMEIDA OHANA, N., et al. Adsorption of arsenic anions in water using modified lignocellulosic adsorbents. *Results in Engineering*, 2022, vol. 13, p. 100340. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100340>
14. DE MEYER, Caroline MC, et al. Arsenic, manganese and aluminum contamination in groundwater resources of Western Amazonia (Peru). *Science of the Total Environment*, 2017, vol. 607, p. 1437-1450. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.059>

15. DEVI, Parmila; KOTHARI, Prachi; DALAI, Ajay K. Stabilization and solidification of arsenic and iron contaminated canola meal biochar using chemically modified phosphate binders. *Journal of Hazardous Materials*, 2020, vol. 385, p. 121559. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121559>
16. DIAS, Adriana Cristina; FONTES, Maurício Paulo Ferreira. Arsenic (V) removal from water using hydrotalcites as adsorbents: A critical review. *Applied clay science*, 2020, vol. 191, p. 105615. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2020.105615>
17. DIAS, Adriana Cristina, et al. Simplex-Centroid mixture design applied to arsenic (V) removal from waters using synthetic minerals. *Journal of environmental management*, 2019, vol. 238, p. 92-101. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.099>
18. DUTTA, Soumi, et al. Hollow polyaniline microsphere/Fe₃O₄ nanocomposite as an effective adsorbent for removal of arsenic from water. *Scientific reports*, 2020, vol. 10, no 1, p. 1-14. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61763-z>
19. GAUTAM, Ravindra Kumar, et al. Removal of Ni (II) by magnetic nanoparticles. *Journal of Molecular Liquids*, 2015, vol. 204, p. 60-69. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2015.01.038>
20. GHOSAL, Partha S., et al. Adsorptive removal of arsenic by novel iron/olivine composite: insights into preparation and adsorption process by response surface methodology and artificial neural network. *Journal of environmental management*, 2018, vol. 209, p. 176-187. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.040>
21. GHOSH, Debabrata, et al. Investigation on the long-term storage and fate of arsenic obtained as a treatment residual: a case study. *Journal of Hazardous Materials*, 2014, vol. 271, p. 302-310. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.02.015>

22. GOUGH, David; OLIVER, Sandy; THOMAS, James (ed.). An introduction to systematic reviews. Sage, 2017. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=ZgZODgAAQBAJ&lpg=PP1&ots=CxGXpotqjA&lr&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>
23. HAINES, Douglas A., et al. An overview of human biomonitoring of environmental chemicals in the Canadian Health Measures Survey: 2007–2019. International journal of hygiene and environmental health, 2017, vol. 220, no 2, p. 13-28. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2016.08.002>
24. HOWARD, Deborah. US federal oversight of biological materials and the IBC. En Ensuring National Biosecurity. Academic Press, 2016. p. 23-40. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801885-9.00002-0>
25. JACOBS, Arthur M.; ZIEGLER, Johannes C. Visual word recognition, neurocognitive psychology of. 2016. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.57021-4>
26. KOUTROS, Stella, et al. RE: Elevated bladder cancer in northern new England: The role of drinking water and arsenic. JNCI: Journal of the National Cancer Institute, 2018, vol. 110, no 11, p. 1273-1274. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/jnci/djy045>
27. KUMAR, Rahul, et al. Emerging technologies for arsenic removal from drinking water in rural and peri-urban areas: Methods, experience from, and options for Latin America. Science of the Total Environment, 2019, vol. 694, p. 133427. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.233>
28. LEE, Chang-Gu, et al. Arsenic (V) removal using an amine-doped acrylic ion exchange fiber: kinetic, equilibrium, and regeneration studies. Journal of Hazardous Materials, 2017, vol. 325, p. 223-229. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.12.003>
29. LI, Zong-Qun, et al. Facile synthesis of metal-organic framework MOF-808 for arsenic removal. Materials Letters, 2015, vol. 160, p. 412-414. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2015.08.004>

30. LICONA-AGUILAR, Á. I., et al. Reutilization of waste biomass from sugarcane bagasse and orange peel to obtain carbon foams: Applications in the metal ions removal. *Science of the Total Environment*, 2022, p. 154883. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154883>
31. LIMA, Eder C., et al. Removal of emerging contaminants from the environment by adsorption. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2018, vol. 150, p. 1-17. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.12.026>
32. LIU, Biming, et al. Effective and simultaneous removal of organic/inorganic arsenic using polymer-based hydrated iron oxide adsorbent: Capacity evaluation and mechanism. *Science of the Total Environment*, 2020, vol. 742, p. 140508. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140508>
33. LIU, Chen-Wing; WANG, Chin-Jen; KAO, Yu-Hsiun. Assessing and simulating the major pathway and hydrogeochemical transport of arsenic in the Beitou–Guandu area, Taiwan. *Environmental geochemistry and health*, 2016, vol. 38, no 1, p. 219-231. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10653-015-9710-3>
34. LIU, Hui, et al. Controllable preparation of FeOOH/CuO@ WBC composite based on water bamboo cellulose applied for enhanced arsenic removal. *Food and Bioproducts Processing*, 2020, vol. 123, p. 177-187. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.06.018>
35. LV, Zhimin, et al. MOFs-derived magnetic chestnut shell-like hollow sphere NiO/Ni@ C composites and their removal performance for arsenic (V). *Chemical Engineering Journal*, 2019, vol. 362, p. 413-421. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.01.046>
36. MAITY, Sourav; BISWAS, Rimi; SARKAR, Angana. Comparative valuation of groundwater quality parameters in Bhojpur, Bihar for arsenic risk assessment. *Chemosphere*, 2020, vol. 259, p. 127398. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127398>
37. MARTIN, Elizabeth, et al. Metabolomic characteristics of arsenic-associated diabetes in a prospective cohort in Chihuahua, Mexico. *Toxicological Sciences*,

2015, vol. 144, no 2, p. 338-346. Disponible en:
<https://doi.org/10.1093/toxsci/kfu318>

- 38.** MAYER, Jonathan E.; GOLDMAN, Rose H. Arsenic and skin cancer in the USA: The current evidence regarding arsenic-contaminated drinking water. *International journal of dermatology*, 2016, vol. 55, no 11, p. e585-e591. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/ijd.13318>
- 39.** MAZUMDER, Muhammad Khairujjaman; MOULICK, Debojyoti; CHOUDHURY, Shuvasish. Iron (Fe³⁺)-mediated redox responses and amelioration of oxidative stress in cadmium (Cd²⁺) stressed mung bean seedlings: a biochemical and computational analysis. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 2022, vol. 31, no 1, p. 49-60. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13562-021-00654-4>
- 40.** MÉNDEZ, JR Rangel, et al. Adsorbentes híbridos oxihidróxidos metálicos-carbón para remover contaminantes prioritarios del agua: fluoruro y arsénico. *Boletín del Grupo Español del Carbón*, 2015, no 36, p. 11-16. ISSN-e 2172-6094
- 41.** MONDAL, Monoj Kumar; GARG, Ravi. A comprehensive review on removal of arsenic using activated carbon prepared from easily available waste materials. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, vol. 24, no 15, p. 13295-13306. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8842-7>
- 42.** MOULICK, Debojyoti, et al. Rice Grain Quality Traits: Neglected or Less Addressed?. En *Rice Research for Quality Improvement: Genomics and Genetic Engineering*. Springer, Singapore, 2020. p. 729-745. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-981-15-4120-9_29
- 43.** MOULICK, Debojyoti, et al. Salinity Stress Responses in Three Popular Field Crops Belonging to Fabaceae Family: Current Status and Future Prospect. En *The Plant Family Fabaceae*. Springer, Singapore, 2020. p. 519-541. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-981-15-4752-2_20
- 44.** NGUYEN, Thi Hai, et al. Laterite as a low-cost adsorbent in a sustainable decentralized filtration system to remove arsenic from groundwater in Vietnam.

Science of The Total Environment, 2020, vol. 699, p. 134267. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134267>

45. OCIŃSKI, Daniel, et al. Water treatment residuals containing iron and manganese oxides for arsenic removal from water—Characterization of physicochemical properties and adsorption studies. *Chemical Engineering Journal*, 2016, vol. 294, p. 210-221. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.02.111>
46. OZOLA, Ruta, et al. FeOOH-modified clay sorbents for arsenic removal from aqueous solutions. *Environmental Technology & Innovation*, 2019, vol. 13, p. 364-372. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2016.06.003>
47. PACE, Clare, et al. Monomethylarsonous acid, but not inorganic arsenic, is a mitochondria-specific toxicant in vascular smooth muscle cells. *Toxicology In Vitro*, 2016, vol. 35, p. 188-201. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2016.06.006>
48. MAZIARZ, Paulina, et al. Highly effective magnet-responsive LDH-Fe oxide composite adsorbents for As (V) removal. *Chemical Engineering Journal*, 2019, vol. 362, p. 207-216. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.01.017>
49. PILLAI, Parwathi, et al. Removal of arsenic using iron oxide amended with rice husk nanoparticles from aqueous solution. *Materials Today: Proceedings*, 2020, vol. 28, p. 830-835. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.12.307>
50. POMEROY, Claire; SANFILIPPO, Fred. How research can and should inform public policy. En *The transformation of academic health centers*. Academic Press, 2016. p. 179-191. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800762-4.00018-9>
51. QUARATO, Marco, et al. Air pollution and public health: A PRISMA-compliant systematic review. *Atmosphere*, 2017, vol. 8, no 10, p. 183. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/atmos8100183>
52. RASHEED, Hifza, et al. Arsenic species in wheat, raw and cooked rice: Exposure and associated health implications. *Science of the Total*

Environment, 2018, vol. 634, p. 366-373. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.339>

- 53.** RATHORE, Vineet Kumar; MONDAL, Prasenjit. Stabilization of arsenic and fluoride bearing spent adsorbent in clay bricks: Preparation, characterization and leaching studies. Journal of environmental management, 2017, vol. 200, p. 160-169. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.081>
- 54.** REZANIA, Shahabaldin, et al. Nitrile-calixarene grafted magnetic graphene oxide for removal of arsenic from aqueous media: Isotherm, kinetic and thermodynamic studies. Chemosphere, 2021, vol. 268, p. 129348. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129348>
- 55.** RUIZ-ÁNGEL, María José; CARDA-BROCH, Samuel; GARCÍA-ÁLVAREZ-COQUE, M. C. Ionic liquids as mobile phase additives and immobilized on stationary phases in liquid chromatography. En Ionic Liquids in Analytical Chemistry. Elsevier, 2022. p. 203-234. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823334-4.00003-5>
- 56.** SAHA, Bedabrata, et al. Advances in heavy metal-induced stress alleviation with respect to exogenous amendments in crop plants. En Priming and pretreatment of seeds and seedlings. Springer, Singapore, 2019. p. 313-332. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-981-13-8625-1_15
- 57.** SAINT-JACQUES, Nathalie, et al. Estimating the risk of bladder and kidney cancer from exposure to low-levels of arsenic in drinking water, Nova Scotia, Canada. Environment international, 2018, vol. 110, p. 95-104. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.10.014>
- 58.** SAHOO, Smita, et al. Seed priming and seedling pre-treatment induced tolerance to drought and salt stress: recent advances. Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings, 2019, p. 253-263. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-981-13-8625-1_12
- 59.** SARKAR, Arpan; PAUL, Biswajit; DARBHA, Gopala Krishna. The groundwater arsenic contamination in the Bengal Basin-A review in brief. Chemosphere,

2022, p. 134369. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134369>

- 60.** SARMAH, Susmita, et al. Adsorption of As (V) from Water over a Hydroxyl-Alumina Modified Paddy Husk Ash Surface and Its Sludge Immobilization. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2019, vol. 230, no 2, p. 1-14. Disponible en:
<https://doi.org/10.1007/s11270-019-4088-y>
- 61.** SHERLALA, A. I. A., et al. Adsorption of arsenic using chitosan magnetic graphene oxide nanocomposite. *Journal of environmental management*, 2019, vol. 246, p. 547-556. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.117>
- 62.** SHRIVASTAVA, Anamika, et al. Arsenic contamination in soil and sediment in India: sources, effects, and remediation. *Current Pollution Reports*, 2015, vol. 1, no 1, p. 35-46. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40726-015-0004-2>
- 63.** SIDDIQUI, Sharf Ilahi; CHAUDHRY, Saif Ali. Iron oxide and its modified forms as an adsorbent for arsenic removal: a comprehensive recent advancement. *Process Safety and Environmental Protection*, 2017, vol. 111, p. 592-626. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.08.009>
- 64.** SIMEONIDIS, Konstantinos, et al. Regeneration of arsenic spent adsorbents by Fe/MgO nanoparticles. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 2017, vol. 92, no 8, p. 1876-1883. Disponible en:
<https://doi.org/10.1002/jctb.5187>
- 65.** SODHI, Kushneet Kaur, et al. Perspectives on arsenic toxicity, carcinogenicity and its systemic remediation strategies. *Environmental Technology & Innovation*, 2019, vol. 16, p. 100462. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100462>
- 66.** SOUZA, Ana Cláudia Ferreira, et al. Arsenic aggravates oxidative stress causing hepatic alterations and inflammation in diabetic rats. *Life sciences*, 2018, vol. 209, p. 472-480. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.lfs.2018.08.054>

- 67.** SRIVASTAVA, Sudhakar, et al. Arsenic toxicity in rice (*Oryza sativa* L.) is influenced by sulfur supply: impact on the expression of transporters and thiol metabolism. *Geoderma*, 2016, vol. 270, p. 33-42. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.11.006>
- 68.** SUN, Jianqiang, et al. Preparation of Fe–Co based MOF-74 and its effective adsorption of arsenic from aqueous solution. *Journal of Environmental Sciences*, 2019, vol. 80, p. 197-207. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.12.013>
- 69.** SUN, Yaofei; ZHOU, Quan; ZHENG, Jie. Nephrotoxic metals of cadmium, lead, mercury and arsenic and the odds of kidney stones in adults: an exposure-response analysis of NHANES 2007–2016. *Environment international*, 2019, vol. 132, p. 105115. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105115>
- 70.** TRESINTSI, Sofia, et al. A novel approach for arsenic adsorbents regeneration using MgO. *Journal of hazardous materials*, 2015, vol. 265, p. 217-225. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.12.003>
- 71.** VENCES-ALVAREZ, Esmeralda; CHAZARO-RUIZ, Luis F.; RANGEL-MENDEZ, J. Rene. New bimetallic adsorbent material based on cerium-iron nanoparticles highly selective and affine for arsenic (V). *Chemosphere*, 2022, vol. 297, p. 134177. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134177>
- 72.** VIMERCATI, Luigi, et al. Environmental exposure to arsenic and chromium in an industrial area. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, vol. 24, no 12, p. 11528-11535. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8827-6>
- 73.** WANG, Ting, et al. Cu doped Fe₃O₄ magnetic adsorbent for arsenic: synthesis, property, and sorption application. *RSC Advances*, 2015, vol. 5, no 62, p. 50011-50018. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C5RA03951G>
- 74.** NATH, B. K.; CHALIHA, C.; KALITA, E. Iron oxide Permeated Mesoporous rice-husk nanobiochar (IPMN) mediated removal of dissolved arsenic (As):

Chemometric modelling and adsorption dynamics. Journal of environmental management, 2019, vol. 246, p. 397-409. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.008>

- 75.** WANG, Yulong, et al. Simultaneous removal and oxidation of arsenic from water by δ -MnO₂ modified activated carbon. Journal of Environmental Sciences, 2020, vol. 94, p. 147-160. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.03.006>
- 76.** WEBSTER, Tara M., et al. Anaerobic disposal of arsenic-bearing wastes results in low microbially mediated arsenic volatilization. Environmental science & technology, 2016, vol. 50, no 20, p. 10951-10959. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02286>
- 77.** WEI, Jinshan, et al. Selenium and arsenic removal from water using amine sorbent, competitive adsorption and regeneration. Environmental Pollution, 2021, vol. 274, p. 115866. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115866>
- 78.** YADAV, Manoj Kumar, et al. A review on the management of arsenic-laden spent adsorbent: Insights of global practices, process criticality, and sustainable solutions. Environmental Technology & Innovation, 2022, p. 102500. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102500>
- 79.** YIN, Shiqian, et al. Current knowledge on molecular mechanisms of microorganism-mediated bioremediation for arsenic contamination: A review. Microbiological Research, 2022, p. 126990. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.126990>
- 80.** ZENG, Huiping, et al. Optimization and regeneration of chitosan-alginate hybrid adsorbent embedding iron-manganese sludge for arsenic removal. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2020, vol. 607, p. 125500. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.125500>
- 81.** ZHANG, Gaosheng, et al. Efficient arsenic (III) removal from aqueous solution by a novel nanostructured iron-copper-manganese trimetal oxide. Journal of

Molecular Liquids, 2020, vol. 309, p. 112993. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.112993>

ANEXOS

Anexo 1: Ficha de análisis de contenido

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO
---	---------------------------------------

TITULO:

PAGINAS UTILIZADAS	AÑO DE PUBLICACIÓN	LUGAR DE PUBLICACIÓN
TIPO DE INVESTIGACIÓN:	AUTOR (ES):	
CÓDIGO		
PALABRAS CLAVES		
TIPOS DE ADSORBENTES APLICADOS		
PROCESO DE REGENERACIÓN DE LOS ADSORBENTES		
USO LOS ADSORBENTES		
RESULTADOS		
CONCLUSIONES:		