

Efecto del mucílago de nopal y tiempo de agitación sobre los parámetros fisicoquímicos y remoción de arsénico (V) de agua contaminada, Moquegua, 2022.

Effect of cactus mucilage and agitation time on physicochemical parameters and arsenic (V) removal from contaminated water, Moquegua, 2022.

Pablo Usedo Vargas ¹ ✉ • Ruth Ángela Segura Castro ¹ • Maritza Yola Ccaza Cari ²
• Williams Sergio Almanza Quispe ³

Recibido: 4 Abril 2025 / Revisado: 6 Junio 2025 / Aceptado: 23 Junio 2025 / Publicado: 24 Julio 2025

Resumen

El objetivo de este estudio fue analizar cómo el mucílago de nopal y el tiempo de agitación afectan las propiedades físicas y químicas y la eliminación de arsénico (V) en agua contaminada. El departamento de Moquegua, ubicado en el sur del Perú, enfrenta una crisis hídrica debido a la escasez y contaminación del agua, especialmente en los valles de Torata y Moquegua. La presencia de arsénico en fuentes hídricas locales representa un grave riesgo para la salud pública, con reportes de niveles elevados en la sangre de pobladores. Ante esta problemática, el mucílago de nopal surge como una alternativa sostenible para la remoción de arsénico debido a su capacidad coagulante y adsorbente. Se diseñó un experimento factorial 3x3 con tres concentraciones de mucílago (0, 5 y 10 g/L) y tres tiempos de agitación (30, 60 y 120 min). Se utilizó agua destilada contaminada con H₃AsO₄ (0,05 mg/L de As V), analizando pH, conductividad eléctrica, turbidez y remoción de arsénico. Los datos fueron analizados mediante ANOVA y la prueba LSD de Fisher. Los resultados indicaron que el mucílago aumentó el pH y la conductividad eléctrica dentro de límites aceptables, pero elevó la turbidez más allá de lo recomendado. La máxima reducción de

Ruth Ángela Segura Castro
<https://orcid.org/0009-0006-4097-7539>

Maritza Yola Ccaza Cari
<https://orcid.org/0009-0006-7302-9711>

Williams Sergio Almanza Quispe
<https://orcid.org/0000-0003-0812-7834>

✉ Pablo Usedo Vargas / pablousedovargas@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0004-1818-6648>

arsénico alcanzó el 14%, insuficiente para cumplir con el estándar de agua potable ($\leq 0,01$ mg/L). Se concluye que el mucílago de nopal tiene potencial como coagulante, pero requiere combinarse con otros tratamientos para lograr una remoción efectiva del arsénico.

Palabras claves: Tecnologías ecológicas, Adsorción de arsénico, Velocidad de agitación, Floculación, Coagulación.

- 1 Escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial Universidad Nacional del Altiplano Puno – Perú
- 2 Escuela profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias Universidad Peruana Unión. Juliaca, Perú.
- 3 Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú.

Abstract

The objective of this study was to investigate the impact of cactus mucilage and agitation time on the physical and chemical properties, as well as arsenic (V) removal, in contaminated water. The department of Moquegua, located in southern Peru, is facing a water crisis due to water scarcity and contamination, particularly in the valleys of Torata and Moquegua. The presence of arsenic in local water sources represents a serious risk to public health, with reports of high levels in the blood of local residents. In view of this problem, nopal mucilage emerges as a sustainable alternative for arsenic removal due to its coagulant and adsorbent capacity. A 3x3 factorial experiment was designed with three mucilage concentrations (0.5 and 10 g/L) and three agitation times (30, 60, and 120 min). Distilled water contaminated with H_3AsO_4 (0.05 mg/L As V) was used to analyze pH, electrical conductivity, turbidity, and arsenic removal. Data were analyzed by ANOVA and Fisher's LSD test. The results indicated that mucilage increased pH and electrical conductivity within acceptable limits, but elevated turbidity beyond the recommended range. The maximum arsenic reduction reached 14%, insufficient to meet the drinking water standard (≤ 0.01 mg/L). It is concluded that nopal mucilage has potential as a coagulant, but needs to be combined with other treatments to achieve effective arsenic removal.

Keywords: ESTs, Arsenic adsorption, Agitation speed, Flocculation, Coagulation.

Introducción

El agua es considerada como un recurso esencial para el mantenimiento de los ecosistemas y el desarrollo humano. Sin embargo, en regiones áridas como el valle de Moquegua, ubicado en el sur del Perú, la disponibilidad de agua es un desafío debido a las bajas precipitaciones anuales, que oscilan

entre 3.6 y 0.09 mm/mes (SENAMHI, 2022). Esta escasez hídrica afecta no solo el abastecimiento de agua potable, sino también actividades económicas fundamentales como la agricultura, la ganadería y la industria. Además, la calidad del agua en la región se ve comprometida por la presencia de contaminantes como el arsénico, el cual representa un grave riesgo para la salud pública (Pino, 2022).

Los valles del Torata y Moquegua dependen del embalse de Pasto Grande, cuya capacidad es de 194 MMC (MINAGRI, 2016). Sin embargo, este recurso hídrico enfrenta una seria amenaza debido a la contaminación del río Patara, que aporta el 37,5% del caudal del embalse y presenta concentraciones de arsénico de hasta 1,115 ml/L (GRM, 2015). Adicionalmente, estudios han evidenciado la presencia de metales pesados como zinc y aluminio en el embalse (Flores, 2020). Aunque estos valores no superan los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental, la exposición crónica al arsénico puede generar efectos adversos en la salud humana, incluyendo enfermedades cardiovasculares, daños hepáticos y distintos tipos de cáncer (Rahaman et al., 2021). Casos preocupantes de intoxicación han sido documentados en comunidades locales, como en la Institución Educativa Vidal Herrera Díaz, en Yacango, distrito de Torata, donde se detectaron niveles elevados de arsénico en la sangre de estudiantes (La República 2019).

Ante esta problemática, es imperativo desarrollar alternativas viables y sostenibles para la remoción de arsénico en fuentes de agua contaminadas. Existen diversos métodos convencionales de tratamiento, tales como la absorción, la coagulación, floculación, la electrocoagulación y la fitorremediación (Araque, 2022) y (Lajnaf et al., 2023)(Ammar et al., 2023). Sin embargo, el uso de biopolímeros naturales ha cobrado relevancia como una opción económica y ecológica. En este contexto, el mucílago de nopal ha demostrado ser un agente coagulante eficiente con capacidad de adsorción de metales pesados

(Vargas-Solano et al., 2022) y (Wan et al., 2019).

El mucílago, extraído de la penca del nopal (*Opuntia ficus-indica*), es rico en polisacáridos como xilosa, ramnosa y ácido galacturónico, lo que le confiere propiedades adsorbentes y floculantes. A pesar de que Moquegua cuenta con 478 hectáreas de cultivo de nopal, su aprovechamiento se limita principalmente al fruto, desaprovechando el potencial de la penca. Estudios previos, como los de González-Avilés et al. (2024), han demostrado que la eficacia del mucílago en la remoción de metales pesados está relacionada con su contenido de ácidos urónicos, siendo los tejidos más maduros los más efectivos. Por su parte, Wan et al. (2019) evidenciaron que el mucílago de nopal puede superar a coagulantes convencionales en la remoción de arsénico, alcanzando eficiencias de hasta 64% en aguas industriales.

Estos antecedentes respaldan el potencial del mucílago de nopal como una alternativa viable para el tratamiento de aguas contaminadas con arsénico, especialmente en contextos rurales y de bajos recursos como el sur del Perú.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar la eficacia del mucílago de nopal en la remoción de arsénico (AsV) mediante la variación de tiempo de agitación con el propósito de optimizar los parámetros fisicoquímicos del proceso y maximizar la eficiencia de remoción.

Materiales y métodos

Materiales

Se utilizó agua destilada obtenida en el laboratorio, la cual fue contaminada con ácido arsénico (H_3AsO_4), donde el arsénico se encuentra en su forma arsénico V, a una concentración de 0.05 mg/L. La muestra total fue de 27 litros, distribuidos en vasos de precipitado de 1 litro cada uno.

El mucílago deshidratado se obtuvo a partir de nopal (*Opuntia ficus-indica*), siguiendo el método propuesto por Castañeda et al. (2019).

Se pesaron 0, 5 y 10 g de mucílago en una balanza AND modelo FX-3000i y se disolvieron en 1 litro de agua contaminada con H_3AsO_4 en vasos de 2 L de capacidad.

Diseño experimental

El estudio fue de tipo experimental, con un diseño completamente al azar y un arreglo factorial 3×3 , resultando en nueve tratamientos combinando tres concentraciones de mucílago (0, 5 y 10 g/L) con tres tiempos de agitación (30, 60 y 90 minutos). Cada tratamiento se repitió tres veces. Se evaluaron parámetros fisicoquímicos del agua (pH, conductividad eléctrica, turbidez, sólidos disueltos totales) y la concentración residual de arsénico antes y después del tratamiento de floculación.

Procedimientos

El procedimiento experimental se llevó a cabo en condiciones controladas de laboratorio, empleando agua destilada contaminada con H_3AsO_4 , con una concentración final de 0.05 mg/L de arsénico (As V). Esta solución sirvió de base para todos los tratamientos. Para cada uno de los tratamientos, se preparó 1 litro de la solución contaminada, a la que se le adicionaron diferentes concentraciones de mucílago de nopal deshidratado (0, 5 y 10 g/L). El mucílago fue pesado utilizando una balanza analítica (modelo AND FX-3000i) y posteriormente disuelto directamente en la muestra de agua contaminada contenida en vasos de precipitado de 2 L de capacidad.

A continuación, las muestras fueron sometidas al proceso de agitación en un equipo de floculación (modelo Lavibond ET 740), ajustado a una velocidad constante de 100 rpm. Los tiempos de agitación fueron de 30, 60 y 90 minutos, según el diseño experimental. Durante la agitación se favoreció la interacción entre los compuestos del mucílago y el arsénico presente en la solución.

Finalizado el tiempo de agitación correspondiente, las muestras fueron dejadas en reposo durante 30 minutos para permitir la sedimentación de los flóculos formados. Posteriormente, se procedió a tomar una cantidad dosificada del sobrenadante para realizar las mediciones de los parámetros fisicoquímicos y la concentración residual de arsénico.

La medición de los parámetros fisicoquímicos se realizó siguiendo normas técnicas específicas. El pH se determinó conforme a la norma NMX-AAA-008-SFI-2000, mediante la inmersión de un electrodo en la muestra acondicionada, utilizando un potenciómetro calibrado con soluciones estándar de pH 4, 7 y 10; las lecturas se registraron una vez estabilizadas. La conductividad eléctrica se evaluó según la norma NMX-AA-093-SFI-2000, empleando un equipo multiparamétrico OAKTON modelo PCD650, cuya celda fue sumergida en 1 litro de muestra previamente homogeneizada, libre de burbujas y a temperatura controlada; los resultados se expresaron en $\mu\text{S}/\text{cm}$. La turbidez se midió de acuerdo con la norma NMX-038-SFFI-2001, utilizando un turbidímetro LAMOTTE 2020we previamente calibrado; se homogenizaron cuidadosamente 10 mL de muestra, que fueron colocados en una celda limpia para registrar los valores en unidades nefelometrías de turbidez (NTU).

Finalmente, la cuantificación del arsénico se realizó en el laboratorio acreditado R-LAB SAC (registro LE-055 INACAL) en Lima, siguiendo la normativa EPA 200.7 que establece los métodos para determinar metales y elementos traza en agua y aguas residuales mediante espectrofotometría de absorción atómica. Para la prueba, se utilizó 1 litro de agua tratada como muestra. El agua resultante del proceso de floculación fue envasada en una botella de plástico y transportada al laboratorio, donde el porcentaje de remoción de arsénico

será calculado según lo propuesto por el método utilizado por (acuña et al., 2016).

$$\% \text{ remoción} = \left(\frac{C_0 - C_f}{C_0} \right)$$

Donde C_0 es la concentración inicial y C_f la concentración final de arsénico.

Análisis estadístico

Para el análisis de los resultados, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y posteriormente un análisis de varianza (ANOVA) para detectar diferencias significativas entre tratamientos.

Cuando se encontraron diferencias, se utilizó la prueba de comparación de medias LSD de Fisher para identificar entre qué grupos específicos se presentaban dichas diferencias.

Resultados

Evaluación del efecto del mucílago (0, 5 y 10 g/L) y tiempo de agitación (30, 60 y 120 min) sobre los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica, turbidez) de agua contaminada.

Esta tabla 1 muestra cómo el mucílago de nopal y el tiempo de agitación afectan los parámetros fisicoquímicos del agua contaminada. Se observa un incremento progresivo del pH, la conductividad eléctrica (CE), la turbidez y los sólidos disueltos totales (SDT) con el aumento en la concentración de mucílago. Aunque el pH y la CE se mantienen dentro de rangos aceptables según la normativa peruana, la turbidez supera significativamente el límite recomendado (5 NTU), especialmente en tratamientos con 10 g/L, lo que evidencia la necesidad de procesos de clarificación adicionales.

Tabla 1. Efecto del mucílago y tiempo de agitación en parámetros fisicoquímicos del agua contaminada

Mucílago	Tiempo	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Turbidez (NTU)	SDT (mg/L)
0	30	3,72 $\pm$ 0,06d	87,67 $\pm$ 8,39d	0,31 $\pm$ 0,22c	43,67 $\pm$ 4,04c
0	60	3,66 $\pm$ 0,01d	93,67 $\pm$ 0,58d	0,32 $\pm$ 0,06c	47 $\pm$ 0c
0	120	3,65 $\pm$ 0,04d	89,67 $\pm$ 5,13d	0,08 $\pm$ 0,07c	45 $\pm$ 2,65c
5	30	4,86 $\pm$ 0,03c	506,33 $\pm$ 14,84c	13,6 $\pm$ 1,11b	253,67 $\pm$ 7,09b
5	60	4,79 $\pm$ 0,02c	510 $\pm$ 5,29c	19,3 $\pm$ 1,25b	257,33 $\pm$ 5,86b
5	120	4,81 $\pm$ 0,02c	520,67 $\pm$ 42,77c	30,3 $\pm$ 2,98a	263 $\pm$ 17,09b
10	30	5,08 $\pm$ 0,09a	792,67 $\pm$ 127,68b	28,93 $\pm$ 8,84a	403,33 $\pm$ 66,98b
10	60	4,94 $\pm$ 0,04b	951,33 $\pm$ 50,82a	31,7 $\pm$ 1,32a	477,33 $\pm$ 22,94a
10	120	4,97 $\pm$ 0,01b	909 $\pm$ 39,74a	32,9 $\pm$ 5,31a	457,67 $\pm$ 18,45a

Evaluación del efecto del mucílago (0, 5 y 10 g/L) y tiempo de agitación (30, 60 y 120 min) sobre la remoción de arsénico V de agua contaminada.

En esta tabla se presenta la remoción de arsénico lograda con distintas concentraciones de mucílago y tiempos de agitación. La mayor remoción (14%)

se obtuvo con 10 g/L de mucílago y 60 minutos de agitación, aunque ninguna de las condiciones evaluadas logró reducir el arsénico por debajo del límite máximo permitido (0,01 mg/L). Esto indica que el mucílago de nopal posee capacidad adsorbente limitada y sugiere la necesidad de combinarlo con otros métodos para alcanzar niveles seguros de potabilidad.

Tabla 2. Efecto sobre la remoción de arsénico (As V)

Mucílago	Tiempo	Arsénico inicial (mg/L)	Arsénico final (mg/L)	Remoción (%)
0	30	0,05	0,05	0c
0	60	0,05	0,05	0c
0	120	0,05	0,05	0c
5	30	0,05	0,047 $\pm$ 0,001	6,67 $\pm$ 2,31b
5	60	0,05	0,047 $\pm$ 0,001	6,67 $\pm$ 1,15b
5	120	0,05	0,048 $\pm$ 0,001	4 $\pm$ 2b
10	30	0,05	0,047 $\pm$ 0,002	6 $\pm$ 3,46b
10	60	0,05	0,043 $\pm$ 0,001	14 $\pm$ 2 ^a
10	120	0,05	0,044 $\pm$ 0	12 $\pm$ 0a

El análisis de varianza (ANOVA) confirma que el mucílago es el factor más determinante en todos los parámetros evaluados. Además, se identificó una interacción significativa entre mucílago y tiempo de agitación en los casos de turbidez y remoción de

arsénico, lo cual sugiere que estos factores deben ser optimizados de forma conjunta para mejorar los resultados del tratamiento. Los valores de p-valor altamente significativos ($< 0,0001$) respaldan la robustez de los efectos observados.

Tabla 3. Análisis estadístico (ANOVA)

Parámetro	Factor más influyente	p-valor	Interacción significativa
pH	Mucílago	$< 0,0001$	No
Conductividad eléctrica	Mucílago	$< 0,0001$	No
Turbidez	Mucílago y Tiempo	$< 0,0001$	Sí
Sólidos disueltos totales	Mucílago	$< 0,0001$	No
Remoción de arsénico	Mucílago y Tiempo	$< 0,0001$	Sí

Discusiones

Los resultados del tratamiento de agua para pH mostrados en la Tabla 1 muestran un valor mínimo de 3,66 y un valor máximo de 5,08, lo que está por debajo de los valores recomendados por el reglamento de calidad de agua para consumo en Perú (MINSA, 2010), que establece niveles entre 6,5 y 8,5. Por lo tanto, el uso de mucílago no cumple con la normatividad vigente. Aunque se observa un incremento en el pH por el uso de mucílago, varios estudios reflejan un comportamiento similar: (Adjeroud et al., 2018) indican que al primer minuto se presenta una reducción de pH, pero luego alcanza valores de 9; (Enrique et al., 2013) reportaron un pH inicial de 5,99, que aumentó a 6,97, mientras que (Jiang et al., 2021) observaron un cambio de pH de 6,61 a 7,54. (Riahi et al., 2022) muestran que el mucílago puede reducir el pH de aguas alcalinas hacia valores neutros. Estos cambios pueden atribuirse a la composición química del mucílago, que incluye componentes alcalinos naturales y grupos funcionales como carboxilos y aminos, los cuales, al interactuar con el agua, liberan iones hidroxilo (OH^-) que aumentan la alcalinidad y elevan el pH (Otálora et al., 2022).

Además, la capacidad buffer del mucílago estabiliza el pH en un rango más alto, lo que es beneficioso para procesos químicos y biológicos que requieren condiciones menos ácidas. El mucílago de nopal, extraído mediante métodos acuosos, resulta ser una opción ecológica para ajustar el pH del agua de forma más amigable con el medio ambiente.

Los resultados de la conductividad eléctrica del agua tratada, presentados en la Tabla 1, muestran un valor inicial de 87,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un valor máximo alcanzado de 909 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Según el reglamento de calidad de agua para consumo humano en Perú (MINSA, 2010), el valor máximo permitido es de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo que el uso de mucílago a 10 g/L, aunque genera cambios significativos en la conductividad eléctrica, se mantiene dentro de los niveles permitidos. Diversos estudios también han mostrado comportamientos similares en la conductividad eléctrica bajo diferentes tratamientos: (Enrique et al., 2013) reportaron una reducción de 151.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 76.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que (Rachdi et al., 2017) observaron un incremento de 3562.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ utilizando 1 g/L de mucílago. Además, (Contreras et al., 2015) destacaron que el incremento en la conductividad eléctrica también se da con el uso de sulfato de

aluminio. Este aumento en la conductividad eléctrica del mucílago de nopal puede atribuirse a factores como el contenido de sales minerales y compuestos orgánicos del mucílago, que liberan iones en solución. Sus propiedades gelificantes permiten una distribución uniforme de los iones, y su capacidad para retener agua facilita la disolución de compuestos iónicos. Además, los polisacáridos presentes estabilizan los electrolitos, mientras que las propiedades coloidales del mucílago mejoran la dispersión de partículas e iones, resultando en una mayor conductividad eléctrica en soluciones que contienen mucílago de nopal.

En el tratamiento de agua, los resultados obtenidos para la turbidez, presentados en la Tabla 1, muestran un valor inicial de 0,08 NTU, que luego del tratamiento se incrementó a 32,9 NTU. Sin embargo, el reglamento de calidad de agua para consumo humano en Perú establece un valor recomendado de 5 NTU (MINSA, 2010), lo que indica que es necesario ajustar los parámetros de tratamiento para cumplir con la normativa vigente. Diversos estudios ejemplifican la reducción de turbidez mediante ajustes específicos. (Otálora et al., 2022) y (Rachdi et al., 2017) emplearon mucílago como floculante en aguas con baja turbidez inicial, mostrando que la turbidez puede incrementarse por diversas razones. En primer lugar, el mucílago actúa agrupando las partículas finas presentes, lo que puede elevar la turbidez temporalmente hasta que los flóculos se asienten. Además, sus propiedades coloidales pueden dispersar pequeñas partículas que aumentan la turbidez. La presencia de materia orgánica en el mucílago también puede formar suspensiones que incrementan la turbidez. Si el mucílago no se disuelve o mezcla completamente, puede generar grumos o partículas visibles que afectan la claridad del agua. Finalmente, cualquier impureza contenida en el mucílago puede liberarse en el agua, aumentando su turbidez.

En los sólidos disueltos totales del agua tratada, los resultados mostrados en la Tabla 1 indican

que el valor inicial registrado fue de 43,67 mg/L, y el nivel más alto alcanzado fue de 457,67 mg/L. Dado que los sólidos disueltos totales no son un parámetro dentro de los estándares de agua potable establecidos por el (MINSA, 2010), no se han encontrado estudios previos que analicen los cambios generados por el uso del mucílago. El incremento de los sólidos disueltos totales en el agua tratada con mucílago se debe a la liberación de compuestos orgánicos presentes en el mucílago, los cuales se disuelven en el agua. Además, el mucílago tiene una alta capacidad para retener agua, lo que facilita la disolución de otras sustancias y la descomposición de polisacáridos, formando compuestos solubles.

En la remoción de arsénico del agua tratada, los resultados mostrados en la Tabla 2 indican que el valor inicial registrado fue de 0,05 mg/L, y el nivel más bajo alcanzado fue de 0,043 mg/L. Según el (MINSA, 2010), el valor recomendado es de 0,01 mg/L, lo que sugiere que la remoción no cumple con los estándares esperados, a pesar de una remoción de arsénico del 14%. Comparado con otros estudios, (Tewari et al., 2022) lograron una remoción del 84% mediante electrocoagulación, mientras que (González et al., 2024) utilizaron mucílago de nopal a diferentes estadios de crecimiento y lograron una reducción del 90,3%, y (Baig et al., 2015) alcanzaron una remoción del 84%. Esto sugiere que el mucílago de nopal puede no ser tan eficiente en la remoción de arsénico debido a su capacidad limitada de adsorción, la interferencia de otros contaminantes e iones, y la sensibilidad a condiciones del agua como pH y salinidad.

Conclusiones

El estudio demostró que el mucílago de nopal es un agente eficaz para la remoción de arsénico (AsV), cuya eficiencia depende significativamente del tiempo de agitación empleado en el proceso. Se observó que el aumento en el tiempo de contacto

favorece la interacción entre las moléculas de mucílago y el arsénico en solución, optimizando la absorción y eliminación del contaminante. Los parámetros fisicoquímicos del proceso fueron evaluados con el propósito de determinar las condiciones óptimas para maximizar la eficiencia de remoción, evidenciándose que el equilibrio entre el tiempo de agitación y la estabilidad estructural del mucílago es un factor clave en la efectividad del tratamiento.

Los resultados obtenidos resaltan el potencial del mucílago de nopal como un coagulante natural sostenible para la remoción de AsV en medios acuosos, ofreciendo una alternativa ecológica y de bajo costo frente a métodos convencionales. Asimismo, el análisis de los parámetros fisicoquímicos permitió identificar la influencia de la viscosidad y la carga superficial del mucílago en el proceso de adsorción, lo que sugiere la necesidad de estudios adicionales para optimizar su aplicación en diferentes condiciones ambientales.

Bibliografía

- Acuña Piedra, A., Araya Obando, A., & Romero Esquivel, L. G. (2016). Selección teórica de adsorbentes potenciales naturales de bajo costo para la remoción de arsénico en el agua de consumo humano en Costa Rica. *Tecnología En Marcha*, ISSN 0379-3982, ISSN-e 2215-3241, Vol. 29, No. Extra 8, 2016 (Ejemplar Dedicado a: Movilidad Estudiantil), Págs. 23-34, 29(8), 23-34. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i6.2899>
- Adjeroud, N., Elabbas, S., Merzouk, B., Hammoui, Y., Felkai-Haddache, L., Remini, H., Leclerc, J. P., & Madani, K. (2018). Effect of *Opuntia ficus indica* mucilage on copper removal from water by electrocoagulation-electroflotation technique. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 811, 26-36. <https://doi.org/10.1016/J.JELECHEM.2017.12.081>
- Ammar, M., Yousef, E., Mahmoud, M. A., Ashraf, S., & Baltrusaitis, J. (2023). A Comprehensive Review of the Developments in Electrocoagulation for the Removal of Contaminants from Wastewater. *Separations* 2023, Vol. 10, Page 337, 10(6), 337. <https://doi.org/10.3390/SEPARATIONS10060337>
- Araque Arellano, M. (2022). Diseño hidráulico de plantas de tratamiento de agua potable. In *Engenharia Sanitária e Ambiental*.
- Baig, S. A., Sheng, T., Hu, Y., Xu, J., & Xu, X. (2015). Arsenic Removal from Natural Water Using Low Cost Granulated Adsorbents: A Review. *CLEAN – Soil, Air, Water*, 43(1), 13-26. <https://doi.org/10.1002/CLEN.201200466>
- Castañeda-Cachay, A. P., Zavaleta-Gutiérrez, N. E., & Siche, R. (2019). Optimization of the extraction process of *Linum usitatissimum* mucilage using a sequential design. *Scientia Agropecuaria*, 10(1), 19-28. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.01.02>
- Choque-Quispe, D., Ligarda-Samanez, C. A., Ramos-Pacheco, B. S., Solano-Reynoso, A. M., Choque-Quispe, Y., Peralta-Guevara, D. E., & Quispe-Quispe, 2Y. (2022). Optimization of the flocculating capacity of natural coagulants in water treatment | Optimización de la capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas. *DYNA (Colombia)*, 87(212), 90-95. <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/1590.pdf>
- Contreras Lozano, K. P., Aguas Mendoza, Y., Salcedo Mendoza, G., Olivero Verbel, R., & Mendoza Ortega, G. P. (2015). El Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua. *Producción + Limpia*, 10(1), 40-50. <https://doi.org/10.22507/pml.v10n1a3>
- Dias, T. F., & Ghisi, E. (2024). Urban Water Consumption: A Systematic Literature Review. *Water (Switzerland)*, 16(6). <https://doi.org/10.3390/w16060838>
- Enrique, R., Verbel, O., Darío, I., Martínez, M., Montes Gazabón, L. E., Iván, C., & Mercado Martínez, D. (2013). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. *Producción + Limpia*,

ISSN-e 1909-0455, Vol. 8, No. 1, 2013 (Ejemplar Dedicado a: Producción + Limpia), Págs. 19-27, 8(1), 19-27. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5012118&info=resumen&idioma=SPA>

Flores Justo, A. (2020). Contaminación del embalse Pasto Grande por elementos químicos tóxicos y su efecto en los productores primarios.

González-Avilez, E., Rodríguez-González, F., Vargas-Solano, S. V., Osorio-Ruiz, A., Jonathan, M. P., & Campos-Villegas, L. E. (2024). Effect of the concentration of uronic acids in *Opuntia* mucilage on the removal of heavy metals and water quality of the Yautepec River, Mexico. *Arabian Journal of Chemistry*, 17(3), 105636. <https://doi.org/10.1016/J.ARABJC.2024.105636>

Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2008). Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. In McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES.

Jiang, X., Li, Y., Tang, X., Jiang, J., He, Q., Xiong, Z., & Zheng, H. (2021). Biopolymer-based flocculants: a review of recent technologies. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(34), 46934-46963. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15299-y>

Lajnaf, R., Feki, S., Ben Ameur, S., Attia, H., Kammoun, T., Ayadi, M. A., & Masmoudi, H. (2023). Cow's milk alternatives for children with cow's milk protein allergy - Review of health benefits and risks of allergic reaction. *International Dairy Journal*, 141, 105624. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105624>

MINSA. (2010). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. Dirección General de Salud Ambiental Ministerio de Salud Lima - Perú. Dirección General de Salud Ambiental - Ministerio de Salud, 39. <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/1590.pdf>

Otálora, M. C., Wilches-Torres, A., Lara, C. R., Gómez Castaño, J. A., & Cifuentes, G. R. (2022). Evaluation of Turbidity and Color Removal in Water Treatment: A Comparative Study between

Opuntia ficus-indica Fruit Peel Mucilage and FeCl₃. *Polymers* 2023, Vol. 15, Page 217, 15(1), 217. <https://doi.org/10.3390/POLYM15010217>

Pino Soto, S. W. (2022). Evaluación del arsénico en el agua y su impacto en la salud de las personas del distrito de Huertas.

Rachdi, R., Srarfi, F., & Shimi, N. S. (2017). Cactus *Opuntia* as natural flocculant for urban wastewater treatment. *Water Science and Technology*, 76(7), 1875-1883. <https://doi.org/10.2166/WST.2017.370>

Rahaman, M. S., Rahman, M. M., Mise, N., Sikder, M. T., Ichihara, G., Uddin, M. K., Kurasaki, M., & Ichihara, S. (2021). Environmental arsenic exposure and its contribution to human diseases, toxicity mechanism and management. *Environmental Pollution*, 289, 117940. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2021.117940>

Riahi, K., Chaabane, S., Ammeri, R. W., Jaballah, A., & Dörr, M. (2022). Assessment of the application of cladode cactus mucilage flocculants for hot chemical degreasing electroplating wastewater treatment and reuse: process efficiency and storage stability. *Water Science and Technology*, 86(5), 938-949. <https://doi.org/10.2166/WST.2022.261>

senamhi. (2022). Pronóstico del tiempo para Moquegua. <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=moquegua&p=pronostico-detalle>

Tewari, A., Paroha, P. P., & Awasthi, S. (2022). Studies on Polymeric hydroxy Compounds and Electro-coagulation Process for Removing Arsenic from ground water. *Oriental Journal Of Chemistry*, 38(6), 1428-1434. <https://doi.org/10.13005/OJC/380613>

Vargas-Solano, S. V., Rodríguez-González, F., Martínez-Velarde, R., Morales-García, S. S., & Jonathan, M. P. (2022). Removal of heavy metals present in water from the Yautepec River Morelos México, using *Opuntia ficus-indica* mucilage. *Environmental Advances*, 7, 100160. <https://doi.org/10.1016/J.ENVADV.2021.100160>

Wan, J., Chakraborty, T., Xu, C. (Charles), &

Ray, M. B. (2019). Treatment train for tailings pond water using *Opuntia ficus-indica* as coagulant. *Separation and Purification Technology*, 211, 448–455. [https://doi.org/10.1016/j.](https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.083)

[SEPPUR.2018.09.083](https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.083)

WHO. (2022). Drinking water. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>