



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.12

OCTUBRE - DICIEMBRE 2024

Artículo Científico

160 - 169



ARTÍCULO

Científico

## EVALUACIÓN DE CÁSCARAS DE MARACUYÁ Y SEMILLAS DE GUAYABA COMO BIOADSORBENTES PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO (III) EN AGUAS SUPERFICIALES

EVALUATION OF PASSION FRUIT PEELS AND GUAVA SEEDS AS BIOADSORBENTS FOR THE REMOVAL OF ARSENIC (III) IN SURFACE WATERS

**Lizbeth Pacari Romero**

lpacarir@unjbg.edu.pe

ORCID: 0000-0001-8907-8872

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna - Perú

**Leidy Martha Mariela Mita Mamani**

lmmmitam@unjbg.edu.pe

ORCID: 0000-0001-9272-7829

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna - Perú

**Karina Estefania Flores Choquemoroco**

kfloresc@unjbg.edu.pe

ORCID: 0000-0003-4687-9471

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna - Perú

**Aceptación:** 13 de Noviembre del 2024

**Publicación:** 4 de Diciembre del 2024

EVALUACIÓN DE CÁSCARAS DE MARACUYÁ Y SEMILLAS DE GUAYABA COMO BIOADSORBENTES PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO (III) EN AGUAS SUPERFICIALES

**Karina Estefania Flores Choquemoroco**

ORCID: 0000-0003-4687-9471

**Leidy Martha Mariela Mita Mamani**

ORCID: 0000-0001-9272-7829

**Lizbeth Pacari Romero**

ORCID: 0000-0001-8907-8872

<https://revista.scienceevolution.com/>

### RESUMEN

Este estudio investiga soluciones sostenibles para tratar aguas superficiales que son utilizadas como fuentes de consumo y abastecimiento con presencia de arsénico (III) con el objetivo de aprovechar las cáscaras de maracuyá y las semillas de guayaba modificadas como bioadsorbentes para la remoción de arsénico (As) en aguas superficiales de la provincia de Tacna, Perú. El estudio fue de tipo experimental, con un enfoque cuantitativo ya que se realizó la comparación de dos ensayos analizando su efectividad en la eliminación de As (III) en 500 ml de agua. Los resultados demostraron que las semillas de guayaba modificadas con  $Al_2(SO_4)_3$  tuvo mayor eficiencia en la remoción de As (III) con dosis de 3g, 7g y 10g siendo el mejor tratamiento con 3 gramos de adsorbente llegando a reducir de 0.152 ml/L a 0.128 ml/L de As (III). En comparación de la cáscara de maracuyá con dosis de 2g, 4g y 6g en donde la dosis de 6g fue la más efectiva, reduciendo la concentración de As de 0.0125 mg/L a 0.0112 mg/, en ambos casos influye el tamaño de partícula. En conclusión, la remoción de As (III) en aguas superficiales es viable.

### ABSTRACT

This study investigates sustainable solutions to treat surface waters that are used as sources of consumption and supply with the presence of arsenic (III) with the aim of using modified passion fruit peels and guava seeds as bioadsorbents for the removal of arsenic (As) in surface waters of the province of Tacna, Peru. The study was experimental, with a quantitative approach since the comparison of two tests was carried out analyzing their effectiveness in the elimination of As (III) in 500 ml of water. The results showed that guava seeds modified with  $Al_2(SO_4)_3$  had greater efficiency in the removal of As (III) with doses of 3 g, 7 g and 10 g, being the best treatment with 3 grams of adsorbent reaching a reduction from 0.152 ml/L to 0.128 ml/L of As (III). In comparison of passion fruit peel with doses of 2 g, 4 g and 6 g, where the 6 g dose was the most effective, reducing the As concentration from 0.0125 mg/L to 0.0112 mg/L, in both cases the particle size influences. In conclusion, the removal of As (III) in surface waters is viable.

**Palabras clave:** Arsénico (III); bioadsorbentes; remoción; soluciones sostenibles y tratamientos

**Keywords:** Arsenic (III); bioadsorbents; removal; sustainable solutions and treatments





## INTRODUCCIÓN

En la actualidad se ve una creciente preocupación por la contaminación del agua, debido a la presencia de As (III) en concentraciones elevadas lo que ha impulsado diversas investigaciones sobre métodos de remoción de este metal pesado utilizando materiales biológicos. Los metales pesados, que provienen tanto de procesos naturales como de actividades antropogénicas (Arciniega, 2023), representan un desafío significativo para la salud pública y el medio ambiente porque este metal genera un impacto negativo en ello, se ha evidenciado que la exposición prolongada al arsénico inorgánico mediante el consumo de agua contaminada con altas concentraciones de este elemento es cancerígena. Además, puede provocar diversos efectos negativos para la salud, incluyendo afecciones cardiovasculares, cutáneas, neurológicas, hepáticas, metabólicas y respiratorias (Fernández et al., 2022). En este contexto, la ciudad de Tacna, Perú, se enfrenta a una grave crisis hídrica, la falta de gobernabilidad y gestión efectiva en el manejo del agua subterránea ha sido un factor determinante en su sobreexplotación y en la degradación de su calidad, favoreciendo procesos como la intrusión marina. Esto ha llevado a que el estado del recurso hídrico pase de aceptable a deficiente, mostrando un deterioro vinculado al aumento en la extracción y a la disminución de la recarga de agua limpia y de calidad (Pino et al., 2020)

Al usar materiales biológicos para absorber este metal no solo se elimina o reduce la concentración de As (III), sino también mejora la turbidez del cuerpo de agua, considerando que en investigaciones previas se ha demostrado la eficacia de ciertos materiales biológicos para la adsorción de metales pesados en soluciones acuosas obteniendo resultados favorables (Borda, 2023).

La afectación de las aguas superficiales en la región de Tacna es una de las problemáticas hoy en día, mostrando un color semi oscuro por el arsénico que representa un problema latente para los ecosistemas y la salud humana (Bartra & Huanacuni, 2021). Sin embargo, la presencia de estos metales pesados en pequeñas cantidades suele ser imprescindible, pero resulta ser tóxica cuando la concentración supera los estándares para el consumo de los mismos (Ferrer, 2003); los síntomas que provoca son irritaciones en la piel, enfermedades cardiovasculares, alteraciones del ADN, cáncer al pulmón, hígado, vejiga (Ramírez et al., 2023). En la región de Tacna, el agua destinada para consumo humano enfrenta serios problemas de contaminación por arsénico (As), cuya presencia está estrechamente relacionada con la composición geológica de la zona, caracterizada por suelos volcánicos que contribuyen a la liberación natural de este elemento en las aguas subterráneas. Por lo tanto la bioadsorción fomenta la utilización de recursos naturales renovables y económicos que poseen propiedades adsorbentes, demostrando alta eficacia en la eliminación de varios contaminantes presentes en el agua (Torres et al., 2020).

Para afrontar este problema las plantas de tratamiento de aguas usan coagulantes químicos como el cloruro de hierro, sulfato de aluminio, sulfato de hierro, entre otros, para que así se pueda reducir o eliminar la concentración de As (III) en el cuerpo de agua (Vásquez et al., 2024).

En la ciudad de Tacna también se vio que se desaprovecha residuos agroindustriales potencialmente aprovechables (Reyes et al., 2022), y la mala gestión de estos residuos ocasiona que terminen en el vertedero municipal, por lo que su aprovechamiento impacta en la disminución de estos residuos y a su vez se utiliza como materia prima para reducir el problema de contaminación por As (III) presente en el cuerpo de agua.

La justificación de esta investigación radica en la necesidad de desarrollar nuevos métodos de tratamiento de aguas para poder reducir o eliminar la concentración de As (III) y que estas sean económicos y ecológicos, por lo que el buen uso de los materiales abundantes del lugar, tales como las semillas de guayaba y las cáscaras de maracuyá, siendo estos residuos agroindustriales no empleados eficientemente; una alternativa sostenible para el tratamiento de aguas con presencia de As (III), lo cual contribuye al cuidado del ambiente. Asimismo, al incorporar un enfoque basado en recursos renovables, se fomenta la economía circular y se promueve el uso responsable de los recursos naturales, al usar los residuos agroindustriales como materia prima para el tratamiento de aguas superficiales, lo que resulta beneficioso tanto para la población como para el ecosistema local (U.S. Congress, Office of Technology Assessment, 1993).

Por su parte, Ramos-Vargas et al., (2018) evaluaron la eficiencia de eliminación de fluoruros y arseniatos con las semillas de guayaba modificadas con aluminio. Como resultado, se obtuvo que las semillas modificadas tuvieron gran capacidad de adsorción de As (V) en tan solo 90 minutos debido a que la modificación dejó el pH de agua entre 4 a 5 llegando a absorber 4 mg/g de arsénico.



Por otro lado, Behera et al., (2022) realizaron una investigación con el objetivo de demostrar la eficiencia de adsorción del Arsénico (III) que tiene el polvo producido a partir de las hojas de guayaba. Se usó un Diseño Central Compuesto (CCD) de la Metodología de Superficie de Respuesta (RSM) en donde el polvo a partir de las hojas de guayaba se evalúa según a un método experimental de adsorción del Arsénico (III) Como resultados se obtuvieron una absorción de hasta el 90.88% de Arsénico (III), además de que los parámetros óptimos del tamaño de partícula es 039 mm, considerando que se tiene una relación directa entre la adsorción y el pH, es decir a mayor pH mayor absorción de Arsénico (III) y viceversa.

Mientras que, en su estudio Mohan et al., (2019) evaluaron un adsorbente a partir de la biomasa de los residuos de cáscara de mango, hojas de guayaba y bagazo en donde obtuvieron como resultados que el bagazo tiene mejor capacidades de remoción, seguido de las hojas de guayaba y la cáscara de mango las, además, las variables de la dosis tales como el pH y la dosis influyen en la remoción del As (III), pues los tres tratamientos absorbieron aproximadamente un 86% del As (III) en un pH alcalino de 8. Sin embargo, existe una relación indirecta con la dosis de tratamiento, ya que a mayor cantidad de adsorbente la eficiencia de adsorción disminuye drásticamente.

Por otra parte, Orozco et al., (2019) destacan que aprovechar los residuos orgánicos ofrece múltiples beneficios, ya que contribuye a reducir la contaminación y mejorar la gestión de residuos. Además, se propone utilizar materiales abundantes, como bioadsorbentes para la remoción de arsénico en aguas superficiales, proporcionando una solución económica y ecológica para el tratamiento de aguas contaminadas. Este enfoque promueve prácticas sostenibles y de economía circular, abordando la contaminación por metales pesados y mejorando la calidad del agua, lo que a su vez beneficia la salud pública y el bienestar de los ecosistemas locales.

Adicionalmente, San Martín et al., (2021), demuestran en su investigación las propiedades de dos arcillas y una zeolita natural de Ecuador para la remoción de arsénico (III) en soluciones acuosas. Los adsorbentes fueron caracterizados mediante DRX, FRX y área específica (Ae). La capacidad máxima de adsorción de As (III) fue mayor para las arcillas (13-15  $\mu\text{gAs/g}$ ) en comparación con la zeolita (5-6  $\mu\text{gAs/g}$ ). Aunque estos valores son menores que los reportados en la literatura, los sólidos estudiados son baratos, abundantes y requieren un proceso de preparación sencillo, lo que los convierte en una alternativa viable para la remoción de arsénico.

En paralelo, Fernandez et al., (2020), indican en su estudio que la cáscara de plátano demostró ser un adsorbente efectivo para la remoción de metales pesados en aguas, eliminando más del 92% pH 3 y 3,5. A concentraciones más altas de (40 y 80 mg/L), la capacidad de adsorción aumentó. Los resultados indicaron una adsorción favorable y eficiente, con un factor de separación RL entre 0,809 y 0,383.

Asimismo, Betancur et al., (2022), señalan que aprovechar residuos, en su caso mediante el uso de cáscaras de naranja, puede ser una estrategia efectiva y sostenible para el tratamiento de aguas residuales. Al desarrollar bioadsorbentes a partir de estos residuos mediante pirólisis, se demuestra que es posible crear materiales que no solo son comparables en eficiencia a un carbón activado comercial, sino que incluso superan su capacidad de remoción de contaminantes en ciertos parámetros. Esto indica que los bioadsorbentes derivados de residuos orgánicos pueden ofrecer una alternativa de bajo costo y eficiente para el tratamiento de aguas residuales, contribuyendo así a la gestión de residuos y a la sostenibilidad ambiental. En resumen, el estudio resalta el potencial de los residuos como materia prima valiosa en la creación de soluciones para problemas ambientales, como la contaminación del agua.

También, Jawad et al., (2023) explican que el uso de adsorbentes naturales, como la cáscara de naranja y la cáscara de atún, en lugar de adsorbentes químicos para la remoción de metales pesados, como el arsénico, de los efluentes residuales de las minas. La investigación demuestra que estos bioadsorbentes son altamente eficientes, alcanzando una remoción del 99.28% y 97.5% de arsénico, respectivamente, en condiciones óptimas. Al optar por residuos orgánicos, se promueve una solución más sostenible y económica, ya que estos materiales son abundantes y de bajo costo en comparación con los adsorbentes químicos. Además, el uso de adsorbentes naturales puede reducir el impacto ambiental asociado con la producción y el uso de productos químicos sintéticos, ofreciendo una alternativa favorable para la descontaminación de aguas, especialmente en contextos industriales como el de las actividades mineras.

Por último, Duany et al., (2022) indican que ciertos residuos orgánicos poseen propiedades de adsorción efectiva para la remoción de metales pesados, gracias a su composición química rica en componentes como pectina, celulosa y hemicelulosa. Se ha observado que la máxima capacidad de remoción se alcanza tras un tiempo de contacto específico con el agua contaminada, y que el pH del medio influye significativamente en la eficacia de la adsorción. Además, la capacidad de



bioadsorción puede verse afectada por la protonación o desprotonación de grupos funcionales en la estructura del residuo, lo que impacta en la magnitud de la adsorción. En general, estos residuos orgánicos presentan un gran potencial para el tratamiento de aguas residuales contaminadas.

En este contexto, el objetivo principal de esta investigación es aprovechar las cáscaras de maracuyá y las semillas de guayaba modificadas dándole un nuevo uso como bioadsorbentes de arsénico en aguas superficiales de la provincia de Tacna, Perú, para así poder reducir su concentración en el cuerpo de agua (Pino, 2019); ofreciendo así una alternativa de tratamiento del agua y a su vez el aprovechamiento de los residuos agroindustriales de la zona de manera sostenible.

## MÉTODO

### Área de estudio

Se realizó un estudio en las zonas la Cuenca Caplina ( con un área de 4239,09 km<sup>2</sup> ) y en la troncal del Río Uchusuma con coordenadas de 361430 mE 8001937 mS en el Departamento y Provincia de Tacna con un total de 2 muestras. Para la obtención de la muestra, se tomaron en cuenta investigaciones anteriores que evidenciaron problemas por la presencia de arsénico en estas aguas, específicamente en la zona de Calientes-Pachia y la Troncal del Río Uchusuma donde se procederá a realizar el muestreo siguiendo la normativa técnica peruana correspondiente.

**Tabla 1**  
Tratamientos del estudio

N°	Clave	Semillas de guayaba modificada		Clave	Cáscaras de maracuyá	
		Tratamiento	Dosis		Tratamiento	Dosis
1	T0	0 gr	0 gr + 500 ml de agua	T0	0 gr	0 gr + 500 ml de agua
2	T1	3 gr	3 gr + 500 ml de agua	T1	2 gr	2 gr + 500 ml de agua
3	T2	7 gr	7 gr + 500 ml de agua	T2	4 gr	4 gr + 500 ml de agua
4	T3	10 gr	10 gr + 500 ml de agua	T3	6 gr	6 gr + 500 ml de agua

### Procedimiento para el tratamiento con las semillas de guayaba modificadas

#### Preparación de bioadsorbente

Las semillas se lavaron con agua corriente para separar la pulpa, posteriormente se lavaron con agua destilada para remover lo que queda de impurezas.

Se llevará a secar a la estufa por 3 horas a 90°C, posteriormente se procede a moler las semillas en un mortero y se tamiza en un tamiz Tyler N° 18 para obtener partículas menores de 1mm.

#### Modificación con sulfato de aluminio Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>

Se prepara una solución de sulfato de aluminio al 0.3%, primero se pesará 0.3 gramos de sulfato de aluminio en una balanza analítica y se traspasara a un matraz aforado de 1 litro aforando con agua destilada, se agitó a 100 RPM durante 3 horas a 50°C.

La relación que se mantendrá entre las semillas de guayaba y la solución será de 8.30 gramos de muestra por cada 100 ml de solución, se agitó a 90 RPM durante 5 horas a 20 °C. Al finalizar la agitación se filtra la muestra finalmente se pasará a una luna de reloj para llevarla a la estufa por 6 horas a 60 °C.

#### Dosis óptima del bioadsorbente

Para determinar la dosis óptima de bioadsorbente para absorber el As se pesará tres réplicas de muestras de 3, 5 y 10 gramos de adsorbente y se le adicionará 500 ml de las muestras de agua con contenido de arsénico, de modo que se agitará a 130 RPM por 3 horas a temperatura ambiente.

#### Medición del arsénico presente en el agua

Se preparará las muestras con presencia de arsénico filtrándose si es necesario para eliminar partículas sólidas y manteniéndose en un pH ácido, para luego preparar una solución de azul de metileno al 1%. Luego se añadirá una cantidad medida de solución de azul de metileno al matraz se deja reposar la mezcla durante unos minutos para permitir que se forme el complejo entre el arsénico y el azul de metileno, finalmente se transferirá la mezcla al espectrofotómetro en las celdas y se medirá la absorbancia a la longitud de onda adecuada para el azul de metileno, alrededor de 660 nm.



## Procedimiento para el tratamiento con cáscara de maracuyá

### Preparación de bioadsorbente

Las cáscaras son cortadas a medianos rasgos para luego cortar en trozos pequeños de 1 cm a 2 cm, las cáscaras son lavadas de manera oportuna con el fin de queden impurezas que no sean parte de la cáscara ya que luego podría alterar los resultados durante y después del procesado. Luego para seguir con el proceso se deja secar por 15 días en el sol para reducir la humedad de la cáscara, ya estando seco de manera uniforme se podrá realizar el siguiente paso.

Luego de ser secadas por el sol durante la muestra 1 (2 hrs) con una temperatura de 100 °C en una estufa, para el correcto triturado de las muestras se utilizó un molino, Aquí se tamiza la muestra 2 el tamiz de tamaño 256.84 µm

### Dosis óptima del bioadsorbente

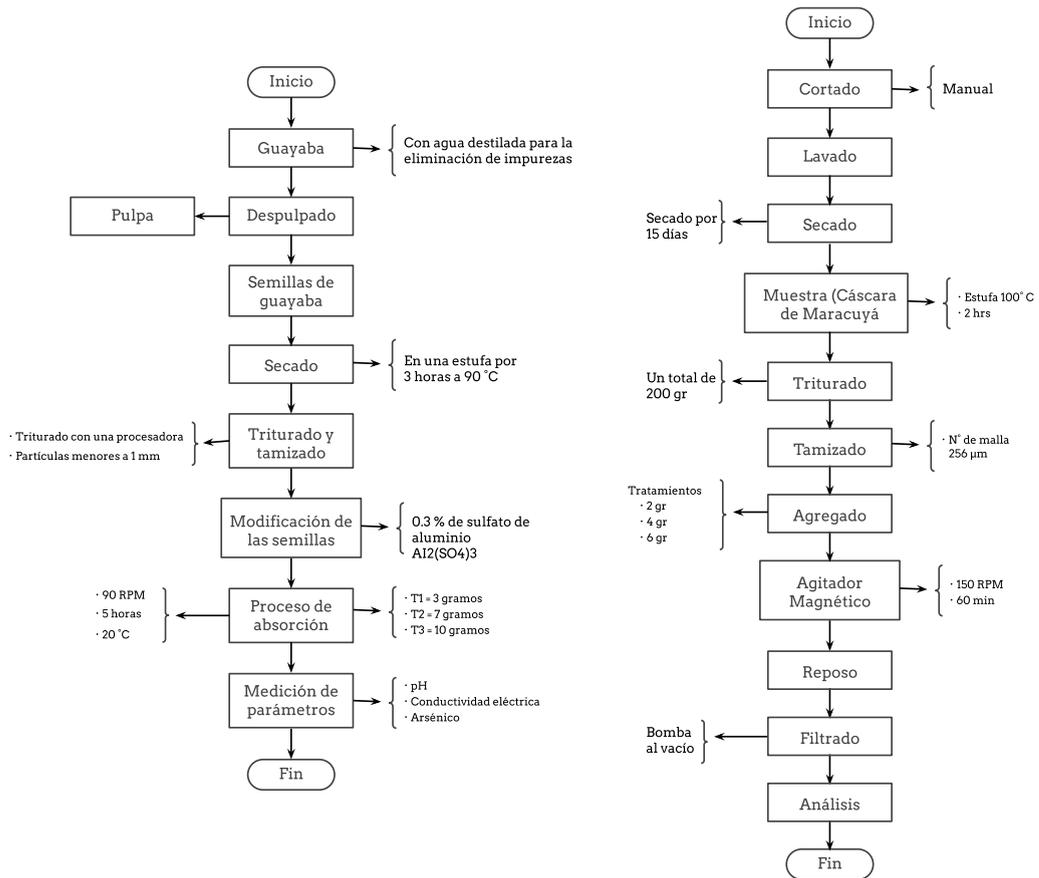
Luego se realiza un agregado de 2 gr, 4 gr y 6 gr de polvo de maracuyá, pasa por la evaluación de Agitador magnético con 150 rpm en 60 minutos, agitadas en ½ litro de agua, luego pasa un pequeño tiempo de reposo para que la sustancia adquirida tenga la consistencia adecuada para poder ser analizada. Se realiza el análisis en filtrado por bomba al vacío donde se verificará el filtrado de cada una de las muestras a cargo de la encargada de Química Analítica llamada Edith Silva Flores, y determinará la concentración del metal presente en la fase líquida mediante absorción atómica realizada por los laboratorios correspondientes.

### Medición del arsénico presente en el agua

Uso del espectrofotómetro para el análisis del arsénico con cada una de las 9 muestras en cuestiones con diferentes cantidades frente a la aplicación de la cáscara de maracuyá.

Figura 1

Flujograma de etapas del desarrollo de la experimentación en las dos muestras





## RESULTADOS

**Tabla 2**

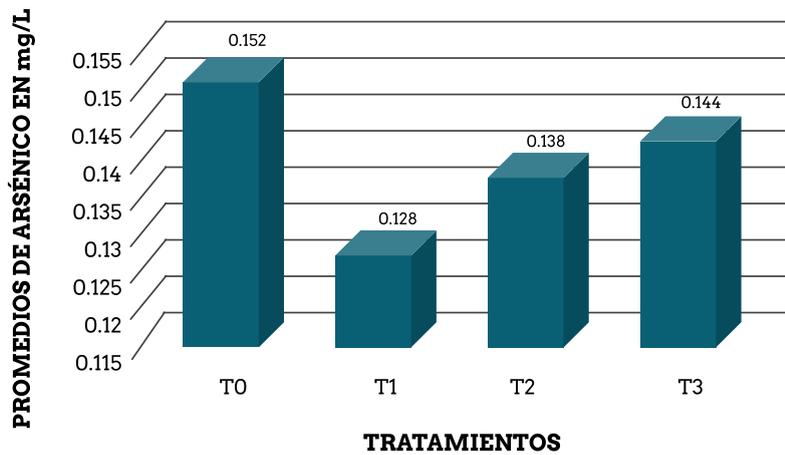
Parámetros finales del tratamiento con semillas de guayaba modificadas con  $Al_2(SO_4)_3$

Tratamientos	C.E. uS/cm	pH	Arsénico mg/L
T0	1304.33	3.13	0.152
T1	708.33	4.12	0.128
T2	1270.33	3.55	0.138
T3	1345.67	3.50	0.144

La Tabla 2 muestra la remoción de la cantidad de As (III); se evidencia que el tratamiento T1 es el mejor debido a que tuvo una reducción de 0.024 mg/L en comparación con el T0, es decir desde 1304.33 a 708.33 mg/L, sin embargo a mayor concentración de bioadsorbente menor será la eficiencia de adsorción, tal como se evidencia con los tratamientos T2 y T3 con valores de 1270.33 mg/L y 1345.67 mg/L respectivamente.

**Figura 2**

Comparación de niveles de arsénico en los ríos de Caplina



**Tabla 2**

Parámetros finales luego de la aplicación de la cáscara de maracuyá

Tratamientos	Arsénico mg/L
T0	0.0125
T1	0.0121
T2	0.0121
T3	0.0112

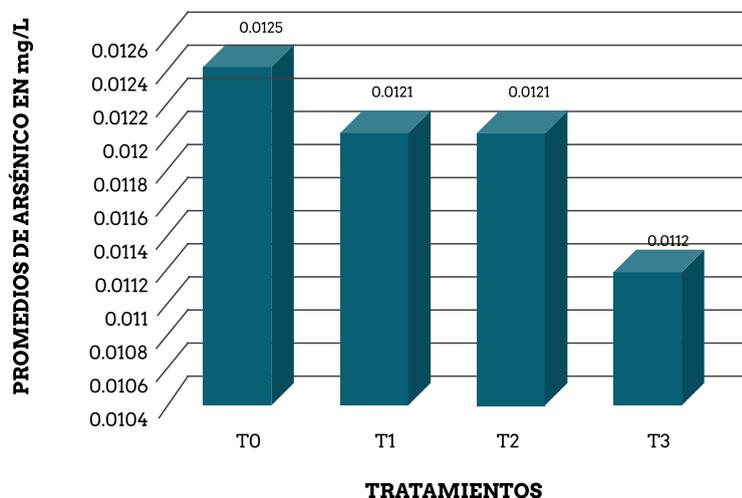
La Tabla 3 muestra los niveles de arsénico en mg/L después de aplicar diferentes tratamientos con cáscara de maracuyá. El tratamiento T0 (control) presentó un valor de 0.0125 mg/L, mientras que T1 y T2 mostraron una ligera reducción a 0.0121 mg/L. El tratamiento T3 fue el más efectivo, con un valor de 0.0112 mg/L, evidenciando la mayor disminución de arsénico. Estos resultados indican que la cáscara de maracuyá puede reducir los niveles de arsénico, siendo T3 el tratamiento más eficaz.



Figura 3

Comparación de niveles de arsénico en los ríos de Uchusuma

TRATAMIENTO DEL RÍO UCHUSUMA CON CÁSCARA DE MARACUYÁ



## DISCUSIÓN

Según Behera et al. (2022) y Mohan et al. (n.d.), la adsorción de arsénico será más eficiente cuando el pH alcanza valores ácidos y esto se evidenció al momento de realizar la medición de parámetros fisicoquímicos pues el T1 con 3 gramos de adsorbente se mantuvo en un pH promedio de 4.12 y conjuntamente el parámetro de conductividad eléctrica bajo de los 1304.33 uS/cm hasta los 708.33 uS/cm, teniendo en cuenta la relación que hay entre la cantidad de metales pesados en el agua y la conductividad; es decir a mayor cantidad conductividad eléctrica entonces hay gran cantidad de concentración de metales pesados y viceversa.

Adicionalmente según el Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2017). D.S. N°004-2017-MINAM: Estándares de calidad ambiental (ECA) para agua, indica que los límites de arsénico para aguas superficiales de consumo no deben superar los 0.01 mg/L lo que evidentemente no se cumple ya que aun luego del tratamiento el As (III) sólo disminuye en 0.024 mg/L desde 0.152 mg/L hasta 0.128 mg/L haciéndolo no apto para el consumo humano ya que puede producir enfermedades tales como el cáncer a distintos órganos (Ramírez et al., 2023).

El presente estudio evaluó la capacidad adsorbente de la cáscara de maracuyá en la remoción de arsénico (III) en soluciones acuosas, utilizando dosis de 2, 4, y 6 gramos, y sus resultados permiten posicionarlo como una alternativa efectiva y económica a otros adsorbentes naturales, como las arcillas y zeolitas de Ecuador estudiadas por (San Martín et al. 2021); los investigadores informan que las arcillas ecuatorianas demostraron una capacidad de adsorción de arsénico (III) de entre 13 y 15  $\mu\text{gAs/g}$ , mientras que la zeolita presentó valores menores, de entre 5 y 6  $\mu\text{gAs/g}$ . Aunque estos valores están por debajo de algunos reportados en la literatura, los adsorbentes utilizados para dicho estudio tienen la ventaja de ser materiales abundantes y de fácil preparación, lo que aumenta su viabilidad en regiones donde los recursos son limitados.

Con relación a la cáscara de plátano, de acuerdo con los hallazgos de Fernandez et al. (2020), han demostrado una alta capacidad de adsorción en condiciones de pH ácido, logrando eliminar más del 92% de los metales pesados a pH 3 y 3.5. Por lo tanto, entre ambos materiales sugiere que la cáscara de plátano es particularmente efectiva en condiciones de pH bajo y en concentraciones iniciales de metal relativamente bajas, mientras que la cáscara de maracuyá ofrece una eficiencia de remoción que aumenta proporcionalmente con la dosis.



## CONCLUSIONES

A pesar de las mejoras observadas, ninguno de los tratamientos con las semillas de guayaba logró reducir las concentraciones de arsénico por debajo del límite de seguridad establecido por el Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2017). D.S. N°004-2017-MINAM: Estándares de calidad ambiental (ECA) para agua, que fija el máximo permisible en 0.01 mg/L para aguas superficiales de consumo humano en la categoría 1. La concentración final de arsénico de 0.128 mg/L en T1 sigue estando muy por encima de este límite, lo que indica la necesidad de métodos de tratamiento adicionales para cumplir con los estándares de consumo seguro.

Sin embargo, el proceso de tratamiento con cáscaras de maracuyá a diferentes proporciones de T1 de 2g, T3 de 4 gr y T4 de 6 gr referente a las características fisicoquímicas en el agua, se evidenció que el T4 de 6 gr con 500 ml de la muestra es el mejor tratamiento reduciendo de 0.0125 mg/L a 0.0112 mg/L donde identificamos que este tratamiento optimiza los parámetros deseados, mostrando una mayor eficacia en la mejora de la calidad del agua.

En una comparación de la eficiencia de remoción de As (III) entre los bioadsorbente se determina que las semillas de guayaba modificadas con sulfato de aluminio tienen mayor eficiencia ya que removieron hasta 0.024 mg/L en comparación de las cáscaras de maracuyá que removieron 0.0013 mg/L, esto se debe principalmente a que el sulfato de aluminio adiciona grupos hidroxilos en la superficie de bioadsorbente los que son más afines con metales pesados tales como el As (III).

En conclusión, aunque ninguno de los bioadsorbentes evaluados cumple completamente con los estándares de remoción de arsénico, su capacidad para mejorar otros parámetros del agua y su potencial de optimización mediante modificaciones químicas los posicionan como alternativas prometedoras para aplicaciones en el tratamiento de aguas contaminadas. Se recomienda continuar con estudios que combinen estos bioadsorbentes con otros métodos avanzados de tratamiento, así como explorar otras formas de modificación que maximicen su rendimiento.

## REFERENCIAS

- Arciniega Galaviz, M. A. (2023). Remoción de cobre en agua sintética utilizando pectina de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*). *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 3(1), 41-50.  
<https://doi.org/10.5154/r.rchsagt.2023.03.04>
- Bartra Reyna, S. A., & Huanacuni Lupaca, C. (2021). Evaluación de la remoción de arsénico utilizando la microalga *Chlorella Vulgaris* en aguas superficiales del río Uchusuma en Tacna - Perú. *INGENIERÍA INVESTIGA*, 3(1), 639-648.  
<https://doi.org/10.47796/ing.v3i1.487>
- Behera, U. S., Mishra, P. C., & Radhika, G. B. (2022). Optimización de múltiples parámetros para la adsorción de arsénico (III) de solución acuosa utilizando polvo de hoja de *Psidium guajava*. *Ciencia y Tecnología del Agua*, 85(1), 515-534. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.613>
- Betancur, S. B., Gil, S. A., Ardila A., A. N., Erasmo, A. V., Rolando, B. Z., Hernández, J. A., & Zepeda, T. A. (2022). Desarrollo de bioadsorbentes a partir de residuos de cáscara de naranja para el tratamiento de aguas residuales de la industria textil. *Desalación y Tratamiento de Aguas*, 250, 80-99. <https://doi.org/10.5004/dwt.2022.28185>
- Borda Luna, B. E. (2023). Filtración de la cáscara de naranja, para la potabilización del agua de lluvia en las zonas rurales de San Ramón, Junín. *Revista Científica Pakamuros*, 10(1).  
<https://doi.org/10.37787/9ma6yb36>
- Duany, S., Arias, T., Bessy, T., & Rodríguez, D. (2022). *Bioadsorbentes no convencionales empleados en la remoción de metales pesados. Revisión*.  
<http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v42n1/2224-6185-rtq-42-01-94.pdf>
- Fernandez, M., Florez, D., Yactayo, M., Lovera, D., Quispe, J., Landauro, C., & Pardave, W. (2020). Remoción de metales pesados desde efluentes mineros, mediante cáscaras de frutas. *AiBi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*, 8(1), 21-28.  
<https://doi.org/10.15649/2346030X.627>



Fernández Jerí, Y., Benavides Rivera, E. R., Dávila Espinoza, C. E., Gonsebatt, M. E., & del Razo, L. M. (2022). Evaluación de la exposición a arsénico y factores de riesgo de aterogénesis en una población Altoandina en Perú. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 38, 419–430.

<https://doi.org/10.20937/RICA.54436>

Ferrer, A. (2003). Intoxicación por metales. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 26.

<https://doi.org/10.4321/S1137-66272003000200008>

Jawad, I. A., Chisty, A. H., & Rahman, M. M. (2023). Eliminación de iones de cromo (III) de aguas residuales de curtidurías y aguas de ríos mediante cáscara de naranja natural y activada. *Desalinización y tratamiento de aguas*, 299, 118–127. <https://doi.org/10.5004/dwt.2023.29697>

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2017). D.S. N°004-2017-MINAM: Estándares de calidad ambiental (ECA) para agua. <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/ds-004-2017-minam.pdf>

Mohan, D., Markandeya, Dey, S., Dwivedi, S. B., & Shukla, S. P. (2019). Adsorción de arsénico mediante adsorbentes de bajo costo: biomasa de hojas de guayaba, corteza de mango y bagazo. *Ciencia actual*, 117(4), 649. <https://doi.org/10.18520/cs/v117/i4/649-661>

Orozco, C., Díaz Megchún, J., Macías Hernández, M. de J., & Robles Martínez, F. (2019). Efecto de la frecuencia de volteo en el biosecado de residuos sólidos orgánicos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(4), 979-989. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.04.16>

Pino V, E. (2019). El acuífero costero La Yarada, después de 100 años de explotación como sustento de una agricultura en zonas áridas: Una revisión histórica. *Idesia (Arica)*, 37(3), 39-45. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019000300039>

Pino V, E., Ramos F, L., Mejía M., J., Chávarri V., E., & Ascencios T., D. (2020). Medidas de mitigación para el acuífero costero La Yarada, un sistema sobreexplotado en zonas áridas. *Idesia (Arica)*, 38(3), 21-31. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292020000300021>

Ramírez Cota, M., Escobar Sánchez, O., & Betancourt Lozano, M. (2023). Metales pesados: Antagonistas de la salud en México. *Ciencia*, 74(3). [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/74\\_3/PDF/06\\_74\\_3\\_1385.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/74_3/PDF/06_74_3_1385.pdf)

Reyes-Prado, M. A., Ramírez-Pereda, B., Ramírez, K., González-Huitrón, V., Rodríguez-Mata, A. E., Uriarte-Aceves, P. M., & Amabilis-Sosa, L. E. (2022). Recuperación de nutrientes y degradación de materia orgánica de agua residual agrícola por medio de un sistema UV/H2O2 optimizado. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. <https://doi.org/10.20937/RICA.54236>

Ramos-Vargas, S., Alfaro-Cuevas-Villanueva, R., Huirache-Acuña, R., Cortés-Martínez, R. (2018). *Eliminación de fluoruro y arseniato de soluciones acuosas mediante semillas de guayaba modificadas con aluminio*. *Ciencias Aplicadas*, 8(10), 1807. <https://doi.org/10.3390/app8101807>

San Martín, D., Medina, D. F., López, C. M., Aguilar, S., García, L. V., & Guaya, D. (2021). Remoción de arsénico (III) en sistemas acuosos por adsorción utilizando sólidos naturales de Ecuador. *Avances Investigación en Ingeniería*, 18(1). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.16186>

Torres Laura, A., Choquecota Mena, R., Mamani Coaquera, G., Ticona Quispe, P., Sanga Franco, M., & Gutierrez Flores, I. (2020). Bioadsorción de arsénico del agua del río Locumba utilizando cáscara de naranja (*Citrus sinensis*), Tacna. *Ciencia & Desarrollo*, 26, 41-47. <https://doi.org/10.33326/26176033.2020.26.931>



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.12

OCTUBRE - DICIEMBRE 2024

Artículo Científico

160 - 169

EVALUACIÓN DE CÁSCARAS DE MARACUYÁ Y SEMILLAS DE GUAYABA COMO BIOADSORBENTES PARA LA REMOCIÓN DE ARSENICO (III) EN AGUAS SUPERFICIALES

**Lizbeth Pacari Romero**

ORCID: 0000-0001-8907-8872  
<https://revista.scienceevolution.com/>

**Leidy Martha Mariela Mita Mamani**

ORCID: 0000-0001-9272-7829

**Karina Estefania Flores Choquemoroco**

ORCID: 0000-0003-4687-9471



U.S. Congress, Office of Technology Assessment. (1993). *Biopolymers: Making materials nature's way - Background paper* (OTA-BP-E-102). U.S. Government Printing Office. <https://ota.fas.org/reports/9313.pdf>

Vásquez-Gómez, N. F., Martínez, R. J., Banda-Alemán, J. A., Espejel-Ayala, F., García-Espinoza, J. D., Godínez, L. A., & Robles, I. (2024). Estudio de la viabilidad del uso de carbón activado de residuos agroindustriales en un filtro electro-Fenton como alternativa al carbón activado comercial para el tratamiento de agua residual textil. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 40. <https://doi.org/10.20937/RICA.54731>