

# Remoción de Arsénico y Plomo con carbón activado de Crescentia kujete L “Huingo” en efluentes mineros

## *Removal of Arsenic and Lead with activated carbon from Crescentia kujete L “Huingo” in mining effluents*

  Lely Fabiola Suyón Vega<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú

**Fecha de recepción:** 30.05.2024

**Fecha de aprobación:** 13.06.2024

**Fecha de publicación:** 15.06.2024

Cómo citar: Suyón Vega, L. (2024). Remoción de Arsénico y Plomo con carbón activado de Crescentia kujete L “Huingo” en efluentes mineros. *UCV Hacer* 13 (2), 7-16. <https://doi.org/10.18050/revucvhacer.v13n2a1>

### Resumen

La investigación tuvo como objetivo evaluar la capacidad de remoción del carbón activado “Huingo” de los metales pesados de arsénico y plomo en un efluente minero. El estudio fue de tipo aplicado con enfoque cuantitativo, diseño experimental, se consideró 6 tratamientos; T0 (grupo control) y 5 tratamientos (grupos experimentales) se tomó en cuenta la dosis de 5 g, 10 g y 15 g de carbón activado en polvo y granular, se utilizó el protocolo para la toma de muestras de efluentes de aguas residuales, la muestra fue de 50 L de agua del efluente, se mantuvo refrigerada de 4 - 8 °C, se tomó 2 L para análisis iniciales de concentración de arsénico y plomo, la preparación del carbón activado dio inicio con un presecado al aire libre durante 14 días, posterior a ello se secó en una mufla durante 24 horas, una vez seca, se trituró y se impregnó con ácido fosfórico al 85%, luego se procedió a la carbonización a una temperatura de 25°C a 1400°C, con una velocidad de calentamiento de 20°C por minuto, el carbón activado obtenido se molió y se lavó con agua destilada para eliminar impureza. Después del lavado, se dejó secar para su posterior uso en la absorción de metales pesados. Referente a los resultados hubo una concentración inicial de 0.659 mg/L de arsénico y 0.2 mg/L de plomo sobrepasando los límites máximos permisibles, se procedió a los análisis experimentales encontrándose la dosis óptima de 15 g en polvo de carbón activado con un valor de remoción de 85% para Arsénico y 88% para plomo; por lo tanto, el carbón activo puede ser una alternativa para minimizar los impactos negativos de los metales pesados en el medio ambiente.

**Palabras clave:** Metales pesados, remoción, efluente minero, carbón activo.

### Abstract

The objective of the research was to evaluate the removal capacity of “Huingo” activated carbon from the heavy metals of arsenic and lead in a mining effluent. The study was applied with a quantitative approach, experimental design, 6 treatments were considered; T0 (control group) and 5 treatments (experimental groups) the dose of 5 g, 10 g and 15 g of powdered and granular activated carbon was taken into account, the protocol was used for sampling wastewater effluents, the sample was 50 L of effluent water, it was kept refrigerated at 4 - 8 °C, 2 L was taken for initial analyzes of arsenic and lead concentration, the preparation of activated carbon began with pre-drying in the open air for 14 days, after that it was dried in a muffle for 24 hours, once dry, it was crushed and impregnated with 85% phosphoric acid, then carbonization was carried out at a temperature of 25°C to 1400°C, with a speed heating at 20°C per minute, the activated carbon obtained was ground and washed with distilled water to eliminate impurities. After washing, it was left to dry for later use in the absorption of heavy metals. Regarding the results, there was an initial concentration of 0.659 mg/L of arsenic and 0.2 mg/L of lead, exceeding the maximum permissible limits. The experimental analyzes were carried out, finding the optimal dose of 15 g of activated carbon powder with a value of removal of 85% for Arsenic and 88% for lead; Therefore, activated carbon can be an alternative to minimize the negative impacts of heavy metals on the environment.

**Keywords:** Heavy metals, removal, mining effluent, active carbon.

Este es un artículo en acceso abierto, distribuido bajo los términos de una licencia Creative Commons (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>) que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea correctamente citada



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el tratamiento de aguas de relave previo a su disposición final se ha convertido en un tema esencial y de suma importancia; es por esto, que muchas empresas mineras utilizan diferentes tecnologías y métodos que permiten tratar de forma adecuada los efluentes mineros.

Uno de los fenómenos principales que influye en la calidad del medio ambiente acuático es la adsorción, régimen fisicoquímico que permite eliminar una gran cantidad de contaminantes presentes en el agua. Dentro de las tecnologías que existen hoy en día para el tratamiento de efluentes mineros, encontramos la utilización de carbón activado, esta tecnología comprueba su eficacia en el tratamiento de aguas con alto contenido de metales pesados, utilizando el sustento de la remoción (Prieto, 2020).

El Perú cuenta con un gran potencial minero a nivel mundial debido a la abundancia de yacimientos de minerales y recursos naturales extensos. Por lo tanto, la actividad minera es fundamental para el desarrollo económico del país.

En contraste con Brasil y Chile, el Perú junto con Ecuador y Bolivia, la mayoría de las actividades mineras se llevan a cabo en áreas con alta densidad poblacional y en cuencas pluviales. Esto da lugar a una serie de impactos significativos, principalmente relacionados con la gestión de residuos sólidos y líquidos; en otras palabras, el manejo de los desechos es un tema crucial en estas zonas mineras, ya que tienen un impacto directo en las personas que viven allí. Por lo tanto, es fundamental abordar estos problemas para garantizar la seguridad y el bienestar de la población y del medio ambiente (Espejo, 2024).

La extracción de minerales en nuestro país implica un consumo significativo de agua en sus procesos, y los efluentes generados contienen una variedad de contaminantes, como el arsénico y el plomo, que son perjudiciales para la actividad biológica y contaminan los cursos de agua. De hecho, los metales tóxicos encontrados están por encima de los Límites Máximos permisibles, como el Arsénico (As), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Cromo (Cr), entre otros (Ministerio del Ambiente, 2013),

Es importante tener en cuenta que estos relaves pueden tener un impacto negativo en el medio ambiente y en la salud de las personas que viven cerca de las zonas mineras. Por lo tanto, es crucial que se tomen medidas para minimizar su impacto y gestionar adecuadamente estos residuos.

El plomo es un veneno poderoso que puede tener efectos terribles en el sistema nervioso central, especialmente en niños, la exposición al plomo puede causar problemas en el desarrollo cognitivo, trastornos de comportamiento y retraso en el crecimiento.

Por otro lado, el arsénico es altamente tóxico y su exposición está relacionada con varios tipos de cáncer, como el cáncer de piel, pulmón y vejiga. También puede causar problemas cardiovasculares, diabetes y daños neurológicos, así como lesiones cutáneas y afectaciones al sistema inmunológico. Por eso es importante tomar medidas para evitar la exposición a estos tóxicos y proteger nuestra salud y bienestar (Rodríguez, 2021)

La remoción es un proceso fascinante que ocurre cuando los átomos, iones o moléculas de una sustancia se adhieren a la superficie de un sólido o líquido. Este fenómeno se debe a las fuerzas de atracción entre las moléculas del adsorbente y las del adsorbato; es un proceso de superficie, a diferencia de la absorción donde las sustancias se distribuyen uniformemente dentro de otra sustancia (Maza et al, 2023).

El carbón activado es un material muy utilizado en la industria debido a sus increíbles propiedades de adsorción. Su alta superficie interna, distribución de poros y diversidad de grupos funcionales le permiten capturar una amplia gama de moléculas. En otras palabras, este elemento es capaz de atrapar y retener sustancias no deseadas en su superficie, lo que lo convierte en un componente valioso en múltiples procesos industriales. Desde la eliminación de contaminantes en el agua hasta la purificación de gases y líquidos, el carbón activado es un aliado importante en la búsqueda de soluciones ambientales y de calidad en la producción (Abdul et al., 2019).

El carbón activado es un material sorprendente, con una composición química que es casi pura, contiene alrededor de un 70 a 80% de carbono, de 5 a 10% de cenizas, un 60% de oxígeno y un 0,5% de hidrógeno. Esta mezcla química lo hace muy útil para una variedad de aplicaciones, y lo

convierte en uno de los materiales más versátiles que existen. De hecho, su pureza es comparable a la del diamante, el grafito y otros tipos de carbón mineral, el carbón activado es una verdadera maravilla química que ha sido utilizada por generaciones para mejorar nuestras vidas de muchas maneras diferentes (Hagemann et al., 2018).

Milla (2022) explica que el carbón activado tiene una propiedad fascinante: la capacidad de adsorber es un fenómeno fisicoquímico se produce cuando un sólido llamado adsorbente atrapa ciertas moléculas, llamadas adsorbatos, que se encuentran en un medio líquido o gaseoso. Los grupos funcionales se forman durante el proceso de activación, cuando los radicales libres de la superficie del carbón interactúan y hacen que la superficie del carbón se vuelva químicamente reactiva; esto es lo que le da al carbón activado sus propiedades adsorbentes, especialmente para moléculas de carácter polar. El carbón activado suele considerarse hidrófobo, es decir, que tiene poca afinidad al agua; esto es muy importante, en aplicaciones de adsorción de gases en presencia de humedad o de especies en disolución acuosa. Sin embargo, la presencia de grupos funcionales en su superficie hace que pueda reaccionar con el agua, lo que hace que la superficie sea más hidrófila.

La aplicación del carbón activado es un tratamiento terciario que tiene como objetivo mejorar la calidad del efluente obtenido en los tratamientos primarios y secundarios convencionales. Se utiliza en columnas empacadas con gránulos del material adsorbente y se bombea el agua a través del filtro. A medida que el agua fluye por la columna, los químicos se adhieren a la superficie porosa de los gránulos, cuando el carbón activado se satura, es necesario reemplazarlo o limpiarlo para poder reutilizar el filtro. La limpieza del carbón gastado consiste en calentar el carbón y bombear aire limpio a través de él para deshacerse de los químicos; de esta manera, se garantiza la eficacia del filtro y se obtiene un efluente de alta calidad (Del Cid, 2023).

Según Zegarra (2021), el drenaje ácido de mina, además de un pH bajo, contiene una gran cantidad de materia en suspensión con un alto contenido en sulfatos y metales (Cu, Pb, Hg, Cd, Ni, Fe, Al, Mn y Zn). Todos estos elementos son muy perjudiciales para la actividad biológica y contaminan los cursos de agua. Es evidente

que el alto costo del tratamiento en las plantas depuradoras de aguas residuales tradicionales hace necesario buscar alternativas innovadoras que permitan solucionar este grave problema.

Ledesma (2019) señala que hay una gran variedad en cuanto al uso de minerales y metales, y que el método de extracción y ubicación de los mismos genera los llamados relaves. Los relaves son altamente contaminantes para las fuentes hídricas, ya que contienen productos químicos utilizados en las operaciones mineras, como ácidos, cianuro de sodio, metales ionizados y otros químicos como ácidos, álcalis, espumas, coagulantes, floculantes y sólidos suspendidos del agua de mina.

Según Ramos (2022), los metales pesados como el plomo, arsénico, mercurio, cobre y níquel son extremadamente peligrosos y requieren atención inmediata. Estos metales pueden acumularse en el tiempo y destruir ecosistemas enteros, ya que son altamente tóxicos. Incluso concentraciones mínimas pueden persistir en el medio ambiente y acumularse en organismos vivos a lo largo del tiempo. Dado que hay pocas vías de metabolismo o degradación humana, es urgente que se trate el agua residual que se genera para evitar consecuencias desastrosas.

Algunos antecedentes referente al estudio como la investigación de Laguna (2021) propuso evaluar la capacidad de las semillas de datura para producir carbón activado y su efectividad como adsorbente de Plomo II y Cromo VI; para lograr esto, se llevó a cabo un proceso de carbonización y activación con ácido fosfórico, y se determinaron las condiciones óptimas de dosis, pH y tiempo para maximizar la remoción de los contaminantes, los resultados una remoción del 79% de plomo II y del 35% de cromo VI, demostrando la alta eficiencia del carbón activado obtenido a partir de semillas de datura; por consiguiente, puede ser muy útil en la búsqueda de alternativas sostenibles y económicas para la eliminación de metales pesados en el agua y otros medios de contaminación.

Asimismo, Roncal y Villanueva (2021) demostraron la efectividad del carbón activado de la cascarilla de arroz como medio adsorbente para eliminar metales pesados presentes en efluentes industriales, tales como el plomo, cadmio y otros metales. Para ello, llevaron a cabo un enfoque no experimental transversal, que consistió en una revisión documental exhaustiva, los resultados

obtenidos demostraron que el carbón activado de la cascarilla de arroz fue capaz de remover el 96,04% del plomo y el 95,89% del cadmio presente en el agua, lo cual indica que este método es altamente eficiente y sostenible para la eliminación de metales pesados en el agua, se concluye el gran potencial de la cascarilla de arroz como un medio de remoción efectivo y sostenible para la eliminación de metales pesados en la industria.

Tena y Jhames (2019), tuvieron como objetivo determinar el grado de eficacia del carbón activado de la cáscara de coco, en la absorción del hierro y plomo del agua de consumo, el método de Investigación que utilizó fue un estudio cuasiexperimental, se realizó la caracterización del agua cruda tiene 0,09 mg/L de plomo y 0.81 mg/L de hierro, se realizó pruebas con 40 g de carbón activo para 1 L de agua cruda y se analizó en 2 tiempos de 60 y 90 minutos llegando a una reducción de 0,02 mg/L de plomo (77% de remoción) y 0,41 mg/L de hierro (49% de remoción) en un tiempo óptimo de 90 min, concluyendo la remoción de metales con el carbón activado.

Finalmente, para Ponce (2023) evaluó la efectividad del carbón activado de cáscara de naranja como adsorbente de plomo (Pb), se utilizó una metodología aplicada con un diseño experimental de alcance explicativo. Se probaron diferentes masas de carbón activado, incluyendo 0g, 0,5g, 1g, 1,5g y 2g, para determinar la cantidad óptima necesaria para eliminar el plomo del agua contaminada. Los resultados obtenidos fueron que el carbón activado de naranja demostró ser un adsorbente altamente efectivo, alcanzando una tasa de eliminación de plomo (Pb) de más del 94% en la dosis óptima de 2g/L. Para ser más específicos, los resultados fueron los siguientes: 0g (0%), 0,5g (93, 4%), 1g (94,5%), 1, 5g (93,9%) y 2g (93, 7%). En conclusión, el carbón activado de cáscara de naranja es una solución viable y altamente efectiva para eliminar el plomo del agua contaminada.

En tal sentido, el presente estudio se planteó como objetivo evaluar la capacidad de remoción del carbón activado "Huingo" de los metales pesados de arsénico y plomo en un efluente minero.

Por ello; el estudio se justifica, que conociendo los avances en tecnología y ciencia han aumentado la capacidad humana para utilizar los recursos naturales, pero también han causado problemas en los ciclos biológicos, químicos y geológicos; los métodos convencionales para tratar residuos de metales pesados son costosos; sin embargo, Orozco (2023) destaca el potencial de los adsorbentes ecológicos para adsorber metales pesados de manera más eficiente y económica. El uso de carbón activado de cáscara de Huingo como adsorbente puede ser beneficioso tanto económicamente como para el medio ambiente. Por lo que se busca llenar un vacío teórico en el conocimiento científico y contribuir al desarrollo de alternativas para tratar aguas contaminadas con metales pesados.

Los avances en tecnología y ciencia desde la revolución industrial han aumentado la capacidad humana para utilizar los recursos naturales, los métodos convencionales para tratar residuos de metales pesados son costosos. El uso de adsorbentes ecológicos puede ser una solución más eficiente y económica para adsorber metales pesados en las industrias.

Finalmente se plantea como hipótesis que el carbón activado de Huingo tiene la capacidad de remoción para arsénico y plomo en el efluente de residuo minero.

## METODOLOGÍA

### Tipo de investigación

El tipo de investigación fue aplicada, ya que busca generar resultados concretos a partir de la experimentación. Asimismo, se emplea un enfoque cuantitativo para poder medir la relevancia y significancia de los resultados obtenidos (Hernández et al, 2018).

### Diseño de investigación

La investigación utilizó un diseño de pre prueba y post prueba con un único grupo, se caracteriza por evaluar las unidades experimentales solo dos veces: antes de recibir el estímulo y después de recibirlo, con el objetivo de establecer una referencia inicial y determinar el efecto que se produce (Pérez, 2020).

**Tabla 1***Condiciones experimentales*

<b>Carbón activado</b>	
	5 g
Dosis de carbón activado	10 g
	15 g
Tipo de carbón	Polvo Granular
<b>Metales pesados</b>	
Cantidad inicial y final de plomo	mg/L
Cantidad inicial y final de arsénico	mg/L

Nota. Base de datos

**Selección de la muestra**

Se consideró el protocolo para la toma de muestras de efluentes de aguas residuales según lo establece la Resolución Jefatural N° 010-2016 Autoridad Nacional del Agua; así mismo se consideró el protocolo establecido en la Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA para el muestreo de efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Es importante destacar que la muestra se tomó antes de que el agua residual llegue al cuerpo receptor; con esto, se asegura que los resultados de la investigación sean precisos y confiables.

Se recolectó una muestra de 50 L de agua del efluente, se mantuvieron refrigeradas a 4 - 8 °C y se transportaron al laboratorio, se tomó 2 L para análisis iniciales de concentración de arsénico y plomo. Se aplicó la prueba de jarras, con tres dosis de carbón activado de Huingo 5 g, 10 g y 15 g con dos velocidades de mezcla rápida 200 rpm durante 60 segundos y 60 rpm durante 15 minutos. Cada dosis y tipo de carbón tuvo tres repeticiones.

**Preparación de carbón activado de Huingo**

Se inició el proceso con el presecado de la materia prima al aire libre durante 14 días, luego para eliminar cualquier rastro de humedad, se secó en una mufla durante 24 horas, una vez seco se procedió a triturlarla y luego impregnarla con ácido fosfórico al 85% (Ahiduzzaman y Sadrul, 2016).

El siguiente paso fue la carbonización, se realizó en una sola etapa junto con la activación, se utilizó una mufla y se aplicó un rango de temperatura de 25°C a 1400°C, con una velocidad de calentamiento de 20°C por minuto. Las muestras se colocaron en crisoles y se llevó consideró una temperatura desde 550°C hasta 700°C en intervalos de 50°C. Una vez que se alcanzó la temperatura deseada, se mantuvo el proceso de carbonización durante 30 minutos. Finalmente, se molió el carbón activado obtenido y se lavó con agua destilada para eliminar cualquier impureza. Después de lavarlo, se dejó secar para su posterior utilización en la absorción de los metales pesados (Grima et al, 2016; Sandoval et al, 2021).

**Determinación de la eficiencia de remoción del grupo experimental**

Para determinar el porcentaje de eficiencia se utilizó la fórmula de diferencia porcentual, teniendo en cuenta el grupo control y los grupos experimentales:

$$\text{Eficiencia de adsorción (\%)} = \frac{\text{CGC} - \text{CGE}}{\text{CGC}} \times 100$$

Donde:

CGC: Concentración del grupo control

CGE: Concentración del grupo experimental

**Análisis de datos**

Se llevo a cabo un análisis descriptivo para comparar los resultados obtenidos con los valores máximos permitidos de agua, se tabularon los datos y se elaboraron gráficos para clasificarlos y visualizarlos de manera clara. Además, se aplicó un análisis inferencial con ANOVA para determinar las diferencias significativas entre los tratamientos.

## RESULTADOS

### Análisis de los datos a nivel descriptivo

**Tabla 2**

Concentración de arsénico y plomo en las diferentes condiciones experimentales.

Tratamiento	Dosis (g)	Tipo	As (mg/L)	Pb (mg/L)
T0 (GC)	0	0	0.659	0.2
T1 (GE)	5	Polvo	0.197	0.053
T2 (GE)	5	Granular	0.264	0.071
T3 (GE)	10	Polvo	0.131	0.034
T4 (GE)	10	Granular	0.198	0.055
T5 (GE)	15	Polvo	0.065	0.014
T6 (GE)	15	Granular	0.132	0.033

Nota. Datos del programa Minitab ver. 19

En la tabla 2 se observa los datos de las concentraciones según tratamientos por arsénico y plomo; el valor inicial del T0 (Grupo control) fue 0.659 mg/L para arsénico y 0.2 mg/L para plomo valores que exceden los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM. Así mismo, el T5

(Grupo experimental) con dosis de 15 g, tipo de carbon activado en polvo se obtuvo valores de 0.065 mg/L para arsénico y 0.014 mg/L para plomo.

### Análisis de los datos a nivel inferencial

**Tabla 3**

Análisis de varianza (ANOVA) en la remoción de arsénico (As).

Fuente	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	16.55.9	7	236.5	102.3	0.000
Bloques	0.00	2	0.002	0.65	0.544
Lineal	1655.9	3	551.9	238.8	0.000
Dosis de carbon	1197.5	2	589.7	259.1	0.000
Tipo de carbon	458.3	1	458.3	198.4	0.000
Dosis x Tipo	0.001	2	0.005	2.33	0.148
Error	0.02	10	0.002		

Nota. Datos obtenidos de la base de datos del programa Minitab ver. 19

**Tabla 4**

Análisis de varianza (ANOVA) en la remoción de plomo (Pb).

Fuente	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	1535.1	7	219.3	41.8	0.000
Bloques	13.78	2	6.889	1.31	0.311
Lineal	1520.3	3	506.7	96.7	0.000
Dosis de carbon	1095	2	547.5	104.5	0.000
Tipo de carbon	425.3	1	425.3	81.1	0.000
Dosis x Tipo	1.03	2	0.51	0.10	0.148
Error	52.3	10	5.23		

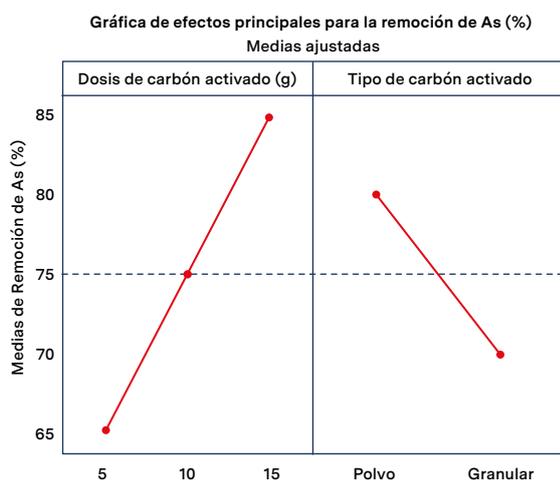
Nota. Datos del programa Minitab ver. 19

Se observa que el p-valor en la tabla 3 y 4 fue  $\leq \alpha = 0.05$ , ( $0.0000 < 0.05$ ) en tal sentido existe diferencia significativa entre los tratamientos para Arsenico y Plomo.

Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que el carbón activado de Huingo tiene la capacidad de remoción para arsénico y plomo en el efluente de residuo minero.

**Figura 1**

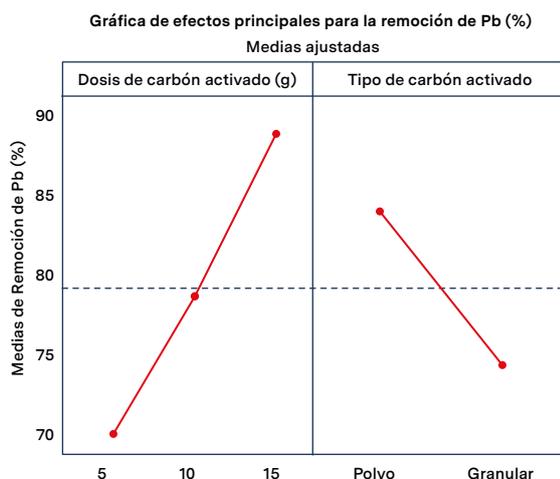
*Remoción de Arsénico según dosis y tipo de carbón activado.*



En la figura 1 se observa el porcentaje de remoción con un 85% en una dosis de 15 g con tipo de carbón activado en polvo.

**Figura 2**

*Remoción de Plomo según dosis y tipo de carbón activado.*



En la figura 2 se observa el porcentaje de remoción con un 88% en una dosis de 15 g con tipo de carbón activado en polvo.

## DISCUSIÓN

En un estudio realizado por Fiestas y Millones en el 2019 tuvieron como resultado que la concentración de carbón activado y su tiempo de aplicación tienen un impacto significativo en la eliminación de arsénico, alcanzando un 72%; es importante, tener en cuenta que el nivel inicial de arsénico fue de 0.11mg/L y después de la aplicación, se redujo drásticamente a 0.0297mg/L; cabe indicar que el presente estudio tuvo una remoción de 85% en una dosis de 15 g y tipo de carbón en polvo, así se evidencia la eficiencia de remoción del metal pesado.

En otros estudios como el de Laguna del 2021 y Gonzales y Segovia en el 2020, obtuvieron como resultado 35% y 48% con un valor menor para remoción de arsénico, probablemente se debe a las características físicas, químicas y biológicas de la especie que estudiaron, como por ejemplo el agua, iones como fosfatos, sulfatos y silicatos pueden competir con el arsénico por los sitios de adsorción en el carbón activado, reduciendo la efectividad de remoción del arsénico.

Es importante recalcar que el tipo de carbón activado (su área superficial, tamaño de poro, y superficie funcional) también afecta la capacidad de adsorción de arsénico, el carbón activado con un área superficial más grande y poros adecuados puede adsorber más arsénico; además, la presencia de grupos funcionales en la superficie del carbón puede mejorar o empeorar la adsorción de diferentes especies de arsénico. La remoción de arsénico con carbón activado depende de la especie de arsénico presente, las condiciones del agua (como el pH y la presencia de otros iones), y las características del propio carbón activado, optimizar estos factores es crucial para mejorar la eficiencia de remoción de arsénico en diferentes contextos (Lee et al, 2021).

Referente al plomo se obtuvo una remoción de 88% en una dosis de 15 g y tipo de carbón en polvo; resultados similares se obtuvo de Lee et al, 2021 refieren que el carbón activado tiene capacidades eficientes de remoción de metales debido a su estructura porosa independientemente de la especie que se obtenga el producto; por otro lado, Ponce en el 2023 realizó un estudio en remoción de plomo el cual tuvo como resultados 94% de remoción.

Así mismo, Roncal y Villanueva en el 2021 en su investigación con carbón activado hubo una remoción de 96%. Por otro lado, para Porras y Martínez en el 2019 tuvieron como resultado una remoción de plomo con 74% utilizando carbón activado de coronta de maíz, en el estudio de Tena y Jhames en el 2019 se evidenció una eficiencia de remoción de hierro y plomo a un 77%. Finalmente, en la investigación de Tubón en el 2021 utilizó carbón activado de residuos de frutas obteniendo como resultado 47% de remoción de plomo; por ello, se considera que la composición química y estructural de los residuos de fruta puede variar ampliamente, lo que puede llevar a inconsistencias en la calidad y eficiencia del carbón activado producido. Esta variabilidad puede afectar negativamente la capacidad del material para adsorber metales pesados de manera consistente (Danish y Ahmad 2018).

Aunque el carbón activado derivado de residuos de fruta es una opción sostenible y económica, su eficacia para la remoción de metales pesados como el plomo puede ser inferior debido a limitaciones en su área superficial, porosidad, grupos funcionales superficiales, eficiencia de activación, y variabilidad en la materia prima (Baoying et al, 2023).

En tal sentido, el carbón activado tiene una alta capacidad de adsorción debido a su gran área superficial y su estructura porosa, lo que permite una mayor interacción con las moléculas de contaminantes. Su superficie puede ser modificada para mejorar su selectividad y capacidad de adsorción de metales específicos, lo que lo hace particularmente eficaz para la remoción de plomo y arsénico.

## CONCLUSIONES

Se evaluó la eficiencia de remoción con carbón activado de Huingo en una dosis de 15g y tipo de carbón en polvo, obteniéndose como valores 85% en Arsénico y 88% en plomo. El uso de carbón activado para la remoción de plomo y arsénico es crucial debido a su alta eficiencia de adsorción, versatilidad, costo-efectividad, facilidad de uso y capacidad para reducir una amplia gama de contaminantes. Esto contribuye significativamente a la protección de la salud pública y al cumplimiento de las normativas ambientales.

La implementación de carbón activado en el tratamiento de efluentes mineros contribuye significativamente a la protección de la salud pública y al cumplimiento de las normativas ambientales, mejorando la calidad del agua y reduciendo el impacto ambiental negativo.

**Financiación:** Sin financiamiento.

**Conflicto de intereses:** la autora declara no incurrir en ningún conflicto de intereses.

## REFERENCIAS

Abdul, A., Rabat, N., Johari, K., Saman, N., & Mat, H. (2019). Removal of Lead (II) Ions from Aqueous Solution Using Desiccated Coconut Waste as Low-Cost Adsorbent. *Chemical Engineering Transactions*, 72, 169-174. <https://doi.org/10.3303/CET1972029>

Ahiduzzaman, M., & Sadrul, A. (2016). Preparation of porous bio-char and activated carbon from rice husk by leaching ash and chemical activation. *Springerplus*, 5(1), 1248. <https://springerplus.springeropen.com/articles/10.1186/s40064-016-2932-8>

Autoridad Nacional del Agua. Resolución Jefatural N° 010-2016. *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. <https://www.ana.gob.pe/normatividad/rj-no-010-2016-ana-0>

Baoying, W., Jingming, L., Chunmiao, B., Bolin, G & Junjie, O. (2023). Biomass-derived activated carbon for removal of heavy metals from industrial wastewater: Adsorption of heavy metal onto biomass-derived activated carbon: review *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 19, 100374. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2023/ra/d2ra07911a>

Danish, M., & Ahmad, T. (2018). A review on utilization of wood biomass as a sustainable precursor for activated carbon production and application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 87, 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.003>

- Del Cid, M. (2023). *Evaluación de la capacidad de adsorción del carbón activado obtenido a partir de cáscara de naranja (Citrus x sinensis), a escala laboratorio, por medio de la adsorción de cloruro de metilitionina en solución acuosa y su comparación con el carbón obtenido del endocarpio de coco (Cocos nucifera L.)*. [Tesis de Licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/18284>
- Espejo, J., y Basuelo, M. (2024). *Evaluación de la calidad de efluentes mineros del túnel Pucará y bocamina Azalia de propiedad de Activos Mineros en el distrito de Goyllarisquiza*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. [http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/4239/1/T026\\_72118889\\_T.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/4239/1/T026_72118889_T.pdf)
- Grima, O., Ramírez, G., Gómez, L., y Clemente, J. (2016). Activated carbon from flash pyrolysis of eucalyptus residue, *Journal Heliyon*, 2 (9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2016.e00155>
- Gonzales, C., y Segovia, C. (2020). *Evaluación experimental e informatizada de la reducción de arsénico total en el agua potable distribuida en el distrito de Quequeña, Arequipa, utilizando sistemas de tratamiento basados en carbón activado de coronta de maíz blanco (Zea mays l) y cáscara de plátano (Musa paradisiaca)*. [Tesis de maestría, Universidad Católica de Santa María]. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/10285>
- Hagemann N., Spokas K., Schmidt, H., Kägi, R., Böhler, M., Bucheli, T. (2018). Activated Carbon, Biochar and Charcoal: Linkages and Synergies across Pyrogenic Carbon's ABCs. *Water*, 10, 182. <https://doi.org/10.3390/w10020182>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2018). *Metodología de la investigación (6a ed.)*. México D.F: Mc Graw Hill Interamericana. <https://bit.ly/3Zp85AI>
- Lagua, W. (2021). *Evaluación de carbón activado de semillas de datura como material adsorbente de metales (cromo VI y plomo II)*. [Tesis de licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16908/1/96T00743.pdf>
- Lee, J., Hwang, J., Lee, S. y Cheol, S. (2021). Adsorption behavior of arsenic onto lignin-based biochar decorated with zinc. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 7(626). <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.127095>
- Ledesma, W. (2019). *Propuesta de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocho-Pasco para su remediación ambiental, basada en experiencias exitosas en empresas mineras*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/878>
- Santos, M., y Millones, A. (2019). *Influencia de la concentración y el tiempo de contacto del carbón activado de cáscara de coco en la remoción de arsénico de aguas subterráneas de mórrope*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/4028>
- Maza, J., Asanza, A., Banderas, N., Luna, D., y Loaiza, H. (2023). Biomásas secas para la biosorción de metales en aguas residuales mineras. *Conocimiento global*, 8(2), 133-145. <https://conocimientoglobal.org/revista/index.php/cglobal/article/view/337/215>
- Milla, Y. (2022). *Eficiencia del carbón activado de semilla de Huarango (Prosopis Pallida) para la adsorción de plomo (Pb)*. [Tesis de licenciatura, Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/91673>
- Ministerio del Ambiente. Decreto Supremo N° 010-2010. Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas. [https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds\\_010-2010-minam.pdf](https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_010-2010-minam.pdf)
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2013). *Resolución Ministerial N.º 273-2013-Vivienda*. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/13762-273-2013-vivienda>
- Orozco, E. (2023). *Estudio del comportamiento de la concha de mejillón como material absorbente para eliminar metales pesados de las aguas residuales*. [Tesis de maestría, Universidad Da Coruña]. <http://hdl.handle.net/2183/33229>

- Pérez, A. (2020). *Introducción a la Investigación Social*. Editorial Universitaria.
- Prieto, S. (2020). *Elaboración de una Propuesta de Mejora de la Gestión de Residuos en una Organización del Sector Minero. El Caso de la Empresa Contratista Geodrill SAC*. [Tesis de maestría, Neumann Business School]. <https://hdl.handle.net/20.500.12892/182>
- Ponce, R. (2023). *Evaluación de la efectividad del carbón activado de cáscara de naranja (Citrus sinensis) para la adsorción de plomo (Pb) en disolución acuosa a nivel laboratorio*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Huánuco]. <http://repositorio.udh.edu.pe/20.500.14257/4311>
- Porras, G., y Martínez, C. (2019). *Adsorción del plomo mediante carbón activo de coronta de maíz de aguas contaminadas con relaves mineros*. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Unión]. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2715>
- Ramos, C. (2022). *Nivel de concentración de metales pesados (AS, CD Y PB), en el río escalera del área de influencia de la Compañía Minera Kolpa SA del distrito de Huachocolpa*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://repositorio.unh.edu.pe/handle/unh/5930>
- Rodríguez, C. (2021). *Intoxicación por arsénico. Medicina Legal de Costa Rica*, 38(2), 4-16. [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1409-00152021000300004&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-00152021000300004&lng=en&tlng=es)
- Roncal, N., y Villanueva, C. (2021). *Eficiencia del carbón activado de cascarilla de arroz como adsorbente en remoción de metales pesados de efluentes industriales*. [Tesis de licenciatura,, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/29031>
- Sandoval, A., Tavera, J., Vela, F., Calla, K., Alba, R., Lloclla, H., y Valverde, J. (2021). Adsorption of Gases by Internal Combustion of Trimobiles Using Activated Carbon Filter of Mauritia Flexuosa and Cocos Nucifera. *Chemical Engineering Transactions*, 85, 157-162. <https://www.cetjournal.it/index.php/cet/article/view/CET2185027>
- Tena, Y., y Jhames, E. (2019). Grado de eficacia del carbón activado de la cáscara de coco, en la absorción del hierro y plomo del agua de consumos de los estudiantes de la IE San Andrés de Paragsha-Simón Bolívar. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1444>
- Tubón, K. (2021). *Adsorción de plomo sobre carbón activado obtenido de residuos de frutos de Crescentia Cujete*. [Tesis de licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobambamba, Ecuador]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14620>
- Zegarra, Y. (2021). *Evaluación y análisis del circuito de tratamiento de efluentes metalúrgicos líquidos en la refinería de zinc*. [Tesis de licenciatura Universidad Nacional de San Agustín]. <http://hdl.handle.net/20.500.12773/13368>