







Tiempo y tamaño de partícula de cáscara de *Musa Sapientum* sobre la adsorción de Cu y Pb en efluente minero

Time and particle size of *Musa Sapientum* shell on the adsorption of Cu and Pb in mining effluent

Hans Roger Portilla Rodríguez^{1,*} ; Martín Taboada Neira² ; Steysi Jamely Portilla Jauregui³ ; Juan Antonio Vega Gonzalez² ; Aldo Roger Castillo Chung² ; Katherine Perez Rodas⁴ .

¹Escuela de Posgrado Doctorado en Ciencias e Ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

²Departamento académico de Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Trujillo Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

³Escuela de Arquitectura y Urbanismo. Facultad de Arquitectura. Universidad Privada del Norte, Trujillo-Perú

⁴Escuela de Posgrado Maestría en Ciencias con Mención en Riesgos Ambientales

* Autor correspondiente: hportilla@unitru.edu.pe (H. Portilla)

DOI: [10.17268/rev.cyt.2024.04.06](https://doi.org/10.17268/rev.cyt.2024.04.06)

RESUMEN

El estudio se centró en la reducción de desechos sólidos, especialmente las cáscaras de plátano, y en el tratamiento de efluentes generados por la minería, estos contienen metales pesados como plomo (Pb) y cobre (Cu). Se observó que la cáscara de plátano (*Musa Sapientum*) puede ser utilizada para reducir la concentración de estos metales en los vertidos de efluentes mineros. Los resultados mostraron una disminución en las concentraciones de Pb y Cu, de 50,25 mg/L y 21,75 mg/L a 21,70 mg/L y 14,61 mg/L, respectivamente. El tiempo de tratamiento con cáscara de plátano aumentó la eficacia de remoción: el tratamiento de 10 a 120 minutos mejoró la remoción de cobre (de 31,86% a 32,61%) y plomo (de 53,96% a 56,26%). Además, el tamaño de las partículas de la cáscara influyó en la capacidad de absorción: a menor tamaño de partícula (de 0,147 mm a 0,074 mm), aumentaron las tasas de absorción de ambos metales, alcanzando un 32,66% de absorción de cobre y un 55,80% de plomo. Los resultados estadísticos (ANOVA) indicaron que tanto el tamaño de las partículas como el tiempo de tratamiento tienen un impacto positivo en la remoción de estos metales, con un valor p inferior a 0,05. En conclusión, se determina que el periodo ideal de tratamiento es de 120 minutos y el tamaño adecuado de partícula para la mayor absorción de metales pesados es de 0,074 mm.

Palabras clave: Efluente minero; metales pesados; residuo sólido; tiempo de contacto; tamaño de partícula.

ABSTRACT

The study focused on the reduction of solid waste, especially banana peels, and the treatment of effluents generated by mining, which contain heavy metals such as lead (Pb) and copper (Cu). It was observed that banana peel (*Musa Sapientum*) can be used to reduce the concentration of these metals in mining effluent discharges. The results showed a decrease in the concentrations of Pb and Cu, from 50,25 mg/L and 21,75 mg/L to 21,70 mg/L and 14,61 mg/L, respectively. The treatment time with banana peel increased the removal efficiency: treatment from 10 to 120 minutes improved the removal of copper (from 31,86% to 32,61%) and lead (from 53,96% to 56,26%). In addition, the particle size of the shell influenced the absorption capacity: the smaller the particle size (from 0,147 mm to 0,074 mm), the higher the absorption rates of both metals, reaching 32,66% absorption of copper and 55,80% of lead. The statistical results (ANOVA) indicated that both the particle size and the treatment time have a positive impact on the removal of these metals, with a p value less than 0,05. In conclusion, it is determined that the ideal treatment period is 120 minutes and the optimal particle size for the highest absorption of heavy metals is 0,074 mm.

Keywords: Mining effluent; heavy metals; solid waste; contact time; particle size.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial y ampliamente disponible en el país, utilizado en diversas actividades como la generación de energía hidroeléctrica, la agricultura (tanto a pequeña como a gran escala), la industria alimentaria, manufacturera y minera (MINAN, 2010). La generación de volúmenes significativos de desechos que



resultan en la emisión de contaminantes, en la minería es realizada con muy poco seguimiento ambiental (Jumbo & Nieto, 2014).

En las naciones en vías de desarrollo, el problema de la contaminación causada por metales pesados está creciendo constantemente (Lesley, et al., 2019). Se han encontrado concentraciones elevadas de plomo y cobre en el agua potable, las cuales exceden el límite máximo admitido fijado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 0,2 mg de plomo por litro y 0,5 mg de cobre por litro, según lo indicado en la Revista Nuevas Energías del año 2020 y el Sistema de Información Nacional de Aguas (SINIA 2017), es importante conocer que los niveles tóxicos de exposición a metales pesados, sobre todo el plomo puede generar problemas adicionales, como encefalopatía, convulsiones, retraso mental, anemia y nefropatía potable (Zhou, et al., 2015).

La minería enfrenta un desafío importante debido al impacto ambiental de sus operaciones, especialmente por el vertido de efluentes sin tratamiento en cuerpos de agua cercanos o su disposición en grandes depósitos. Esto altera la calidad del agua y del suelo, introduciendo metales pesados como Hg, Pb, Cu, Mn, Fe, Zn, Cd y Ni, entre otros (Revista nuevas energías,2020).

Para minimizar la contaminación del agua algunas de las técnicas que se utilizan son: ósmosis inversa, extracción con solventes, floculación, separación de membranas, filtración, precipitación química, oxidación, reducción, coagulación, intercambio iónico, evaporación, reacciones fotoquímicas, tratamiento anaeróbico y aeróbico, reducción microbiana, tratamiento bacteriano, irradiación por radiación nuclear, electrodiálisis, tratamiento ultrasónico, separación magnética, y adsorción utilizados para eliminar y / o separar contaminantes tóxicos de las soluciones acuosas (Ahmad & Danish, 2018)

Las cáscaras de plátano son uno de los residuos más significativos producidos por el árbol de plátano y su fruta, siendo generadas en cantidades significativas debido al alto consumo de esta fruta. De hecho, las cáscaras de plátano representan aproximadamente el 40% del peso total del plátano fresco (Ghassabzadeh, et al., 2010). Recientemente, diversos autores han utilizado la cáscara de plátano, esta fue aplicada por los investigadores para eliminar el cromo, el plomo y el cadmio de las aguas residuales industriales (Marichelvam & Azhagurajan, 2018).

El estudio del empleo de adsorbentes lignocelulósicos con el fin de eliminar iones tóxicos de los sistemas acuosos ha sido objeto de una extensa investigación y ha experimentado un notable incremento en los últimos 17 años (Li, et al., 2016). Se ha comprobado a través de experimentos que la piel de plátano contiene varios elementos en su composición, como pectina (10-21%), lignina (6-12%), celulosa (7,6-9,6%), hemicelulosas (6,4-9,4%) y ácido galacturónico (Pelissari, et al., 2017), para asegurar la mayor remoción del metal pesado se ha sometido a las cáscaras de plátano a tratamientos químico mediante el uso de ácidos, álcalis o agentes blanqueadores como el peróxido de hidrógeno aumenta su capacidad de adsorción. Durante el tratamiento químico, los compuestos pépticos y viscosos se eliminan del esqueleto celulósico y exponen los grupos funcionales para la unión de iones metálicos (Ali, 2016).

2. METODOLOGÍA

a) Objeto de estudio:

Las muestras de efluente minero tratado por flotación, que contenían cobre y plomo, fueron preparadas en el laboratorio de Procesamiento de Minerales del Departamento de Ingeniería Metalúrgica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Trujillo.

b) Diseño de Investigación

Tabla 1. Diseño de investigación para las variables tiempo de tratamiento y tamaño de partícula retenida por malla.

Tiempo de tratamiento	Tamaño de partícula retenida em malla según norma ASTM E- 11	
	Malla #100 (b1)	Malla #200 (b2)
a1	a1 b1, a1 b1	a1 b2, a1 b2
a2	a2 b1, a2 b1	a2 b2, a2 b2

Tamaño de partícula retenida em malla según norma ASTM E- 11		
Tiempo de tratamiento	Malla #100 (b1)	Malla #200 (b2)
a3	a3 b1, a3 b1	a3 b2, a3 b2
a4	a4 b1, a4 b1	a4 b2, a4 b2
a5	a5 b1, a5 b1	a5 b2, a5 b2

Variables Dependientes de Estudio

Adsorción Cu y Pb (ppm)

c) Procedimiento Experimental

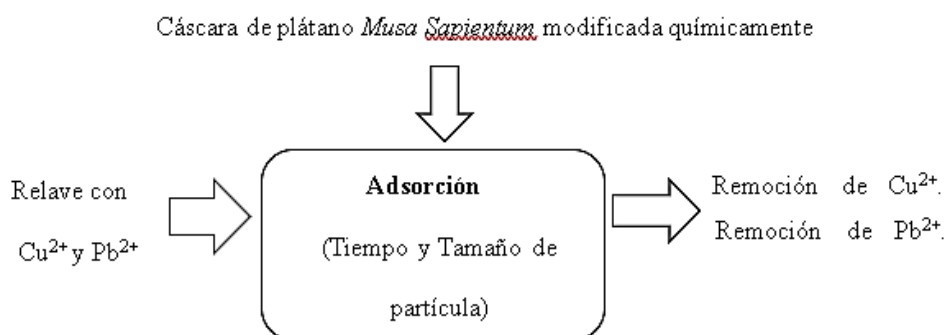


Figura 1. El efluente conteniendo el Cu y Pb ingresa al proceso de adsorción, donde se adiciona la cáscara de plátano con tamaño de partícula adecuada y modificada químicamente, manteniéndolo a tiempos determinados para la remoción de dichos metales.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a) Material de estudio.

El material de investigación, se basa en el efluente inicial proviene de efluentes mineros mediante el proceso de flotación.

Tabla 2. Concentración en partes por millón de metales pesados en el efluente minero.

Elemento	Cu	Pb	Zn	Fe
Concentración (ppm)	21,75	50,25	120,3	2740,50

Nota. La empresa responsable de estos resultados es MYC LABORATORIOS S.A.C.

b) Estudios de Espectroscopía (FTIR).

Se llevaron a cabo dos análisis de espectroscopía infrarroja mediante la técnica de transformada de Fourier (FTIR) con el propósito de reconocer los grupos funcionales que se encuentran en la cáscara de *Musa Sapientum*, la cual se utiliza como adsorbente, antes de llevar a cabo los experimentos.

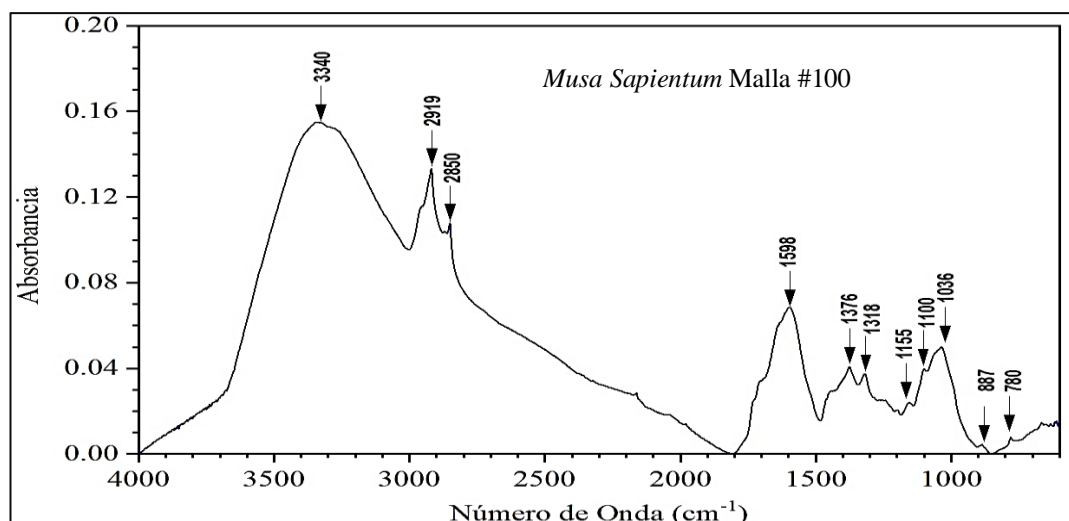


Figura 2. Análisis de FTIR realizado en la cáscara de *Musa Sapientum* como parte de su caracterización 100% retenida Malla #100

El análisis de FTIR (Espectroscopia de Infrarrojo por Transformada de Fourier) realizado en la cáscara de *Musa sapientum* (plátano o banana) es una técnica clave para la caracterización de este material. La cáscara, con un tamaño de partícula 100% retenido en la malla #100, permite una evaluación más precisa de sus componentes químicos y estructurales.

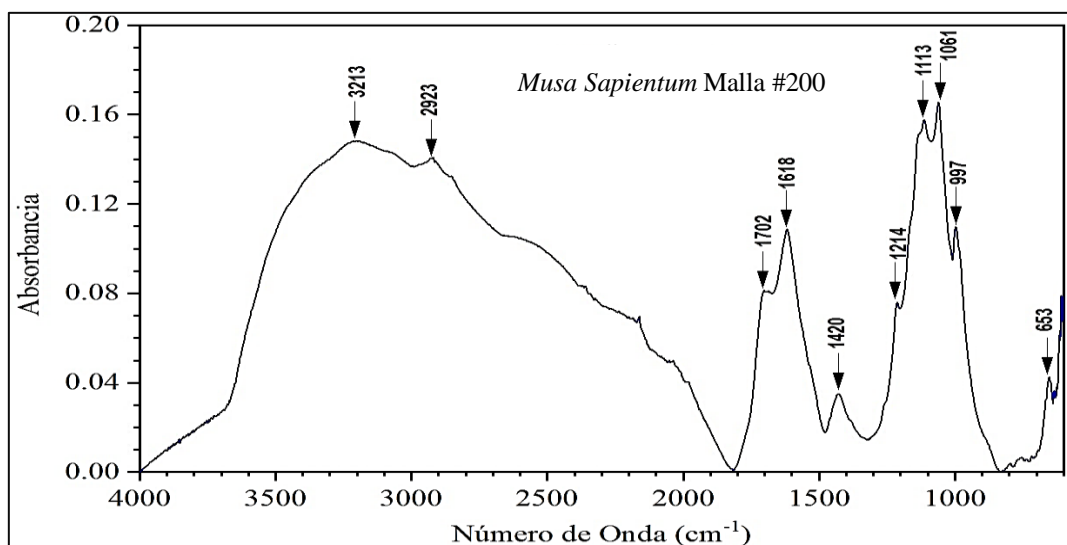


Figura 3. Análisis FTIR realizado en la cáscara de *Musa Sapientum* como parte de su caracterización 100% retenida Malla #200

Los niveles de adsorción son extensivos e intensivos en las proximidades de los grupos metileno, metilo, carbonilo y otros grupos alquilo, como se ilustra en la Figura 2.

Las vibraciones de los enlaces que están presentes en la celulosa, la pectina, el agua absorbida, la hemicelulosa y la lignina están asociadas con el pico a 3340 cm⁻¹.

El pico a 2919 cm⁻¹ es indicativo de la vibración de estiramiento de los enlaces en los grupos metileno, C – H, dentro de los grupos -CH, -CH₂ y -CH₃.

Este pico a 2850 cm⁻¹ es indicativo de las vibraciones de estiramiento simétrico (asimétrico) del grupo metilo (-CH₃) en compuestos orgánicos. La presencia de otros grupos alquilo (-CH₂) en la muestra también puede evidenciarse mediante este pico.

En la muestra analizada, el grupo hidroxilo (-OH) está indicado por el pico a 3213 cm^{-1} en el espectro. En lo que respecta a las vibraciones de estiramiento del enlace O-H, este pico es indicativo de compuestos como alcoholes y fenoles.

El pico a 2923 cm^{-1} se caracteriza por las vibraciones de estiramiento asimétrico del grupo metilo (-CH₃) y las vibraciones de estiramiento simétrico del grupo metileno (-CH₂) en compuestos orgánicos.

La inclusión de un pico a 1113 cm^{-1} sugiere la presencia de un enlace C-O, que es prevalente en compuestos como alcoholes, ésteres y éteres.

El pico a 1061 cm^{-1} , que es único de las aminas y compuestos que contienen grupos amino, indica la posible presencia de un enlace C-N en la muestra.

Adsorción de Cobre con Cáscara de *Musa Sapientum*

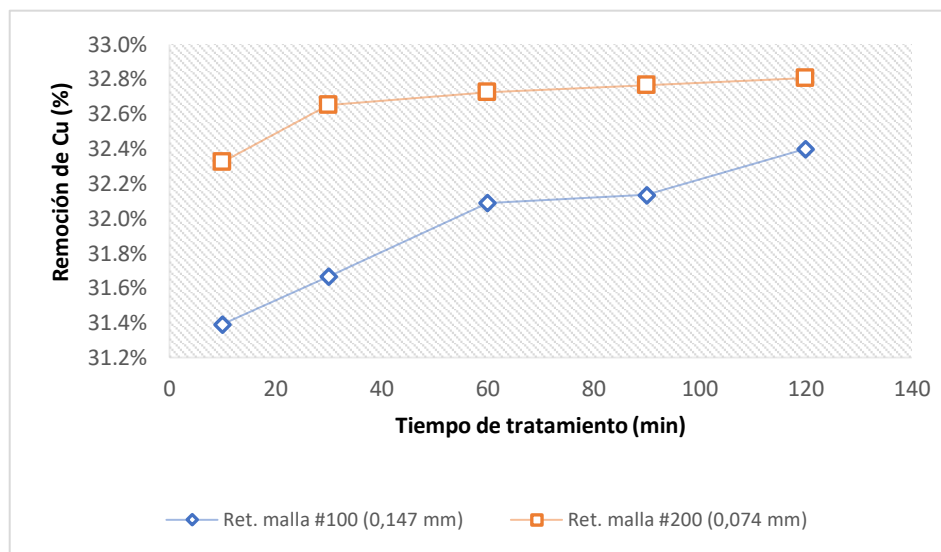


Figura 4. Remoción de cobre en función al tiempo de tratamiento.

El % de Remoción de Cu se puede observar que existe mayor % de Remoción de Cu, cuando el tamaño de granulometría es el retenido de malla # 200 (0,074 mm), a un tiempo de tratamiento de 120 minutos. Así mismo se observa que la adsorción máxima de cobre alcanza el 32,81 % con partículas de tamaño correspondiente al retenido de la malla #200 (0,074 mm).

Tabla 3. Los valores aproximados de bioadsorción en porcentaje se determinaron para diferentes tamaños de partícula de cáscara de *Musa Sapientum* en relación al porcentaje de adsorción de Cu.

Tamaño de partícula de Cáscara <i>Musa Sapientum</i>	Tiempo de tratamiento (min)					Promedio de la bioadsorción de Cu vs tamaño de partícula
	10	30	60	90	120	
100% Ret. malla #100 (0,147 mm)	31,39%	31,66%	32,09%	32,14%	32,40%	31,94%
100% Ret. malla #200 (0,074 mm)	32,32%	32,65 %	32,73%	32,77%	32,81%	32,66%

En esta tabla, se detallan los porcentajes de adsorción de cobre en función de diferentes tamaños de partícula de la cáscara, lo que permite observar cómo la superficie y la estructura del material afectan su eficacia como bioadsorbente. Cada fila de la tabla representa un tamaño de partícula específico, y las columnas indican el porcentaje de Cu adsorbido en condiciones controladas.

Los resultados pueden mostrar tendencias interesantes, como la posibilidad de que partículas más finas tengan una mayor superficie específica, lo que podría facilitar una mayor interacción con los iones de cobre. Esta información es valiosa para entender el potencial de la cáscara de plátano como un material sostenible para la remoción de metales pesados en soluciones acuosas, contribuyendo así a la investigación en tratamientos de aguas residuales y bioremediación.

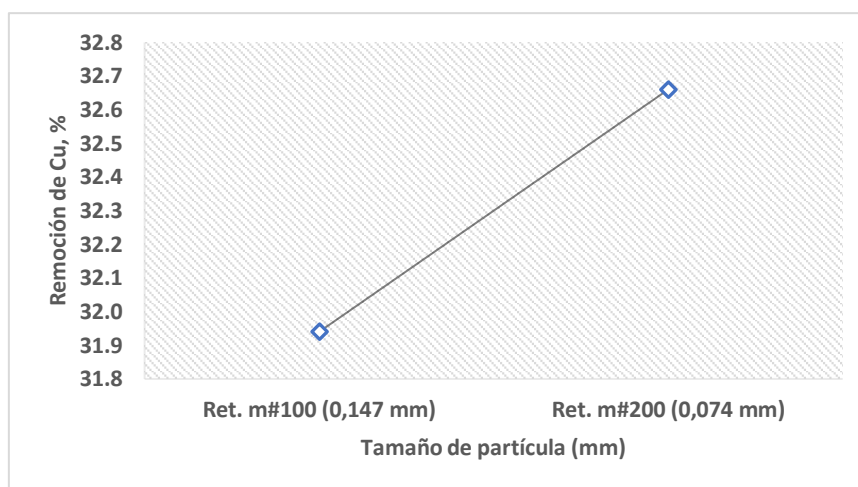


Figura 5. La representación gráfica del tamaño de partícula en milímetros en función del porcentaje de remoción de cobre.

En la investigación, La Figura 5 presenta la correlación entre el índice de adsorción y las distintas dimensiones de partículas empleadas en el eje de las abscisas representa el tamaño de partícula en milímetros, mientras que el eje de las ordenadas muestra el porcentaje de remoción de cobre. Esta representación permite visualizar cómo varía la capacidad de remoción a medida que se cambia el tamaño de las partículas. El gráfico revela tendencias importantes, como si existe una correlación directa entre un tamaño de partícula más pequeño y un mayor porcentaje de remoción. Esto podría indicar que las partículas más finas ofrecen una mayor superficie de contacto para la adsorción de metales pesados. La figura es crucial para interpretar los datos experimentales y para optimizar el uso de la cáscara de plátano en aplicaciones de bioremediación y tratamiento de aguas residuales, acorde con lo planteado por Bagali, et al., (2017).

De la influencia del Tiempo de Tratamiento en la Adsorción de Cu.

Tabla 4. Valores promedios en porcentaje de bioadsorción para el tiempo de tratamiento (min) para el % adsorción de Cu

Tamaño de partícula de Cáscara <i>Musa Sapientum</i>	Tiempo de tratamiento (min)				
	10	30	60	90	120
Ret. malla #100 (0,147 mm)	31,39%	31,66%	32,09%	32,14%	32,40%
Ret. malla #200 (0,074 mm)	32,32%	32,65 %	32,73%	32,77%	32,81%
Promedio de la bioadsorción de Cu vs tiempo de tratamiento (min)	31,86%	32,16%	32,41%	32,46%	32,61%

En la Tabla 4, presenta los resultados de un estudio sobre la eficacia de la cáscara de *Musa sapientum* en la adsorción de iones de cobre (Cu²⁺) a lo largo de diferentes intervalos de tiempo.

Cada fila de la tabla indica un tiempo de tratamiento específico en minutos, y las columnas muestran el porcentaje promedio de adsorción de cobre correspondiente a cada intervalo. Los datos reflejan cómo la duración del tratamiento influye en la capacidad de bioadsorción del material.

Un hallazgo destacado es que la adsorción máxima de cobre, que alcanza un 32,61%, se obtiene al aplicar un tiempo de tratamiento de 120 minutos. Este resultado sugiere que hay un tiempo óptimo para lograr la máxima eficacia en la eliminación de cobre, lo que es fundamental para optimizar los procesos de remoción de metales pesados en aplicaciones industriales.

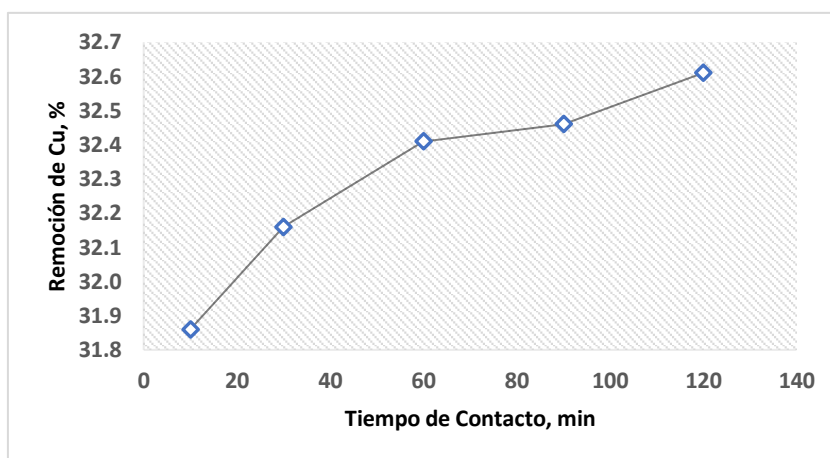


Figura 6. Gráfica de Tiempo de Tratamiento vs. Remoción de Cu.

La Figura 6, representa el tiempo de tratamiento en minutos eje vertical (x), mientras que el eje vertical (y) muestra el porcentaje de remoción de cobre. La representación gráfica permite observar cómo varía la eficacia de adsorción a medida que se incrementa el tiempo de contacto entre la cáscara de plátano y la solución que contiene cobre.

De la influencia de la Interacción del tamaño de partícula de cáscara de *Musa Sapientum* y Tiempo de Tratamiento en la Adsorción de Cu

Tabla 5. Valores promedios de la interacción del tamaño de partícula de cáscara de *Musa Sapientum* y tiempo de tratamiento (min) para % de adsorción de Cu.

Tamaño de partícula de Cáscara <i>Musa Sapientum</i>	Tiempo de tratamiento (min)				
	10	30	60	90	120
Ret. malla #100 (0,147 mm)	31,39%	31,66%	32,09%	32,14%	32,40%
Ret. malla #200 (0,074 mm)	32,32%	32,65 %	32,73%	32,77%	32,81%
Promedio de la bioadsorción de Cu vs tiempo de tratamiento (min)	31,86%	32,16%	32,41%	32,46%	32,61%

En la Tabla 5 se muestra que el nivel más alto de adsorción de cobre es del 32,81 % en una malla #200 (0,074 mm) después de un periodo de tratamiento de 120 minutos, esta eficiencia en el tratamiento se corrobora con la investigación Thuan, et al., (2016), en la cual realizó una activación alcalina con KOH a la cáscara de plátano los resultados del estudio de isoterma muestran que el modelo de Langmuir se puede utilizar para describir mejor el comportamiento de adsorción de Cu^{2+} y Ni^{2+} sobre el carbón activado derivado de la cáscara de plátano.

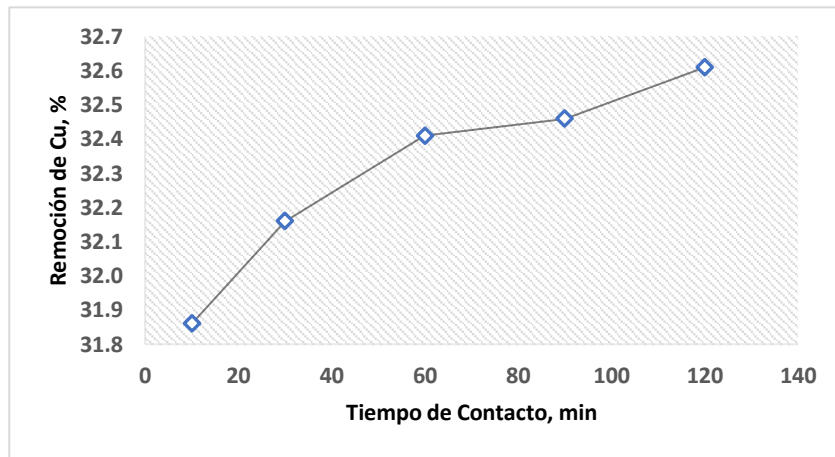


Figura 7. Gráfica de interacción para % de remoción de Cu vs tiempo de contacto

En la figura 7, se evidencian los resultados de remoción de cobre en función al tiempo de tratamiento, se tiene el valor p es menor que 0,05, para la variable bioadsorción de cobre.

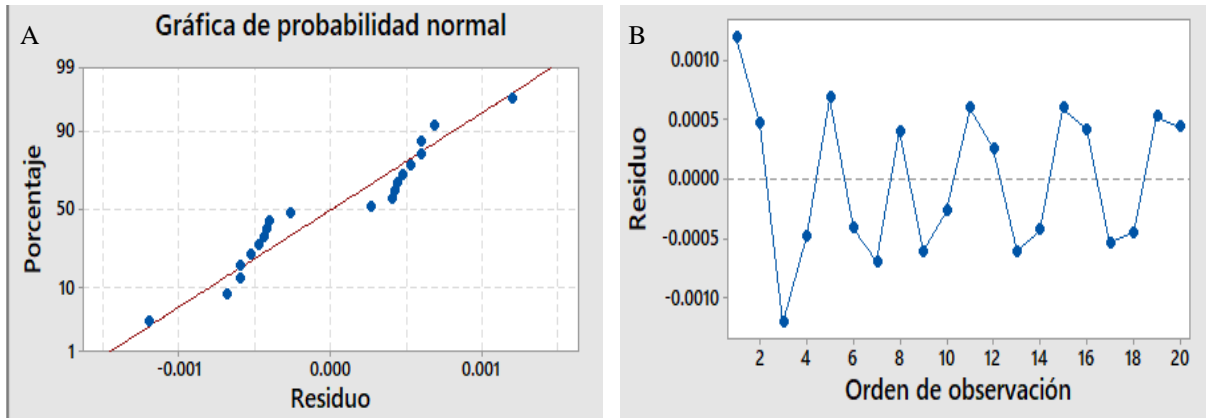


Figura 8. Prueba de probabilidad normal de datos y distribución normal para cobre.

La figura 8 A, La muestra exhibe el principio de independencia, lo cual evidencia la aleatoriedad en el estudio al no seguir un patrón constante, lo que confirma la presencia de independencia en los errores. La Figura 8B exhibe la dispersión de los puntos en conjunto con la tendencia lineal, lo cual confirma el supuesto de normalidad. La afirmación se sustenta además en el coeficiente de determinación R^2 del modelo, el cual asciende al 98,24%.

Adsorción de Plomo con Cáscara de *Musa Sapientum*

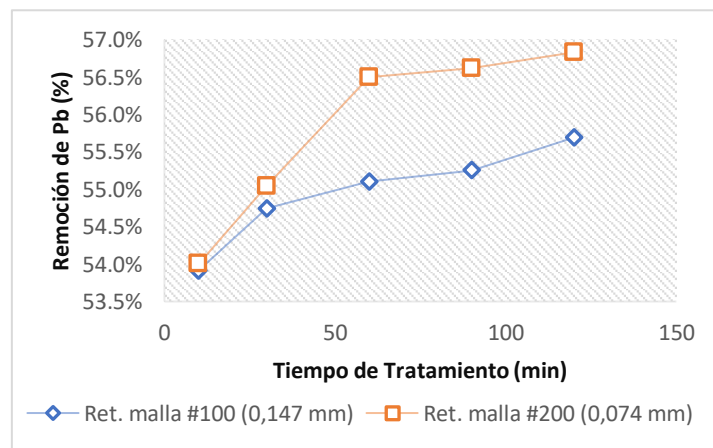


Figura 9. Porcentaje de eliminación de plomo en función del incremento del tiempo de tratamiento.

En la figura 9 se muestra el análisis del porcentaje de remoción de plomo (% de Remoción de Pb). Se destaca que el mayor porcentaje de eliminación de plomo se logra con el tamaño de granulometría retenido en la malla #200 (0,074 mm) y un tiempo de exposición de 120 minutos. De acuerdo con Rani, et al., (2019), que investigó parámetros como el efecto del pH, el tiempo de contacto, la concentración inicial de iones metálicos y la dosis de adsorbente, los resultados observados se concluyeron los tiempos de tratamientos son en el orden de los minutos y se requieren de tiempos cortos de tratamiento.

De la influencia del tamaño de partícula de Cáscara de *Musa Sapientum* en la Adsorción de Pb.

Tabla 6. Los valores medios de bioadsorción en porcentaje se determinaron para diferentes tamaños de partícula de cáscara de *Musa Sapientum* en relación con el porcentaje de adsorción de plomo mediante procesos biológicos.

Tamaño de partícula de Cáscara <i>Musa Sapientum</i>	Tiempo de tratamiento (min)					Promedio de la bioadsorción de Pb vs tamaño de partícula
	10	30	60	90	120	
100% Ret. malla #100 (0,147 mm)	53,91%	54,74%	55,10%	55,25%	55,69%	54,94%
100% Ret. malla #200 (0,074 mm)	54,00%	55,04%	56,50%	56,62%	56,83%	55,80%

En la Tabla 6, se evidencia que el porcentaje máximo de adsorción de plomo es del 55,80 % cuando se utiliza la malla #200 (0,074 mm), como los resultados demostrados por Marichelvam & Azhagurajan., (2018). Que utilizaron la cáscara de plátano para la eliminación de mercurio y otros metales en las industrias. Así mismo Shridhar, et al., (2017), afirma que agregando cáscara y el pseudotallo de plátano se encontró que la remoción máxima de plomo II, fue del 89%.

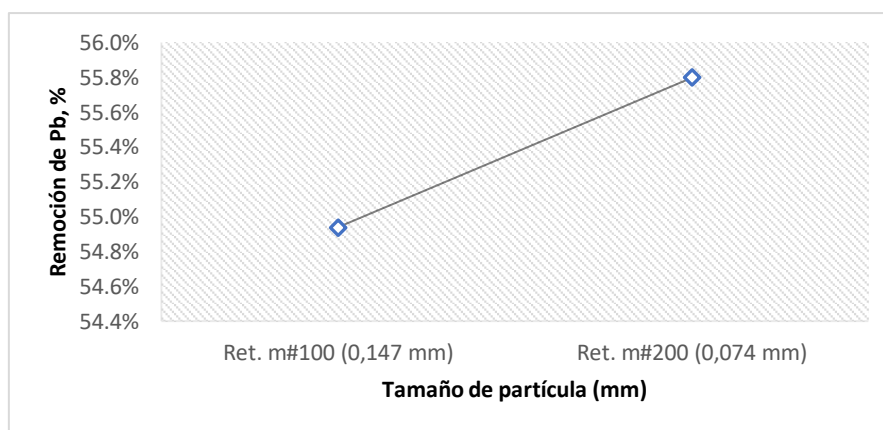


Figura 10. Gráfica del tamaño de partícula (mm) para % de remoción de Pb

La Figura 10, El gráfico muestra la variación del porcentaje de adsorción en relación con los distintos tamaños de partículas utilizados en el estudio, que evidencia que, a tamaño de partícula menor, la cáscara de plátano tiene una mayor área superficial favoreciendo la adsorción de los metales también se debe tener en cuenta el pH, tal como concluye (Noeline, et al., 2005), afirmando que el rango de pH óptimo para la eliminación máxima de plomo (II) fue de 5 a 9. La adsorción máxima de 98,5 y 89,9% tuvo lugar para una concentración inicial de 10 y 25 mg/l, respectivamente, a pH 6,0.

De la influencia del Tiempo de tratamiento en la Adsorción de Pb.

Tabla 7. Valores promedios en porcentaje de adsorción para el tiempo de tratamiento (min) para el % adsorción de Pb.

Tamaño de partícula de Cáscara <i>Musa Sapientum</i>	Tiempo de tratamiento (min)				
	10	30	60	90	120
Ret. malla #100 (0,147 mm)	53,91%	54,74%	55,10%	55,25%	55,69%
Ret. malla #200 (0,074 mm)	54,00%	55,04%	56,50%	56,62%	56,83%
Promedio de la bioadsorción de Pb vs tiempo de tratamiento (min)	53,96%	54,89%	55,80%	55,93%	56,26%

En la Tabla 7, se observa que la retención máxima de plomo alcanza el 56,26 % con un tiempo de tratamiento de 120 minutos, estos datos confirman la conclusión de la investigación de Božić, et al., (2009), que afirma que la adsorción depende del tiempo de proceso, el pH de la solución, el tipo de iones y de la concentración inicial de metales.

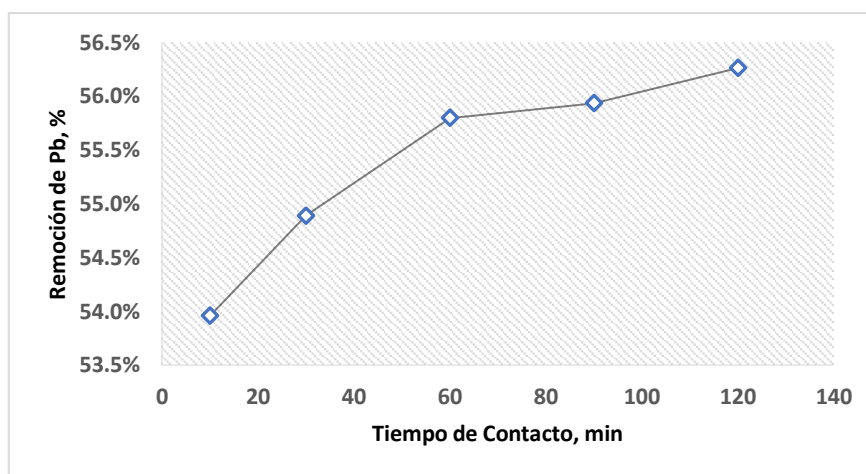


Figura 11. Tiempo de tratamiento vs. Remoción de Pb

La Figura 11, representa la evolución del porcentaje de adsorción en relación con la duración del tratamiento, concordando con la investigación de Anwar, et al., (2010), el cual afirma que las cáscaras de plátano tienen un buen potencial como adsorbente para eliminar metales tóxicos como el plomo y el cadmio del agua.

De la influencia de la Interacción del tamaño de partícula de cáscara de *Musa Sapientum* y Tiempo de tratamiento en la Adsorción de Pb

Tabla 8. Valores promedios de la interacción del tamaño de partícula de cáscara de *Musa Sapientum* y tiempo de tratamiento (mm) para % de adsorción de Pb.

Tamaño de partícula de Cáscara <i>Musa Sapientum</i>	Tiempo de tratamiento (min)					Promedio de la bioadsorción de Pb vs tamaño de partícula
	10	30	60	90	120	
Ret. malla #100 (0,147 mm)	53,91%	54,74%	55,10%	55,25%	55,69%	54,94%
Ret. malla #200 (0,074 mm)	54,00%	55,04%	56,50%	56,62%	56,83%	55,80%
Promedio de la bioadsorción de Pb vs tiempo de tratamiento (min)	53,96%	54,89%	55,80%	55,93%	56,26%	

En la Tabla 8, se evidencia que la retención máxima de plomo alcanza el 56,83 % utilizando la malla #200 (0,074 mm) en un tiempo de tratamiento de 120 minutos, lo cual está acorde con la investigación de Neris, et al., (2019), en que los iones metálicos en sistemas acuosos pueden ser removidos, mediante adsorbentes lignocelulósicos.

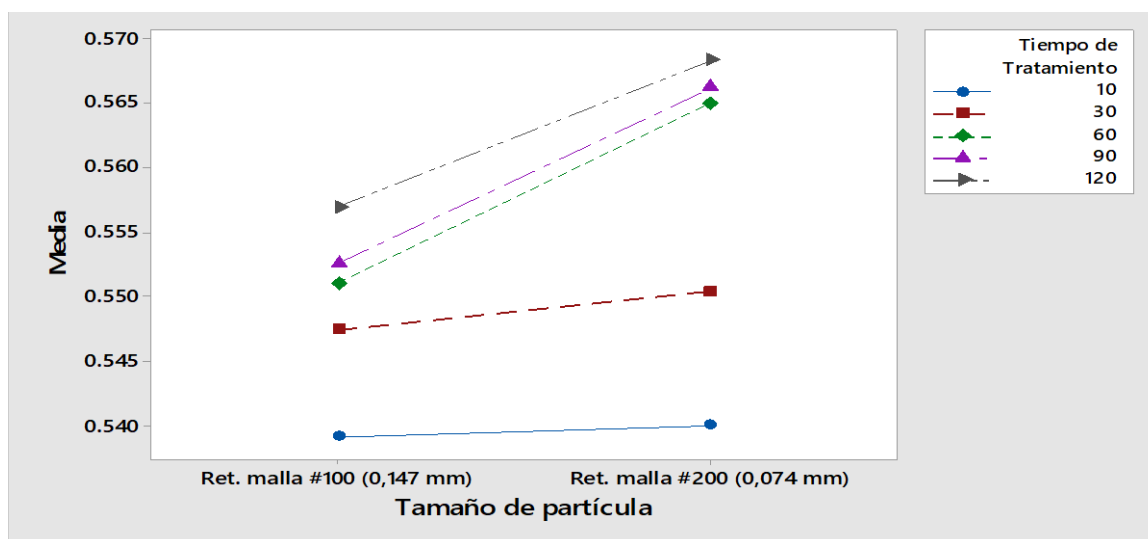


Figura 12. Tamaño de partícula (mm) y tiempo de tratamiento para % de remoción de Pb

La Figura 12, presenta la gráfica de la interacción entre las variables tanto para tamaño de partícula de cáscara de *Musa Sapientum* como para el tiempo de tratamiento, se tiene el valor p es menor que 0,05, para la Variable bioadsorción de plomo.

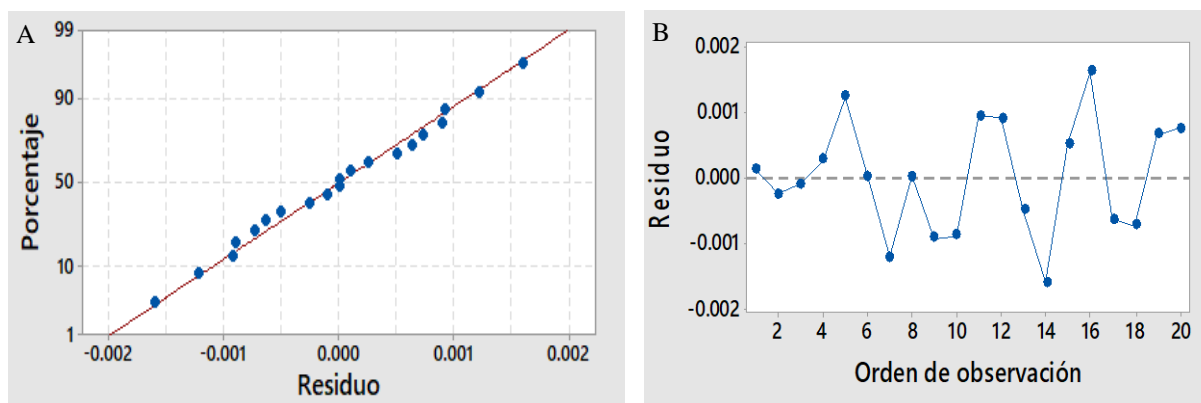


Figura 13. Prueba de probabilidad normal de datos y distribución normal para Plomo

La figura 13 A, Esto evidencia el principio de independencia, lo que evidencia la aleatoriedad en la investigación, o sea, que no se rige por un patrón uniforme, lo que implica la independencia de errores. La Figura 13 B exhibe la dispersión de los puntos en conjunto con la tendencia lineal, lo cual confirma el supuesto de normalidad. Además, esta afirmación se sustenta en el valor de R^2 del modelo, el cual asciende al 99,28%.

4. CONCLUSIONES

Los porcentajes de adsorción de cobre y plomo están significativamente influenciados por la duración del tratamiento y el tamaño de partícula de la cáscara de *Musa Sapientum*. Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) indican que tanto el tamaño de las partículas como el período de tratamiento poseen un valor p por debajo de 0,05 con 4 grados de libertad, lo que significa un efecto sustancial en la adsorción de estos metales.

La prolongación del tratamiento con cáscara de *Musa Sapientum* afecta significativamente la capacidad de adsorción de cobre y plomo. Se observa una mejora en la adsorción de cobre del 31,86% al 32,61% cuando la duración del tratamiento se prolonga de 10 a 120 minutos. La adsorción de plomo también se mejora con un tiempo de tratamiento prolongado, con el porcentaje de adsorción aumentando del 53,96% al 56,26% cuando

la duración se extiende de 10 a 120 minutos. Por lo tanto, la duración ideal para que la cáscara de *Musa Sapientum* logre una mayor adsorción de cobre es de 120 minutos.

El tamaño de las partículas de la cáscara de *Musa sapientum* afecta significativamente la capacidad de adsorción tanto para el cobre como para el plomo. Se observa un aumento del 31,94% al 32,66% para el cobre cuando el tamaño de partícula disminuye de 0,147 mm a 0,074 mm. La adsorción de plomo tiene una tendencia comparable, con el porcentaje aumentando del 54,94% al 55,80% cuando el tamaño de las partículas disminuye de 0,147 mm a 0,074 mm. En consecuencia, se puede inferir que el tamaño óptimo de partícula para mejorar la adsorción de cobre y plomo en la cáscara de *Musa sapientum* es de 0,074 mm.

El porcentaje ideal de absorción de cobre por la cáscara de *Musa Sapientum* es del 32,81%. El porcentaje máximo de adsorción de plomo es del 56,83%.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ahmad, T., Danish, M. (2018). Prospects of banana waste utilization in wastewater treatment: A review. *Journal of Environmental Management*, 206, 330–348. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.061>
- Ali, A., (2016). Removal of Mn (II) from water using chemically modified banana peels as efficient adsorbent. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 76, 1–30. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2016.12.004>
- Anwar, J., Shafique, U., Waheed, W., Salman, M., Dar, A., Anwar, S. (2010). Removal of Pb (II) and Cd (II) from water by adsorption on peels of banana. *Bioresource Technology*, 101, 1752–1755.
- Bagali, S. S., Gowrishankar, B. S., Roy, A. S., (2017). Estudios de optimización, cinética y equilibrio sobre la eliminación de plomo (II) de una solución acuosa utilizando pseudotallo de plátano como adsorbente, 409-415. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.03.024>
- Božić, D., Stanković, V., Gorgievski, M., Bogdanović, G., Kovačević, R. (2009). Adsorption of heavy metal ions by sawdust of deciduous trees. *Journal of Hazardous Materials*, 171, 684–692.
- Ghassabzadeh, H., Torab-Mostaedi, M., Mohaddespour, A., Ghannadi Maragheh, M., Ahmadi, S. J., Zaheri, P. (2010). Adsorption characteristics of Pb (II) from aqueous solution onto a natural biosorbent, fallen *Cinnamomum camphora* leaves. *Desalination*, 262, 174–182. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.05.028>
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.10.021>
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.198>
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.06.055>
- Jumbo, P., Nieto, D., (2014). Tratamiento químico y biológico de efluentes mineros cianurados a escala laboratorio. *MASKANA, I+D+ingeniería*, 2(01), 133–139. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/21359>
- Lesley, J., Jun, B. M., Flora, J. R., Park, C. M., Yoon, Y. (2019). Removal of heavy metals from water sources in the developing world using low-cost materials: A review. *Chemosphere*, 229, 149–159.
- Marichelvam, M., Azhagurajan, A. (2018). Removal of mercury from effluent solution by using banana corm and neem leaves activated charcoal. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 178, 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2018.08.005>
- Neris, B. J., Martinez, F. H., Paranhos da Silva, E. G., Garcia, F. (2019). Evaluation of adsorption processes of metal ions in multi-element aqueous systems by lignocellulosic adsorbents applying different isotherms: A critical review. *Chemical Engineering Journal*, 357, 404–420. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.09.125>
- Noeline, B. F., Manohar, D. M., Anirudhan, T. S. (2005). Kinetic and equilibrium modelling of lead (II) sorption from water and wastewater by polymerized banana stem in a batch reactor. *Separation and Purification Technology*, 45, 131–140. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2005.03.004>
- Rani, K., Gomathi, T., Vijayalakshmi, K., Saranya, M., Sudha, P. N. (2019). Banana fiber cellulose nano crystals grafted with butyl acrylate for heavy metal lead (II) removal. *International Journal of Biological Macromolecules*, 461-472. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.064>
- Revista Nuevas Energías. (2020). Día Mundial del Agua. [En línea] <http://revistanuevasenergias.com/2020/03/23/el-cuidado-del-agua-es-una-preocupacion-fundamental-del-sector-minero-afirmo-la-red-de-academicos-por-la-mineria-sustentable/> [Último acceso: 02 de Diciembre de 2024].

- Sistema Nacional de Información Ambiental - SINIA. (2003). Concentración de plomo en zonas mineras 2003. [En línea] <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/concentracion-plomo-zonas-mineras-2003> [Último acceso: 02 de Diciembre de 2024].
- Sistema Nacional de Información Ambiental - SINIA. (2017). Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias. [En línea] <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones> [Último acceso: 02 de Diciembre de 2024].
- Thuan, T. V., Phuong, B. T., Nguyen, T. D., Thanh, V. T., Giang, L. (2016). Response surface methodology approach for optimization of Cu^{2+} , Ni^{2+} and Pb^{2+} adsorption using KOH-activated carbon from banana peel. *Surfaces and Interfaces*, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2016.10.007>
- Zhou, Y., Chen, H., Feng, Q., Yao, D., Chen, H., Wang, H., Zhou, Z., Li, H., Tian, Y., Lu, X. (2017). Effect of phosphoric acid on the surface properties and Pb(II) adsorption mechanisms of hydrochars prepared from fresh banana peels. *Journal of Cleaner Production*, 165, 221–230. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.111>
- Zhou, Y., Zhang, L., Cheng, Z. (2015). Removal of organic pollutants from aqueous solution using agricultural wastes: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 212, 739–762. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2015.10.044>