

Green Innovation: Use of Residual Biomass in the Removal of Copper, Iron and Lead from Artisanal Mining Effluents

Daymaris Quispe-Banda¹; Gissel Rojas-Atilano², and Gladys S. Licapa-Redolfo³
^{1,2,3}Ingeniería Ambiental, Universidad Privada del Norte, Perú; N00196007@upn.pe, N00203702@upn.pe,
gladys.licapa@upn.edu.pe

Abstract— This research aims to evaluate the influence of contact time and the proportion of Zuro Zea Mays and Musa Paradisiaca peel on the removal of copper and total iron from artisanal mining effluents. These emerging technologies stand out for their low cost and high efficiency in metal adsorption due to their physical and chemical properties. Firstly, the in-situ parameters of the artisanal mining effluent were characterized, obtaining an initial pH of 2.17, characteristic of a very acidic industrial effluent, with concentrations of copper of 532,900 mg/L and iron of 989,700 mg/L. Then, three treatments were carried out with doses of 10, 15 and 20g of Zuro de Zea Mays and Musa Paradisiaca peel and their respective repetitions. It was possible to identify that the optimal contact time for the removal of Fe and Cu was 6 hours, showing the best results in all treatments. For copper, concentrations of 434.9 mg/L, 366.086 mg/L and 164.163 mg/L were obtained, corresponding to 18.39%, 31.30% and 69.19% removal respectively. In the case of iron, the removal percentages were 42.16%, 63.26% and 78.21%, which also represents significant removals. It is concluded that these results suggest the viability of using complementary treatments to reduce the concentration of metals in industrial effluents from artisanal mining to achieve better results and make them an economically attractive proposal due to their accessibility.

Keywords— Contact time, Cu removal, Fe removal, Zuro Zea mays; Musa paradisiaca shell

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD).
DO NOT REMOVE

Innovación Verde: Uso de Biomasa Residual en la Remoción de Cobre, Hierro y Plomo de Efluentes Mineros Artesanales

Daymaris Quispe-Banda¹; Gissel Rojas-Atilano², and Gladys S. Licapa-Redolfo³
^{1,2,3}Ingeniería Ambiental, Universidad Privada del Norte, Perú; N00196007@upn.pe, N00203702@upn.pe,
gladys.licapa@upn.edu.pe

Resumen— Esta investigación tiene como objetivo evaluar la influencia del tiempo de contacto y la proporción de Zuro Zea Mays y cáscara de *Musa Paradisiaca* en la remoción de cobre y hierro total de efluentes mineros artesanales. Estas tecnologías emergentes se destacan por su bajo costo y alta eficiencia en la adsorción de metales debido a sus propiedades físicas y químicas. En primer lugar, se caracterizaron los parámetros in situ del efluente minero artesanal, obteniendo un pH inicial de 2.17, característico de un efluente industrial muy ácido, con concentraciones de cobre de 532.900 mg/L y hierro de 989.700 mg/L. Luego, se realizaron tres tratamientos con dosis de 10, 15 y 20g de Zuro de Zea Mays y cáscara de *Musa Paradisiaca* y sus respectivas repeticiones. Se logró identificar que el tiempo de contacto óptimo para la remoción de Fe y Cu fue de 6 horas, mostrando los mejores resultados en todos los tratamientos. Para el cobre, se obtuvieron concentraciones de 434.9 mg/L, 366.086 mg/L y 164.163 mg/L, correspondientes a un 18.39%, 31.30% y 69.19% de remoción respectivamente. En el caso del hierro, los porcentajes de remoción fueron de 42.16%, 63.26% y 78.21%, lo que también representa remociones significativas. Se concluye que estos resultados sugieren la viabilidad de usar tratamientos complementarios para reducir la concentración de metales en los efluentes industriales de la minera artesanal para lograr mejores resultados y los convierten en una propuesta económicamente atractiva por su accesibilidad.

Palabras Clave— Tiempo de contacto, remoción de Cu, remoción de Fe, Zuro Zea mays; cáscara de *Musa paradisiaca*

I. INTRODUCCION

Los efluentes mineros contienen una gran cantidad de concentraciones elevadas de sólidos suspendidos, sulfatos y metales (Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Pb), entre otros, cuyas concentraciones son sumamente perjudiciales para la actividad biológica de los cuerpos de agua que entran en contacto con ellos [1]. La contaminación causada por los efluentes mineros tiene graves implicaciones en los componentes ambientales de los ecosistemas y la comunidad científica coincide en que la presencia de metales pesados en fuentes de agua representa un grave riesgo para la salud y el medio ambiente [2]. En tal sentido, es crucial proponer alternativas de solución eficientes y accesibles para abordar la problemática de la contaminación de aguas por metales pesados, ya sean métodos convencionales o no convencionales [3].

Entre los métodos no convencionales, la bioadsorción se destaca por utilizar elementos no tradicionales como biomasa residual y biomasa biológica [4]. La bioadsorción con biomasa residual es un método económico y efectivo para la

descontaminación de metales pesados en el agua [5]. En los últimos años, la aplicación y estudios de este método se han vuelto más frecuentes a nivel internacional, así como nacional y en las matrices que se han evaluado principalmente han sido aguas residuales industriales [6]

Entre las biomásas residuales evaluadas se encuentran el Zuro Zea Mays (mazorca de maíz), cáscara de *Citrus Sinensis*, cáscara de café, residuos de eucalipto, cáscara de coco y cáscara de *Musa Paradisiaca* [7]. Por ejemplo, la cáscara de *Musa Paradisiaca* ha demostrado una capacidad de bioadsorción de 68.414% de plomo en aguas residuales sintéticas [8]. Por su parte, el Zuro Zea Mays ha mostrado una buena capacidad de bioadsorción para metales como Fe y Pb en aguas provenientes de drenajes ácidos de mina [9] y arsénico en aguas subterráneas, alcanzando una eficiencia de 95.45% de bioadsorción [10].

La presente investigación se centra en la problemática de la presencia de metales pesados en un efluente minero sin tratamiento ubicado en Algamarca, provincia de Cajabamba, región Cajamarca. Este efluente tiene contacto directo con componentes ambientales como el suelo y agua superficial. Se busca determinar el grado de influencia que tienen factores como el tiempo de retención y la proporción de Zuro Zea Mays y cáscara de *Musa Paradisiaca* en la remoción de metales pesados. Con los resultados de esta investigación, se espera proporcionar datos significativos para la comunidad científica y contribuir al desarrollo de soluciones más efectivas y accesibles para la mitigación de la contaminación por metales pesados.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño de la investigación es experimental dada la naturaleza de recrear un fenómeno, al que se define como una situación de control en la que se manipula de manera intencional, las variables independientes con el fin de analizar las consecuencias en las variables dependientes [11].

A. Ubicación y recolección de muestras

La población objeto de estudio se compone de efluentes generados por actividades minero-metalúrgicas en Algamarca,

provincia de Cajabamba, región Cajamarca. Para la selección de la muestra, se optó por un método de muestreo por conveniencia en lugar de un método probabilístico. La selección de los efluentes se basó en criterios de accesibilidad y representatividad de las áreas impactadas por las actividades mineras, asegurando así la obtención de datos relevantes y precisos para el análisis.



Fig. 1. Mapa de ubicación del punto de muestreo

Durante la fase de identificación y reconocimiento del punto de muestreo, se siguieron las directrices y procedimientos establecidos en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. En la tabla 1 y Figura 1 se detallan el punto de muestreo y las coordenadas seleccionadas para esta investigación, proporcionando una referencia precisa para la recolección de datos y asegurando la conformidad con las normativas vigentes.

TABLA 1
COORDENADAS DEL PUNTO DE MUESTREO

Punto de Monitoreo	Descripción/ origen	Localidad	Zona UTM	Norte	Este	Altitud
P01	Contacto con el efluente minero	Algamarca/Cachachi	17M	802562	9157794	2618

B. Caracterización de la muestra

Se evaluaron los parámetros fisicoquímicos de la matriz antes de someterla a tratamiento. Tal como se muestra en la Tabla 2, el pH registrado fue de 2.7. Además, los análisis revelaron una alta concentración de metales, con valores de hierro de 989.70 ppm y cobre de 532.90 ppm. En las figuras subsecuentes, se compararán estos parámetros con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para actividades minero-metalúrgicas, considerando la naturaleza de la muestra.

TABLA 2
PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LA MUESTRA SIN TRATAMIENTO

	Parámetro	concentración/
	analizado	valor
Muestra previa al tratamiento (PM01)	pH	2.17
	Temperatura (C°)	23.1 C°
	Oxígeno Disuelto	5.83 mg/L
	Fe	989.700 mg/L
	Cu	532.900 mg/L
	Pb	2.794 mg/L
	Al	96.59 mg/L

C. Dosificación de mazorca de maíz y de cáscara de *Musa paradisiaca* para el tratamiento

Se emplearon 500 g de mazorca de maíz y 250 g de cáscara de *Musa paradisiaca* en peso húmedo, posteriormente fueron sometidos a tratamiento físico y tras esto, el peso seco de la mazorca de maíz fue de 300 g y el de la cáscara de *Musa paradisiaca* fue de 100 g. El estudio utilizó un diseño experimental factorial 3x3 con tres réplicas para analizar de manera exhaustiva los efectos de las dos variables independientes sobre la variable respuesta. La configuración experimental completa se detalla en la Tabla 3.

TABLA 3
MODELO MATRICIAL PARA EL EXPERIMENTO BIFACTORIAL

	Y ₁	Y ₂	Y ₃
	1	1	1
X1	M111	M121	M131
X2	M211	M221	M231
X3	M311	M321	M331

Donde:

M: Medición a efectuar.

X1.....X3: Tiempo de retención (h)

Y1.....Y3: Dosis de los bioadsorbentes (g/L) Muestras totales: (3x3x1) = 9

D. Procedimiento del tratamiento a escala de laboratorio

Antes del tratamiento, se utilizaron 500 g de mazorca de maíz y 250 g de cáscara de plátano (peso húmedo). Tras el proceso físico, se observó una reducción en el peso seco, alcanzando los 300 g para el maíz y 100 g para la cáscara de plátano, como se evidencia en la Figura 2.



Fig. 2 Obtención de biomasa a partir de zuro Mays y cáscara de Musa Paradisiaca

E. Análisis de datos

Para analizar los datos de adsorción, se calculó el porcentaje de remoción comparando las concentraciones iniciales y finales de los compuestos. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95% y un margen de error de $\pm 5\%$ para determinar si existían diferencias significativas entre los tratamientos. La prueba ANOVA se seleccionó debido a su capacidad para identificar diferencias significativas entre los grupos, lo que es crucial para el entendimiento de las variaciones dentro del conjunto de datos [12].

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Caracterización de la muestra sin tratamiento

El análisis de la muestra reveló altas concentraciones de metales pesados, con una notable predominancia de hierro, seguido de cobre, aluminio y zinc. Comparando estos resultados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) [13], se detectaron niveles significativos de plomo (Pb), arsénico (As), manganeso (Mn) y antimonio (Sb) que exceden los límites establecidos. Sin embargo, este estudio se enfoca específicamente en las concentraciones de hierro y cobre.

La Figura 3 muestra un perfil de metales en la matriz, destacando las elevadas concentraciones de hierro, cobre y plomo. Estos resultados sugieren una potencial contaminación por metales pesados.

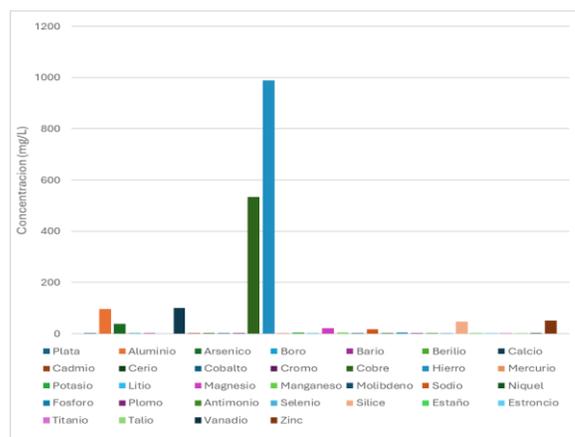


Fig. 3 Concentración (mg/L) de los metales totales en la muestra matriz

B. Comparación de las concentraciones sin tratamiento con los LMP.

En la Figura 4 se muestra la concentración de cobre total (Cu) en comparación de los Límites Máximos permisibles establecidos para las actividades minero-metalúrgicas [13] y se evidencia que la concentración de Cu Total sobrepasa significativamente los límites establecidos.

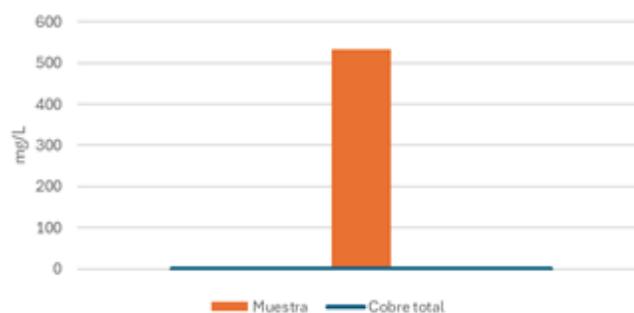


Fig. 4. Concentración de Cu Total en la muestra sin tratamiento y LMP

En la figura 5 se muestra la concentración de Pb Total (Pb) comparación de los LMP establecidos para las actividades minero-metalúrgicas y se evidencia que la concentración de Pb Total sobrepasa significativamente los límites establecidos [13].

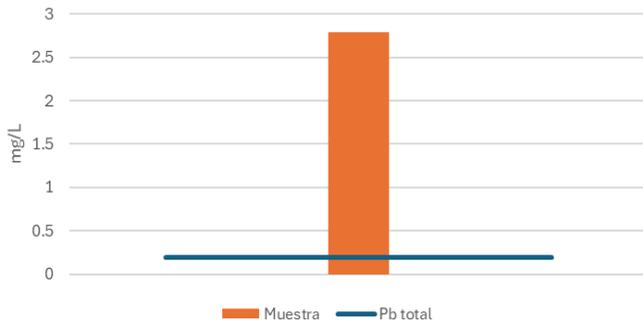


Fig. 5. Concentración de Pb Total en la muestra sin tratamiento y LMP

Para el caso del hierro total, no se realizó la comparación correspondiente dado que, la normativa no establece un valor límite para este parámetro. Bajo estas comparaciones se procede a aplicar la biomasa como alternativa de tratamiento para el efluente minero de la minera artesanal en estudios con los diferentes dosis y tiempos de contacto.

C. Resultados posteriores al tratamiento

Determinación de la eficiencia de remoción de los bioadsorbentes *Zuro Zea Mays* y la cáscara de *Musa Paradisiaca*, después de realizar el tratamiento los resultados obtenidos fueron los siguientes:

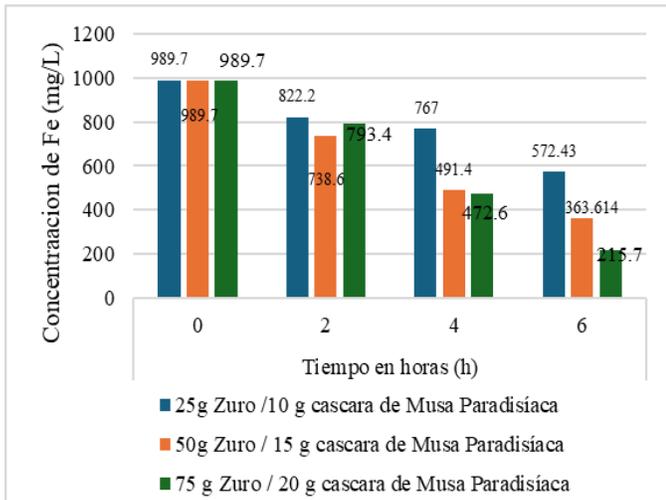


Fig. 6. Concentración del Fe (mg/L) en relación con el tiempo y la concentración del zuro de *Zea Mays* y la cáscara de *Musa Paradisiaca*

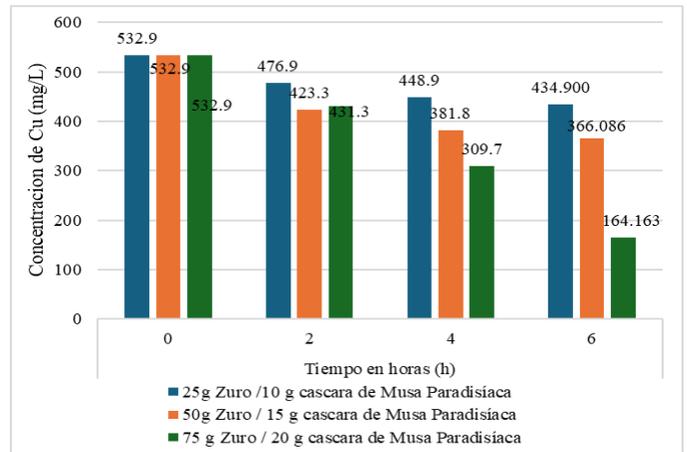


Fig. 7. Concentración del Cu (mg/L) en relación con el tiempo y la concentración del zuro de *Zea Mays* y la cáscara de *Musa Paradisiaca*

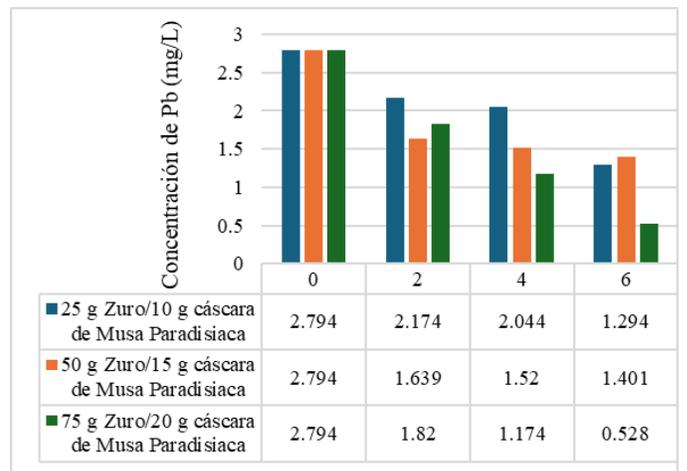


Fig. 8. Concentración del Pb (mg/L) en relación con el tiempo y la concentración del zuro de *Zea Mays* y la cáscara de *Musa Paradisiaca*

En las Figuras 6, 7 y 8 se observan que la concentración de hierro, cobre y plomo total disminuyen con el incremento del tiempo de contacto entre la muestra y la biomasa residual respectivamente. Adicionalmente, esta reducción es más pronunciada al aumentar la proporción de biomasa residual utilizada. Esto sugiere que tanto el tiempo de contacto como la cantidad de biomasa residual son factores críticos en la eficiencia del proceso de reducción de estos metales pesados.

D. Porcentajes de remoción de los metales pesados.

En las tablas 4, 5 y 6 se muestran los porcentajes de remoción de Fe, Cu y Pb respectivamente, al igual que en las figuras 6, 7 y 8 se puede evidenciar que a mayor cantidad de biomasa residual y a mayor tiempo de contacto existe un mayor porcentaje de remoción.

TABLA 4
PORCENTAJES DE REMOCIÓN DE Fe EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS

Tratamientos	Tiempo en horas (h)	Concentración del Fe (mg/L)	% Fe
T0	0	989.70	0%
T1: 10 g de cáscara de <i>Musa Paradisiaca</i> y 25 g de Zuro de <i>Zea Mays</i>	2	822.20	17%
	4	767.00	23%
	6	572.43	42%
T2: 15 g de cáscara de <i>Musa Paradisiaca</i> y 50 g de Zuro de <i>Zea Mays</i>	2	738.60	25%
	4	491.40	50%
	6	363.61	63%
T3: 20 g de cáscara de <i>Musa Paradisiaca</i> y 75 g de Zuro de <i>Zea Mays</i>	2	793.40	20%
	4	472.60	52%
	6	215.70	78%

TABLA 5
PORCENTAJES DE REMOCIÓN DEL Cu EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS

Tratamientos	Tiempo en horas (h)	Concentración de Cu (mg/L)	% Cu
T0	0	532.9	0%
T1: 10 g de cáscara de <i>Musa Paradisiaca</i> / 25 g de Zuro de <i>Zea Mays</i>	2	476.9	11%
	4	448.9	16%
	6	434.9	18%
T2: 15 g de cáscara de <i>Musa Paradisiaca</i> y 50 g de Zuro de <i>Zea Mays</i>	2	423.3	21%
	4	381.8	28%
T3: 20 g de cáscara de <i>Musa Paradisiaca</i> y 75 g de Zuro de <i>Zea Mays</i>	6	366.086	31%
	2	431.3	19%
	4	309.7	42%
	6	164.163	69%

TABLA 6
PORCENTAJES DE REMOCIÓN DEL Pb EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS

Tratamientos	Tiempo en horas (h)	Concentración del Plomo (mg/L)	% Pb
T0	0	2.794	0.00%
T1: 10 g de cáscara de <i>Musa Paradisiaca</i> y 25 g de Zuro de <i>Zea Mays</i>	2	2.174	22.19%
	4	1.639	41.34%
	6	1.82	34.86%
T2: 15 g de cáscara de <i>Musa Paradisiaca</i> y 50 g de Zuro de <i>Zea Mays</i>	2	1.639	41.34%
	4	1.52	45.60%
	6	1.174	57.98%
T3: 20 g de cáscara de <i>Musa Paradisiaca</i> y 75 g de Zuro de <i>Zea Mays</i>	2	1.82	34.86%
	4	1.401	49.86%
	6	0.528	81.10%

E. Análisis Estadístico de los resultados

Para realizar el análisis estadístico de los resultados obtenidos para la remoción de Cu, Fe y Pb se empleó el análisis de varianzas (ANOVA) el cual se trabajó al 95% de confianza.

TABLA 7
ANOVA EN LA EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE Cu

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	34911.0216	2	17455.5108	4.348616926	0.09924343	6.94427191
Bloques	22382.9179	2	11191.459	2.788080422	0.17447657	6.94427191
Error	16056.1494	4	4014.03736			
Total	73350.0889	8				

La tabla 7 se detalla los parámetros estadísticos que nos permitirán interpretar adecuadamente los resultados que se han obtenido con los tratamientos para remoción de Cu en la muestra de agua. Y se evidencia que en relación con el tratamiento (proporción) y bloques (tiempo de contacto) existe variaciones que no serían significativas.

TABLA 8
ANOVA EN LA EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE Fe

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	241090.687	2	120545.344	14.3625112	0.014940326	6.94427191
Bloques	88607.9694	2	44303.9847	5.27864831	0.075502011	6.94427191
Error	33572.2193	4	8393.05483			
Total	363270.876	8				

Como se observa en la tabla 8, el valor del F calculado para los tratamientos (proporción) y bloques (tiempo) es mayor a al valor teórico de F. Entonces a diferencia de el parámetro del Cu, el Fe presenta diferencias estadísticamente significativas en los tratamientos que se les realiza.

TABLA 9
ANOVA EN LA EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE Pb

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	0.62005689	2	0.310028	3.17166	0.14955	6.94427191
Tiempo	0.74278822	2	0.371394	3.79944	0.11893	6.94427191
Error	0.39099778	4	0.097749			
Total	1.75384289	8				

Como se observa en la tabla 9, el valor F calculado para los tratamientos (proporción) y bloques (tiempo de contacto) es menor al valor teórico de F, y se evidencia que en relación con el tratamiento (proporción) y bloques (tiempo de contacto) existe variaciones que no serían significativas.

IV. DISCUSIÓN

a. Características fisicoquímicas del efluente minero ácido

En esta investigación, se analizó un efluente minero ubicado en el centro poblado de Algamarca, provincia de Cajabamba, región Cajamarca. Este efluente tiene contacto directo con el cuerpo hídrico que discurre por la quebrada Cañaris, la cual se ha utilizado como depósito de aguas ácidas de mina provenientes de la minería artesanal e informal en la zona [14]. Según la Tabla 4, el pH de la muestra analizada es de 2.17, indicando un efluente altamente ácido. Las concentraciones de metales pesados totales en la muestra, presentadas en la Figura 3, junto con la ubicación mostrada en la Figura 2, permiten clasificarla como un efluente de actividades minero metalúrgicas, ya que cumple con todas las características relevantes de este tipo. Además las elevadas concentraciones de hierro (Fe) y cobre (Cu) total son indicativas de la actividad minera en la zona, lo cual evidencia la continua contaminación de los componentes ambientales circundantes [14].

Estas observaciones subrayan la necesidad urgente de abordar esta problemática para mitigar sus impactos a corto y largo plazo. Convirtiendo a la remoción de metales pesados del efluente en una acción esencial para reducir la contaminación y proteger la salud ambiental y humana de las áreas de influencia.

b. Eficiencia del Zuro Zea Mays y la cáscara de Musa paradisíaca para la remoción de Fe, Cu y Pb presente en efluente minero ácido

Para esta investigación, se emplearon cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca*) y mazorcas de maíz (*Zea mays*), debido a su uso frecuente en estudios nacionales para la remoción de cobre y hierro, respectivamente [15]. En estudios previos, estos materiales han sido probados por separado. Por ejemplo, utilizaron únicamente mazorcas de maíz para la remoción de hierro (Fe) y plomo (Pb) de drenajes ácidos de mina, demostrando su eficacia para el hierro pero no para el cobre [16]. Por otro lado, emplearon cáscaras de plátano para remover cobre y cadmio, observando una alta eficiencia en la remoción de cobre de aguas provenientes de actividades mineras [17].

Dado que la muestra de esta investigación presenta altas concentraciones de hierro (989.700 mg/L) y cobre (532.900 mg/L) y plomo (2.794 mg/L), se optó por una combinación de

ambos materiales para mejorar la eficiencia del tratamiento. El tratamiento T3 (75 g de mazorca de maíz y 20 g de cáscara de plátano) con un tiempo de contacto de 6 horas mostró los mejores resultados, removiendo aproximadamente 368.737 mg/L de cobre, lo que representa el 69% de la concentración inicial (Tabla 5).

La eficiencia de la cáscara de plátano para la remoción de cobre se explica por su capacidad para donar grupos ionizables y crear sitios vacíos en su estructura que pueden ser ocupados por iones metálicos [18]. Además se reportó que incrementa la remoción de cobre al aumentar la dosis de cáscara de plátano [19]. En contraste, la remoción de cobre utilizando únicamente mazorcas de maíz es casi nula [20]. El tiempo de contacto también juega un rol crucial en la eficiencia de remoción. En esta investigación, se observó que un mayor tiempo de contacto mejora los resultados, aunque los análisis estadísticos (Tabla 7) no muestran diferencias significativas en la remoción de cobre con respecto al tiempo.

Para la remoción de hierro, el tratamiento T3 también fue el más eficiente, logrando una remoción del 78% en comparación con el 62% del tratamiento T2 (15 g de cáscara de plátano y 50 g de mazorca de maíz). En cuanto a la remoción de plomo también mostró buenos resultados, con un 81% de remoción utilizando el tratamiento T3 y un tiempo de contacto óptimo de 6 horas. Sin embargo, los análisis estadísticos (Tabla 9) no muestran diferencias significativas, lo que indica que el tiempo y la proporción de bioadsorbentes no influyen tanto en el proceso de remoción de plomo como se esperaba.

Es importante destacar que, aunque los tratamientos mejoraron la calidad del efluente, no se lograron cumplir completamente los Límites Máximos permisibles [13]. Esto contrasta con estudios previos donde las concentraciones iniciales de metales eran significativamente menores y la diferencia en los resultados puede atribuirse a las mayores concentraciones de metales en la muestra utilizada en esta investigación.

En conclusión, la combinación de cáscara de plátano y mazorca de maíz mejora significativamente la remoción de hierro y cobre de efluentes mineros. Sin embargo, se requiere un mayor esfuerzo para cumplir con los Límites Máximos Permisibles, especialmente en condiciones de alta concentración de metales. Estos hallazgos subrayan la necesidad de desarrollar y optimizar métodos de tratamiento para abordar eficazmente la contaminación por metales pesados en ambientes mineros.

c. Implicancias de la investigación

Las implicaciones metodológicas de esta investigación incluyen la ampliación del conocimiento sobre el uso de biomasa residual en el tratamiento de efluentes industriales provenientes de actividades minero-metalúrgicas. Ya que, la combinación de mazorca de maíz (*Zea mays*) y cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) busca contribuir al desarrollo de

futuros diseños de tratamiento capaces de eliminar altas concentraciones de hierro (Fe), cobre (Cu) y Pb simultáneamente.

Además, este estudio es el primero en la provincia de Cajabamba que propone un tratamiento para esta clase de efluentes y el segundo a nivel regional en promover el uso de bioadsorbentes como la mazorca de maíz para el tratamiento de contaminantes en efluentes mineros ácidos. El objetivo es fomentar la profundización de esta temática en investigaciones regionales, considerando que Cajamarca es una de las regiones con mayores problemas relacionados con este tipo de efluentes. Debido a que, el incremento en la actividad minera artesanal ha generado una mayor carga contaminante en los cuerpos de agua, debido a la falta de tecnologías de tratamiento de efluentes en estas operaciones a pequeña escala.

Los resultados de este estudio adquieren especial relevancia en el contexto de la región Cajamarca, donde la actividad minera artesanal es significativa. La efectividad demostrada de la combinación de mazorca de maíz y cáscara de plátano ofrece una solución prometedora para el tratamiento de los efluentes generados por estas actividades, contribuyendo a la protección de los ecosistemas locales y al desarrollo sostenible de la región.

V. CONCLUSIÓN

La muestra recolectada cumple con todas las características típicas de los efluentes industriales de actividades mineras en la zona de estudio con presencia de minería artesanal e informal. Presenta parámetros de campo y analíticos correspondientes a altas concentraciones de metales pesados. El pH de la muestra fue de 2.17, caracterizándola como un efluente altamente ácido. Las concentraciones de cobre (Cu), hierro (Fe) y plomo (Pb) fueron de 532.900 mg/L; 989.900 mg/L y 2.794mg/L respectivamente, superando significativamente los Límites Máximos Permisibles (LMP).

El tiempo de contacto óptimo para el proceso de remoción de Fe, Cu y Pb fue de 6 horas, siendo este el que evidenció mejores resultados en todos los tratamientos aplicados. En el caso del Cu, las concentraciones después del tratamiento fueron de 434.9 mg/L, 366.086 mg/L y 164.163 mg/L, lo que representa un 18.39%, 31.30% y 69.19% de Cu removido, respectivamente. En cuanto al Fe, los porcentajes de remoción fueron de 42.16%, 63.26% y 78.21%, cifras que también son significativas, En cuanto al plomo presentan porcentajes de remoción 34.86%, 57.98% y 81.10% de plomo removido que son muy significativos.

Los resultados estadísticos indican que tanto el tiempo de contacto como la proporción de bioadsorbentes influyen en la remoción de metales pesados. Sin embargo, nuestros hallazgos sugieren que la proporción de bioadsorbentes es el factor que ejerce un efecto más pronunciado en la eficiencia del proceso,

especialmente cuando se combina con un tiempo de contacto óptimo. A mayor cantidad de mazorca de maíz (*Zea mays*) y cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), se puede disminuir el tiempo de contacto necesario para la remoción efectiva de los metales. No obstante, la efectividad del proceso dependerá del tipo de metal pesado que se busque remover y de la capacidad de adsorción de los bioadsorbentes utilizados.

En resumen, esta investigación demuestra la viabilidad del uso combinado de mazorca de maíz y cáscara de plátano para la remoción de metales pesados en efluentes mineros ácidos, resaltando la importancia del tiempo de contacto y la proporción de bioadsorbentes en la eficiencia del tratamiento. Estos hallazgos pueden contribuir significativamente al desarrollo de métodos sostenibles para la gestión de efluentes mineros en la región de Cajamarca.

AGRADECIMIENTO

Los autores expresan su más sincero agradecimiento a la Universidad Privada del Norte por la generosa financiación otorgada para la realización de esta investigación, así como por el invaluable apoyo brindado en términos de infraestructura y recursos.

REFERENCIAS

- [1] López Pamo, E., Aduvire, O., & Baretino, D. (2002). Tratamientos pasivos de drenajes ácidos de mina: Estado actual y perspectivas de futuro. *Boletín Geológico y Minero*, 113(1), 3–21.
- [2] Sanchez Rial, J. E., & Ferreira Centeno, J. P. (2016). Drenajes ácidos de mina alternativas de tratamiento. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 1, 20–33. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S251953522016000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es%0Ahttp://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2519-53522016000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- [3] Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz García, F. G. (2016). Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)
- [4] Valladares Cisneros, M. G., Valerio Cárdenas, C., de la Cruz Burelo, P., & Melgoza Alemán, R. M. (2017). Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16(31), 55–73. <https://doi.org/10.22395/rium.v16n31a3>
- [5] Duany-Timosthe, S., Arias-Lafargue, T., Bessy-Horruitiner, T., & Rodríguez-Heredia, D. (2022). Bioadsorbentes no convencionales empleados en la remoción de metales pesados. *Revisión. Tecnología Química*, 42(1), 94–113. <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v42n1/2224-6185-rtq-42-01-94.pdf>
- [6] Pardavé-Livia, W., Fernández, M., Florez, D., Yactayo, M., Lovera, D., Quispe, J., & Landauro, C. (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>
- [7] Chuquilin, M. C. L. (2020). Técnicas de tratamiento para la Remoción de Metales Pesados en Aguas Residuales [Universidad Científica del Sur]. https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/1590/TB-Chuquilin_C.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [8] Mario Sergio, S. T. (2015). Conflictos sociales y recursos hídricos. Serie Informes de Adjuntía (Vol. 153). http://www.defensoria.gob.pe/modules/Downloads/informe_s/varios/2015/IA-Conflictos-por-Recursos-Hidricos.pdf
- [9] Sempertegui, C., Ambrosio, B., & Rudas, C. (2019). Determinación De La Concentración De Mercurio, Cadmio, Arsénico Y Plomo En El Río Saucicucho Y Efluente Minero. San Miguel De Algamarca. Cajabamba [Universidad Privada del Norte]. https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/21627/Sempertegui_Soriano_Cristhian_Omar_-_Ambrosio_Sernaqué_Betsy_Lorena_-_Rudas_Cabrera_Carlos_Alberto.pdf?sequence=6&isAllowed=y
- [10] Cabana, R. (2022). Comparación de la eficiencia de los bioadsorbentes semilla de palta (persea americana) y mazorca de maíz (zea mays) en la remoción del arsénico (As) de las aguas naturales del subsuelo de la zona del distrito de Torata [Universidad Nacional de Moquegua]. En Repositorio institucional ALICIA. <http://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/310>
- [11] Hernández Sampieri, R. (2018). Metodología de la Investigación. En C. Fernández Collado & P. Baptista Lucio (Eds.), Introducción a la seguridad informática y el análisis de vulnerabilidades (Sexta). McGRAW - HILL. <https://doi.org/10.17993/ingytec.2018.46>
- [12] Jorge Dagnino, S. (2014). Análisis de varianza. Revista Chilena de Anestesia, 43(4), 306–310. <https://doi.org/10.2307/j.ctvvn8k0.7>
- [13] Ministerio del Ambiente del Perú (2010). Aprueban límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas (Decreto Supremo N.º 010-2010-MINAM)
- [14] Shahuindo, S. A. C., Ambiental, D. I., & Shahuindo, M. (2022). Ampliación y / o Cambios Tecnológicos Solicitados (Número C). <https://eva.senace.gob.pe:8443/AppIntegracionCMIS/rest/WebServiceECM/DownloadByGet?docId=3094c64e-7ef7-490a-9dc5-06700a562644&z=/>
- [15] Duany-Timosthe, S., Arias-Lafargue, T., Bessy-Horruitiner, T., & Rodríguez-Heredia, D. (2022). Bioadsorbentes no convencionales empleados en la remoción de metales pesados. Revisión. Tecnología Química, 42(1), 94–113. <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v42n1/2224-6185-rtq-42-01-94.pdf>
- [16] Tejada Tovar, C., Herrera, A., & Núñez Zaru, J. (2016). Remoción de plomo por biomasa residual de cáscara de naranja (Citrus sinensis) y zuro de maíz (Zea mays). Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 19(1), 169–178. <https://doi.org/10.31910/rudca.v19.n1.2016.126>
- [17] Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortiz, Á., & Garcés-Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. Tecnológicas, 18(34), 109. <https://doi.org/10.22430/22565337.209>
- [18] Maruf, M. S. (2019). Eliminación de Cobre de Residuos Textiles. Addis ababa Science and Technology University.
- [19] Galarza Morales, E., & Reyes Moreno, J. G. (2020). Aplicación de cáscara de plátano (Musa Paradisiaca) pulverizado para la reducción del cadmio de las aguas de la actividad minera de Huanza [Universidad Cesar Vallejo]. En Universidad Cesar Vallejo. http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [20] Bautista Teran, R. J., & Machuca Jimenez, A. (2018). Influencia del tiempo de retención y proporción del zuro de zea mays en el drenaje ácido de mina para la remoción de hierro y plomo total del río hualgayoc – arascorgue, cajamarca, 2019 [Universidad Privada Antonio Guillermo Urrello]. En Universidad Privada Antonio Guillermo Urrello. http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/1654/TESIS_LEALTAD_Y_Posicionamiento.pdf?sequence=1&isAllowed=y