

Removal of Zinc and Copper in Acidic Waters from Mine Tailings Using an Eggshell Biofilter

Gladys S. Licapa-Redolfo¹, Gary Christiam Farfán Chilicaus², Paulo C. Poma³, Rolando Licapa-Redolfo⁴

^{1,3}Universidad Privada del Norte, Perú, gladys.licapa@upn.edu.pe; N00179583@upn.pe

²Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, gfarcanc@unitru.edu.pe

⁴Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Perú, dinner.licapa@unsch.edu.pe

Abstract: This study evaluates the efficiency of copper and zinc removal in acidic waters using biofilters made from eggshells. Seepage samples of mine tailings were collected in Hualgayoc. The work follows a quantitative approach, is based on an experimental design, with the purpose of seeking sustainable alternatives for the protection of the environment and the mitigation of environmental damage. The results obtained, thanks to chemical and physical analyses, demonstrated the ability of these bioadsorbents to retain heavy metals from discharges. In the case of zinc, a higher percentage of removal was achieved, 66.3%, using the 50-mesh through eggshell biofilter at six hours, while the lowest percentage was 26.5%. On the other hand, the removal of copper presented high values in the two filters, being the most efficient at six hours with 50 mesh through eggshell, with a removal of 84.8%. The lowest percentage of copper removal was 60.9%, achieved with the 12 mesh through eggshell biofilter after two hours. The results confirm that the biofilters used were effective in reducing the concentration from 0.98 mg/L to 0.29 mg/L of Zn and 1.84 mg/L to 0.28 mg/L of Cu in the acid water samples from the mine tailings.

Keywords: Eggshell, water, removal, biofilter.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD).

DO NOT REMOVE

Remoción de Zinc y Cobre de Agua Ácida de Relave Minero Mediante Biofiltro de Cáscara de Huevo

Gladys S. Licapa-Redolfo¹, Gary Christiam Farfán Chilicaus², Paulo C. Poma³, Rolando Licapa-Redolfo⁴

^{1,3}Universidad Privada del Norte, Perú, gladys.licapa@upn.edu.pe; N00179583@upn.pe

²Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, gfarfanc@unitru.edu.pe

⁴Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Perú, dinner.licapa@unsch.edu.pe

Resumen: Este estudio evalúa la eficiencia de la remoción de cobre y zinc en aguas ácidas empleando biofiltros fabricados con cáscaras de huevo. Las muestras de filtración de relave minero fueron recolectadas en Hualgayoc. El trabajo sigue un enfoque cuantitativo, se basa en un diseño experimental, con la finalidad de buscar alternativas sustentables para la protección del medio ambiente y la mitigación de daños ambientales. Los resultados obtenidos, gracias a análisis químicos y físicos, demostraron la capacidad de estos bioadsorbentes para retener metales pesados de los vertimientos. En el caso del zinc, se logró un mayor porcentaje de remoción 66.3%, utilizando el biofiltro con cáscara de huevo pasante de malla 50 a las seis horas, mientras que el menor porcentaje, 26.5%. Por su parte, la remoción de cobre presentó altos valores en los dos filtros, siendo la más eficiente a las seis horas con cáscara de huevo pasante de malla 50, con una remoción del 84.8%. El menor porcentaje de remoción de cobre fue de 60.9%, alcanzado con el biofiltro de cáscara de huevo pasante malla 12 a las dos horas. Los resultados confirman que los biofiltros utilizados fueron efectivos para disminuir la concentración de 0.98 mg/l a 0.29 mg/L de Zn y 1.84 mg/L a 0.28 mg/L de Cu en las muestras de agua ácida procedentes del relave minero.

Palabras clave: Cáscara de huevo, agua, remoción, biofiltro.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es fuente de vida para las personas y de su existencia, a pesar de que en muchas partes del mundo la calidad del agua ha pasado a un segundo plano frente a la necesidad de tratarla. Esto hace necesario el uso de fuentes donde existe alguna contaminación imperceptible con compuestos nocivos para la salud a largo plazo [1]. Las descargas industriales de metales pesados se consideran los contaminantes inorgánicos más importantes en los cuerpos de agua, ya que afectan en gran medida la salud humana y el bienestar ambiental. En el presente contamos con innumerables casos de contaminación a causa de metales pesados, la mayoría por causa de la actividad minera, según indica un informe de septiembre del 2022 echo por la Defensoría del Pueblo peruana, se reveló el total de 136 conflictos “socio ambientales”, llegando a admitir que son más de dos tercios de todos los conflictos sociales registrados vinculados con actividad minera [2]. Estas acciones traen consigo degradación en la biodiversidad y daños en diferentes cuerpos de agua, ocasionando la disminución de su PH obteniendo como efecto aguas ácidas.

Se abordan dicotomías tanto en el ámbito político como social: ¿minería o agua? ¿Minería o conservación de recursos? ¿Minería o industrialización? Todas estas preguntas son válidas y el Estado debe responder a las preocupaciones de la gente y obedecer a su consenso de Pretell Avalos de Huamán Quispe &

Tafur Izquierdo [3]. De esta manera existe la inquietud por el medio ambiente y específicamente en el uso descuidado del agua, aportando diversos métodos para su conservación y las diferentes maneras de llegar a la gente para poder concientizar de manera objetiva su cuidado. Por otro lado, hay manifiestos que indican la contaminación del agua es un problema mundial trayendo consigo problemas en diferentes partes, por ello es nuestra tarea contribuir en el cuidado de este recurso siendo de mucha utilidad para la existencia de vida y actividades diarias [4].

También, hay estudios que tienen por objetivo la construcción de un filtro casero, evaluando la efectividad y la manera en la que este actúa con la eliminación del contaminante y microorganismos, esto con el fin de mantener la importancia del agua en nuestra vida. Se han utilizado varios métodos para separar iones de aguas residuales líquidas que contienen metales pesados. Sin embargo, para la remoción de bajas concentraciones de metales pesados, son menos efectivos y algunos métodos requieren el uso de productos químicos costosos, que presentan desventajas significativas de los métodos tradicionales [5].

Para ello, se desarrolla la efectividad de los filtros a base de cáscara de huevo como neutralizantes de ácidos, bacterias y microorganismo en aguas ácidas, con ello se utiliza este tipo de herramientas para la creación de capas de filtración y logrando consigo la regulación de ácidos. El agua ácida se produce por la exposición de materiales mineros estériles y relaves que contienen componentes de azufre a oxígeno atmosférico y agua no identificados. Los beneficiarios de las áreas terrestres y acuáticas son los más afectados y el ecosistema está desequilibrado [6].

Es importante tener claro conocimiento del origen que tiene la acidez, siendo a veces producto del contacto de agua y aire por causa del CO₂. Se conoce que las operaciones mineras no pueden realizar de manera efectiva sus actividades sin el apoyo del agua, de esta manera se busca alternativas de abastecimiento, como agua subterránea o cuerpos de agua cercanos a la ubicación minera. Por consecuencia del suministro se ah tenidos impactos tanto en las cercanías o límites de la zona, ya que la gran cantidad de materiales y desechos generados deben almacenarse adecuadamente en depósitos de desechos y relaves conocidos como rellenos sanitarios o embalses de relaves. En general, estos residuos mineros suelen contener sulfuros, los cuales provocan algunas reacciones químicas al entrar en contacto con la atmósfera y el agua. Un proceso complejo de transformaciones físicas,

químicas y biológicas que conducen a la producción de drenaje ácido de mina SRK Consulting (Perú) S.A.[7]. De esta manera usando estos métodos se busca una opción accesible generando un estabilizador de pH alternativo fácilmente disponible basado en cáscaras de huevo que utiliza métodos experimentales para encontrar puntos y niveles estándar para que cualquier valor potencial de hidrógeno por debajo de 6,5 se considere ácido y no apto para el consumo humano para cumplir con las regulaciones. [8]. Con ello teniendo se tiene la cáscara de huevo como una alternativa potencial de solución, siendo una parte del huevo la cual ya no es aprovechada para consumo humano y es generado en cantidades masivas, según nos indica Faostat que a nivel mundial su producción supera 1.633 billones de unidades producidas en el año 2021 [9].

Por consiguiente, se ofrece métodos sencillos, accesibles y eficientes para los diferentes beneficios de las ciudades y comunidades, ya que este material tiene un interés potencial como enmienda química en aguas ácidas, por otro lado, beneficia a las personas sin el acceso a un tratamiento de agua mejorando el medio ambiente y aprovechando el despojo almacenado. Este residuo sólido captura los contaminantes del agua y los lixiviados mediante un proceso sencillo y económico, principalmente porque se trata de carbonato de calcio, considerado uno de los mejores adsorbentes de metales por sus iones [10].

De esta manera, se realiza un manejo del residuo, dándole un segundo uso a favor del medio, trayendo consigo buenos resultados. Así demuestra otra investigación que tuvo como objetivo utilizar cáscaras de huevo para eliminar el Cu (II) presente en el agua de relave antes de que se descargara en la laguna Quiulacocha-Cerro de Pasco. Las variables independientes evaluadas fueron el tiempo de adsorción a los siguientes niveles: 60 min, 90 min y 120 min y el tamaño de partícula del adsorbente a los siguientes niveles: 0,42 mm, 0,595 mm y 0,841 mm, y la variable dependiente fue la concentración. cobre (II); Antes de iniciar el proceso de adsorción, las cáscaras de huevo se caracterizaron mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier, que proporciona una comprensión de los grupos funcionales presentes en las cáscaras de huevo, lo que las convierte en buenos adsorbentes para la eliminación de cobre [11]. De manera similar, otro estudio involucró la degradación del ácido húmico, un compuesto modelo en los lixiviados de los vertederos, mediante oxidación húmeda catalítica utilizando catalizadores de hierro y cobre soportados en cáscaras de huevo. A partir de él se prepararon cuatro catalizadores por el método de impregnación húmeda: 5% y 15% de cobre. Los catalizadores se caracterizaron completamente en términos de composición química (análisis elemental, microanálisis de rayos X de energía dispersiva (EDX), fluorescencia infrarroja transformada de Fourier (FTIR), estructura (absorción-desorción con nitrógeno a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$), análisis térmico). Estabilidad (análisis termogravimétrico) y morfología (microscopía electrónica de barrido (SEM) y microscopía electrónica de transmisión (TEM)) [12].

Por otro lado, otro estudio determinó niveles de uso de cáscara de huevo para la remediación de tierras agrícolas

contaminadas con arsénico en la provincia de Kanthal. Ofrecen un nivel de investigación aplicada, diseño experimental e interpretación con una población de 1754 m^2 y un tamaño de muestra de 30 m^2 . El tratamiento se dividió en tres fases, 9 muestras y 3 repeticiones, es decir, 27 muestras de 2000 g de suelo agrícola contaminado con arsénico fueron tratadas con dosis de 100 g , 200 g y 300 g de cáscara de huevo, y el tamaño de partícula fue pequeño. Es igual a $0,355\text{ mm}$ y se evalúa en tres periodos de tiempo: 15 días, 30 días y 45 días [13].

Finalmente, la investigación para el cuidado ambiental es el factor determinante en la búsqueda de nuevas alternativas para el cuidado de esta, limitando los daños ambientales y generando nuevas formas de neutralización por parte de la ciudadanía. Como resultado, se han agravado los problemas ambientales, especialmente los relacionados con la contaminación y sobreexplotación de los acuíferos; que las personas continúan practicando hábitos derrochadores y carecen del conocimiento y los programas de educación general que promueven la conservación y el ahorro [14].

El objetivo principal de este estudio es evaluar la eficiencia de remoción de zinc y cobre en aguas ácidas utilizando biofiltros fabricados con cáscaras de huevo y compararlos con los LMP para la descarga de efluentes minero metalúrgicos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Ubicación y recolección de muestras

Se llevó a cabo la recolección de la muestra de filtración de relave minero en el caserío la Cuadratura, distrito de Hualgayoc, Cajamarca lo cual se muestra en la fig. 1. Antes de realizar el muestreo se preparó todos los utensilios que se utilizaron en el campo como son los EPPs, baldes, lapiceros, etc. Luego se procedió a recolectar la muestra de agua de relave minero en un balde de 4L el cual fue sumergido en dirección contraria al flujo, este procedimiento se repitió 4 veces hasta lograr recolectar 16 L de agua, por último, la muestra fue colocada en frascos rotulados para ser llevados al laboratorio.



Fig. 1: Ubicación de la recolección de la muestra, La Cuadratura, Hualgayoc

B. Caracterización de la muestra.

Se tuvo en cuenta parámetros medidos en campo como el pH, conductividad se presenta en la tabla 1, así como metales pesados (Cu y Zn) presentes en la muestra, El proceso experimental se divide en tres partes a partir de la recolección de muestras, y el experimento se realizaron en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Privada del Norte.

C. Preparación del biofiltro

Para el biofiltro se utilizaron biomasa de cáscara de huevo la cual fue lavada con agua destilada para eliminar todas las partículas de suciedad, luego se hirvieron, para posteriormente ser secadas en una estufa, al estar listas se dejó enfriar a temperatura ambiente, cuando las cáscaras de huevo se encontraron secas se procedió a triturarlas en un mortero, para finalmente tamizarla utilizando tamices de acero inoxidable número 50 y 12 que representan diferentes grados del material y fueron seleccionados debido a sus propiedades particulares que los hacen útiles para la investigación con el propósito de tener diferentes tamaños de partículas.

D. Procedimiento del tratamiento a escala de laboratorio

Se procedió a determinar el pH y conductividad, oxígeno disuelto y temperatura utilizando el multiparámetro HACH, así mismo se determinó con el colorímetro la concentración de metales como Cu y Zn presentes en la muestra, todo ello para determinar el estado de la muestra antes de pasar por el biofiltro.

Seguidamente, se evaluaron las muestras pasadas por los biofiltros, dichas muestras estuvieron en frascos debidamente rotulados, teniendo resultados favorables en cuanto a los parámetros medidos se muestran en la tabla 3 y tabla 5.

E. Cálculo de remoción de metales.

Para determinar la eficiencia de remoción se aplicó la ecuación 1:

$$PR = \left(\frac{Ci - Cf}{Ci} \right) \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

PR: Porcentaje de remoción
 Ci: Concentración inicial
 Cf: Concentración final

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A. Resultados de parámetros iniciales

En la tabla 1 se muestra los parámetros iniciales que nos darán una referencia de las concentraciones iniciales de Zn y Cu al pasar por el biofiltro notamos si hay cambio significativo

mediante la filtración utilizando las cáscaras de huevo en un tiempo determinado.

TABLA 1
 PARAMETROS INICIALES

Metales	Unidad	parámetros
Zinc	mg/L	0.98
Cobre	mg/L	1.84
pH	--	5.8
Conductividad	mS/cm	308

B. Límites máximos permisibles

En la tabla 2 se muestran los límites máximos permisibles (LMP) que tomaremos como referencia para comparar postratamiento con la normativa para el sector que están establecidos por el Decreto Supremo N°010-2010-MINAN.

TABLA 2
 LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA LA DESCARGA DE EFLUENTES MINEROS SEGÚN MINAM

Metales	Unidad	parámetros
Zinc	mg/L	1.5
Cobre	mg/L	0.5

C. Resultados de concentración de zinc.

En la tabla 3 se muestra que el agua contaminada al estar en contacto con la cascara de huevo con nro. De malla 50 y 12 logra una disminución significativa del valor inicial que es de 0.98 mg/L y que al estar más tiempo habrá más menos concentración de Zinc, y eso se puede ver en la figura 1. Cabe recalcar que en todas las pruebas solo se han usado 15g cada uno.

TABLA 3
 CONCENTRACIONES RESIDUALES DE ZINC A DIFERENTES TIEMPOS Y CON DIFERENTES MALLAS

Tiempo (horas)	Zinc					
	Malla 12			Malla 50		
	M1 (mg/L)	M2 (mg/L)	M3 (mg/L)	R1 (mg/L)	R2 (mg/L)	R3 (mg/L)
2	0.31	0.39	0.40	0.62	0.60	0.55
4	0.42	0.38	0.39	0.48	0.46	0.46
6	0.33	0.35	0.39	0.29	0.33	0.35

TABLA 4
PORCENTAJES DE REMOCIÓN DE ZINC A DIVERSOS INTERVALOS DE TIEMPO Y CON DIFERENTES MALLAS

Tiempo (h)	Malla	%Remoción
2	12	68.37%
2	12	60.20%
2	12	59.18%
2	50	36.73%
2	50	38.78%
2	50	43.88%
4	12	57.14%
4	12	61.22%
4	12	60.20%
4	50	51.02%
4	50	53.06%
4	50	53.06%
6	12	66.33%
6	12	64.29%
6	12	60.20%
6	50	70.41%
6	50	66.33%
6	50	64.29%

En la Tabla 4, podemos observar los porcentajes de remoción de zinc, comenzando con las pruebas realizadas utilizando la malla 12 durante un período de 2 horas por triplicado, se puede observar el porcentaje de remoción: 68.37%, 60.20% y 59.18%, dando un promedio de 62.58% de remoción de Zn para la malla 12. Del mismo modo las pruebas realizadas utilizando la malla 50 durante un período de 2 horas, los porcentajes de remoción por triplicado fueron: 36.73%, 38.78% y 43.88%. Presentando un promedio de remoción de zinc de 39.80%.

Posteriormente, en las pruebas realizadas con la malla 12 durante un período de 4 horas, los porcentajes de remoción de zinc que se obtuvieron fueron: 57.14%, 61.22% y 60.20%, con un promedio de 59.52% de remoción para Zn. Igualmente se observan las pruebas realizadas con la malla 50 durante un período de 4 horas, los porcentajes de remoción obtenidos fueron: 51.02%, 53.06% y 53.06%, y un promedio de 52.38%.

Cuando se extiende el período de filtración a 6 horas utilizando la malla 12, los porcentajes de remoción de zinc obtenidos son: 66.33%, 64.29% y 60.20%; siendo un promedio de 63.61% de Zn. Finalmente, en las pruebas realizadas durante un período de 6 horas utilizando la malla 50, los porcentajes de remoción de zinc fueron: 70.41%, 66.33% y 64.29%. con un promedio de 67.01%.

La concentración inicial de zinc en la muestra antes de la filtración era de 0.98 mg/L. Esta cantidad es crucial, ya que es

el punto de partida de todas las pruebas y proporciona una línea de base para la evaluación de la eficacia de las mallas de filtración utilizadas en estas pruebas así como se muestra en la fig. 2.

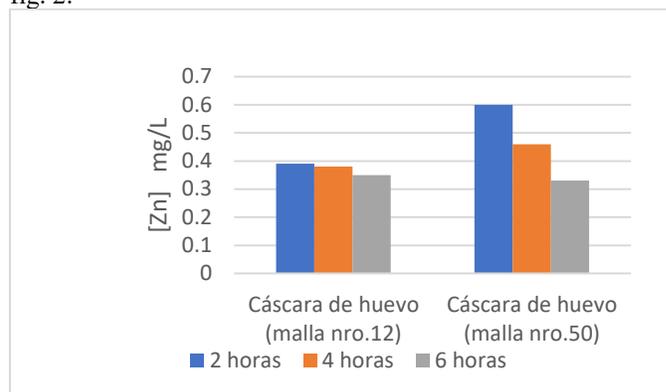


Figura 2. Concentración de Zn durante el tratamiento.

C. Resultados de remoción de cobre

En la tabla 5 se demuestra que si hay una reducción significativa de cobre respecto al valor inicial sin tratamiento 1.84 gramos sin embargo con la cascara de huevo con malla nro. 50 durante las 4 horas no hubo un cambio, después de las 6 horas hubo una mínima disminución pero desde la 2 horas se encuentran dentro del parámetro y esto pasa con la cascara de huevo con malla nro. 12 es decir, que para el cobre también son eficientes según las pruebas realizadas para la cascara de huevo de malla nro. 50 es más efectiva, en cambio con la malla nro. 12 se necesita más tiempo para que haga una absorción positiva y tener unos buenos resultados.

TABLA 5
CONCENTRACIONES RESIDUALES DE COBRE A DIFERENTES TIEMPOS Y CON DIFERENTES TAMAÑOS DE MALLA

Tiempo (horas)	Cobre					
	Malla 12			Malla 50		
	M1 (mg/L)	M2 (mg/L)	M3 (mg/L)	R1 (mg/L)	R2 (mg/L)	R3 (mg/L)
2	0.81	0.72	0.77	0.29	0.31	0.28
4	0.60	0.57	0.61	0.33	0.31	0.30
6	0.5	0.48	0.49	0.3	0.28	0.29

En la Tabla 6, podemos observar los porcentajes de remoción de cobre, empezando por las pruebas realizadas con la malla 12 en un período de 2 horas, los porcentajes de remoción de cobre obtenidos fueron 55.98%, 60.87% y 58.15% con un promedio de remoción de 58.33% de Cu. Asimismo, en las pruebas realizadas en el mismo intervalo de tiempo de 2 horas, pero usando la malla 50, los porcentajes de remoción registrados fueron 84.24%, 83.15% y 84.78%. con un promedio de 84.06% de Cu para esta malla.

TABLA 6
PORCENTAJES DE REMOCIÓN DE COBRE A DIVERSOS
INTERVALOS DE TIEMPO Y CON DIFERENTES TAMAÑOS MALLAS

Tiempo (h)	Malla	%Remoción
2	12	55.98%
2	12	60.87%
2	12	58.15%
2	50	84.24%
2	50	83.15%
2	50	84.78%
4	12	67.39%
4	12	69.02%
4	12	66.85%
4	50	82.07%
4	50	83.15%
4	50	83.70%
6	12	72.83%
6	12	73.91%
6	12	73.37%
6	50	83.70%
6	50	84.78%
6	50	84.24%

Además para un período de filtración de 4 horas utilizando la malla 12, los porcentajes de remoción de cobre obtenidos fueron 67.39%, 69.02% y 66.85%; con una media de 67.75% de Cu para esta malla. Por otro lado, las pruebas realizadas durante 4 horas utilizando la malla 50 arrojaron los porcentajes de remoción de 82.07%, 83.15% y 83.70%. con un promedio de 82.97% de Cu.

Si se extiende el período de filtración a 6 horas utilizando la malla nro. 12, los porcentajes de remoción de cobre obtenidos son: 72.83%, 73.91% y 73.37%; con un promedio de 73.37% de Cu. Del mismo modo, en las pruebas realizadas durante un período de 6 horas utilizando la malla 50, los porcentajes de remoción de cobre fueron: 83.70%, 84.78% y 84.24%. con una media de 84.24% de Zn.

La concentración inicial de cobre en la muestra antes de la filtración era de 1.84 mg/L. Este valor es esencial para proporcionar un punto de partida y una línea de base para evaluar la eficacia de las mallas de filtración utilizadas en estas pruebas como se demuestra en la fig. 3.

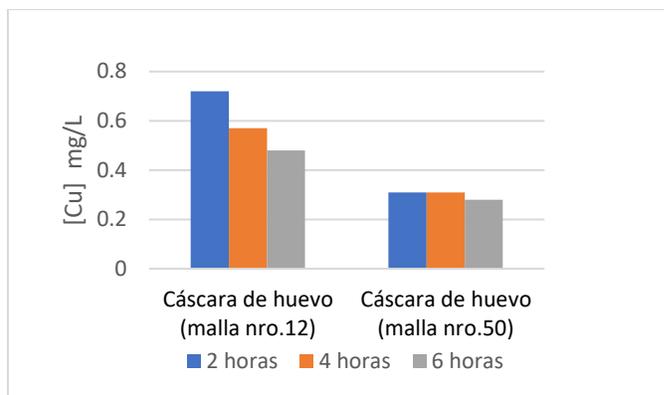


Figura 3. Concentración de Cu durante el tratamiento.

D. Comparación de los resultados con los LMP de Cobre y Zinc

Se puede demostrar que, si hay una remoción efectiva, el LMP para el Zinc es de 1.5 mg/L [15] y en la fig. 4 se muestra que esta sobre los resultados obtenidos es decir que el Zinc no sobrepasa los LMP a pesar de no haber tratado el agua, pero aun así la cascada de huevo ha cumplido la función de remoción de dicho metal durante los tiempos que ha establecido.

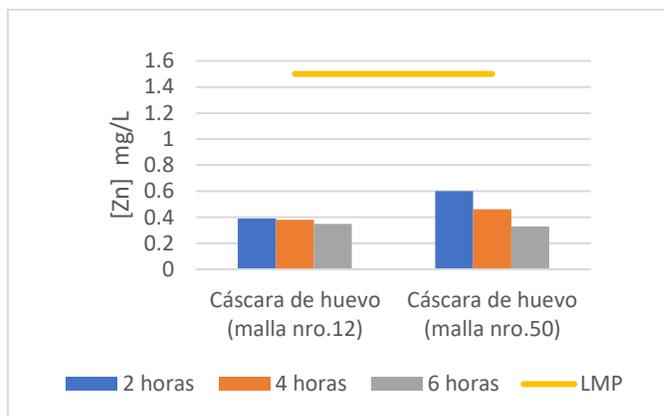


Figura 4. Comparación de la concentración de Zn con los LMP

Por otro lado, la figura 5 que viene a ser para el cobre su LMP es de 0.5 mg/L. con este parámetro se observa que sobrepasaba el LMP que está establecida para el cobre antes del tratamiento y durante el tratamiento utilizando el biofiltro de biomasa de cáscara de huevo con malla 12 después de las 4 horas aun no hubo una buena remoción de Cu, aún seguía por encima del Límite establecida, después de la sexta hora ya hubo una buena remoción de Cu. En cuanto a la malla 50 según los resultados es más efectiva, pues a las 2 horas ya hubo una reducción de concentración de cobre por debajo del LMP.

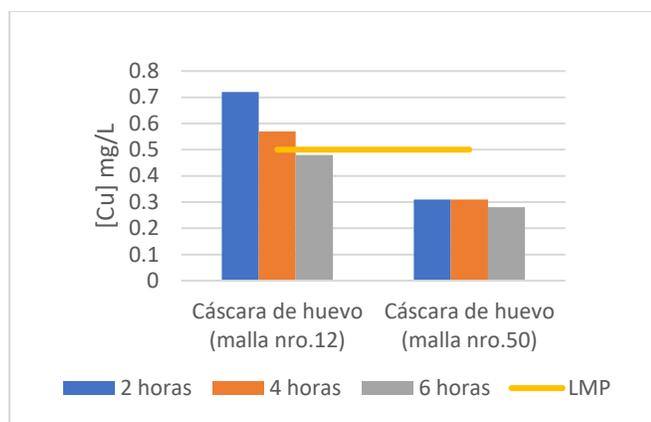


Figura.5. Comparación de la concentración de Cu con los LMP

E. Evaluación Estadístico

TABLA 7
ANÁLISIS DE VARIANZA PARA REMOCIÓN DE ZINC TOTAL

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo (h)	2	0.06188	0.030942	28.91	0.000
Malla	1	0.03519	0.035194	32.89	0.000
Tiempo (h)*Malla	2	0.05210	0.026048	24.34	0.000
Error	12	0.01284	0.001070		
Total	17	0.16202			

A partir del análisis de varianza de la Tabla 7, muestra la existencia de una alta significación estadística, lo cual indica que la remoción de zinc total, es variable en función al número de malla y el tiempo. En ambos casos el valor F (experimental) es mayor al valor P (tabulado), sin embargo, el número de malla presenta mayor influencia que el tiempo sobre la remoción de zinc total al comparar sus valores F.

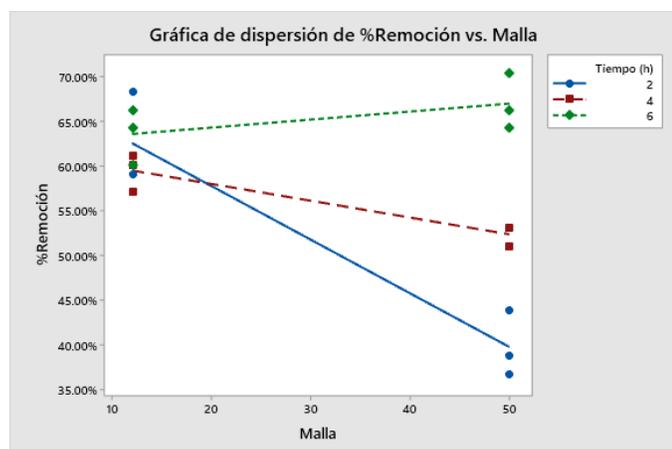


Figura 6. Relación entre el tamaño de la malla y el porcentaje de remoción de Zinc total en diferentes intervalos de tiempo.

Por otro lado, en la Figura 6, se observa que mientras aumenta el número de malla, es decir granulometría más fina aumentará la remoción de zinc total cuando el tiempo se

incrementa. Para los valores de tiempo de 6 horas y malla N°50, se obtiene una remoción de 84.78% de Zinc total.

TABLA 8
ANÁLISIS DE VARIANZA PARA REMOCIÓN DE HIERRO TOTAL

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo (h)	2	0.017420	0.008710	56.47	0.000
Malla	1	0.134222	0.134222	870.17	0.000
Tiempo (h)*Malla	2	0.017499	0.008749	56.72	0.000
Error	12	0.001851	0.000154		
Total	17	0.170992			

A partir del análisis de varianza de la tabla 8, muestra la existencia de una alta significación estadística, lo cual indica que la remoción de hierro total, es variable en función al número de malla y el tiempo. En ambos casos el valor F (experimental) es mayor al valor P (tabulado), sin embargo, el número de malla presenta mayor influencia que el tiempo sobre la remoción de hierro total al comparar sus valores F.

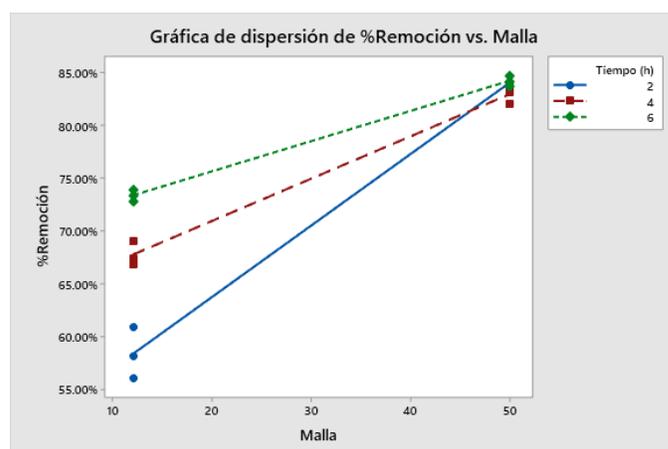


Figura 7. Relación entre el tamaño de la malla y el porcentaje de remoción de metales en diferentes intervalos de tiempo.

Del mismo modo, en la fig. 7, podemos visualizar el gráfico de dispersión en la que se ilustra la relación entre el porcentaje de remoción y el tamaño de la malla, con el tiempo dividido en tres intervalos: 2, 4 y 6 horas. En el eje X del gráfico se representa el tamaño de la malla, mientras que en el eje Y se muestra el porcentaje de remoción. Cada intervalo de tiempo está marcado con un distintivo propio para una fácil diferenciación.

Al examinar este gráfico, es notable cómo el porcentaje de remoción varía con el tamaño de la malla en cada uno de los tres intervalos de tiempo. En cada caso, los puntos de datos reflejan el porcentaje de remoción alcanzado para un tamaño de malla específico en un tiempo determinado.

Las tendencias que emergen del gráfico ofrecen un entendimiento valioso de la interacción entre el tamaño de la malla y el tiempo, y cómo estos factores influyen en el porcentaje de remoción. Por ejemplo, en los intervalos de 2 y 4 horas, los porcentajes de remoción para el tamaño de malla 12

son comparativamente más bajos en comparación con el tamaño de malla 50. Sin embargo, para el intervalo de tiempo de 6 horas, los porcentajes de remoción se vuelven muy similares para ambos tamaños de malla. Además, el gráfico también revela cómo cambia el porcentaje de remoción a lo largo del tiempo para cada tamaño de malla. Por ejemplo, en el caso de la malla 12, los porcentajes de remoción aumentan de 2 a 6 horas, lo que indica una eficacia creciente en la remoción con el tiempo.

Para la remoción de zinc se utilizó la masa constante de 15 g de cáscara de huevo de malla 12 y malla 50 en tres tiempos 2 horas, 3 horas y 6 horas, apreciando que las concentraciones de Zn en la muestra de agua ácida del filtrado de relaves disminuyeron según el tiempo, esto ocurrió en los tres biofiltros. El biofiltro que tuvo mayor capacidad remoción de zinc fue el de cáscara de huevo con malla 12 logrando remover 0.39mg/L en 2 horas, 0.38mg/ en 4 horas y L 0.35mg/L en 6 horas, sin embargo, la cáscara de huevo con malla 50 logró una menor remoción en 6 horas teniendo como resultado 0.33mg/L (tabla 3).

En cuanto a la remoción del cobre hubo una reducción significativa respecto al valor inicial sin tratamiento que fue 1.84 mg/L, así mismo está también tuvo mayor eficacia según el tiempo, obteniendo una mayor remoción en 6 horas, siendo la cascara de huevo con malla nro.50 la que obtuvo mayor remoción con 0.31mg/L en 2 horas, 0.31mg/L en 4 horas y 0.28mg/L en 6 horas, sin embargo en el traspaso de las 2 horas a 4 horas no hubo una variación, y al pasar a las 6 horas hubo una mínima disminución, a pesar de ello la remoción con cascara de huevo con malla 50 fue eficiente puesto que se encuentran dentro de los parámetros establecidos.

Además, el estudio de Marmanillo demostró que las cáscaras de huevo son un buen biosorbente porque la concentración inicial de Cu en las muestras de relaves fue de 22,95 mg/L, y si el agua de los relaves se adsorbe durante 60, 90 y 120 minutos, la concentración disminuirá. Al igual que con la cáscara de huevo, pero a medida que cambia el tamaño de partícula de la cáscara, también hay una diferencia en la concentración de Cu. Para cáscara de huevo con un tiempo de exposición de 60 min, utilizando un adsorbente con un tamaño de partícula de 0,42 mm. La concentración de Cu(II) en las pruebas I, II y III fue de 5,99 mg/L, 5,97 mg/L y 6,01 mg/L, respectivamente; cuando el tamaño de partícula del adsorbente fue de 0,595 mm, la concentración de Cu(II) en los ensayos I, II y III fue de 8,58 mg/L, 8,61 mg/L y 8,58 mg/L, y finalmente cuando el tamaño de partícula de la cáscara de huevo fue de 0,841 mm, la concentración de Cu(II) en las pruebas I, II y III fue de 5,25 mg/L, 5,27 mg/L y 5,23 mg/L, respectivamente. [11].

IV. CONCLUSION

En conclusión, se evaluó la eficiencia de remoción de 66.3% a las 6 horas con la malla 50 para Zn y para el caso de Cu con un porcentaje de remoción de 84.8% a las 6 horas también para la malla 50 con concentraciones iniciales de Cu con 1.84 mg/L, logrando llegar a concentraciones de 0.31mg/L en 2 horas, 0.31mg/L en 4 horas y 0.28mg/L en 6 horas para la malla 50. Asimismo, el zinc tuvo 0.98 mg/L como valor inicial, llegando a reducirse hasta una media de 0.323 mg/L con la malla 50 a las 6 horas. También, la comparación con los Límites Máximos Permisibles (LMP) indican que el valor máximo en cualquier momento es 0.5mg/ L de cobre y 1.5mg/L de zinc, los resultados indican que el biofiltro de cáscara de huevo con malla 50 en 2, 4 y 6 horas y la cascara de huevo con malla 12 en 6 horas fueron eficientes en la remoción de cobre permitiendo que cumplan con los LMP, en cuanto al zinc si bien el valor inicial fue 0.98 mg/L es decir cumplía con el LMP se procedió a filtrarlo para conocer si los biofiltros tenían la capacidad de reducir zinc en la muestra de agua, dándonos como resultado que los tres biofiltros logran disminuir la cantidad de este metal en la muestra siendo el mejor la cáscara de huevo con malla 50 en 6 horas dando como resultado la media 0.323mg/L.

V. REFERENCIAS

- [1] Revelo Vargas, D. A., Pérez Rodríguez, E. D., & Maya Rosero, M. D. (2019, 25 de noviembre). Evaluación de la capacidad de adsorción selectiva de cáscaras de huevo ante compuestos azufrados para purificación de agua potable. Scielo Colombia. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext∓pid=s0121-19352019000200077
- [2] Moreno Custodio, L. (2022, 16 de diciembre). “¿cómo vamos a vivir?” El impacto de la minería en las comunidades del sur de Perú. Diálogo chino. <https://dialogochino.net/es/actividades-extractivas-es/61618-como-vamos-a-vivir-el-impacto-de-la-mineria-en-las-comunidades-del-sur-de-peru/>
- [3] Pretell Avalos De Huamanquispe, R. E., & tafur izquierdo, v. I. (2019, 23 de septiembre). Revisión sistemática de la literatura: minería y contaminación de aguas por metales pesados. Repositorio institucional UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/22047>
- [4] Guadarrama Tejas, R., Kido Miranda, J., Roldan Antúnez, G., & Salas Salgado, M. (2016, 7 de septiembre). Contaminación del agua. Ecorfan. https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/ciencias_ambientales_y_recursos_naturales/vol2num5/revista_de_ciencias_ambientales_y_recursos_naturales_v2_n5_1.pdf
- [5] Aguilar Salas, M. B., & Flores Rodríguez, C. P. (2018). Valuación de la cáscara de naranja (citrus cinensis) como material adsorbente natural de ion metálico Cu (II). Repositorio institucional UNSA.

<https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/06e679d2-1af2-4143-83ec-ae8ccc4952e/content>

<https://psicologiaysalud.uv.mx/index.php/psicysalud/article/view/840>

- [6] Anderson, B. S., & Evaristo, V. M. (2021, 5 de marzo). Neutralización de aguas ácidas con elevada concentración de metales. Repositorio institucional UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/26295>
- [7] Srk Consulting (Peru) S.A. (2019, 25 de junio). Innovaciones técnicas en el tratamiento de aguas acidas de mina con recuperación de subproductos con valor económico osvaldo aduvire. Scielo. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=s2519-53522019000100006&script=sci_arttext
- [8] Rubiano Segura, C. A. (2018). Evaluación del potencial de aprovechamiento del cascarón de huevo para estabilizar el ph de aguas ácidas. Repositorio institucional universidad piloto de Colombia. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/5797>
- [9] Faostat. (2023, 24 de marzo). Cultivos y productos de ganadería. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/qcl/visualize>
- [10] Posso Vergara, A. R. (2020). Método de reutilización de la cáscara de huevo. Repositorio UCP. <https://repositorio.ucp.edu.co/bitstream/10785/7135/7/ddmdi146.pdf>
- [11] Marmanillo Serpa, V. M., & Taboada Sinche, H. A. (2019). “evaluación de la adsorción de Cobre (II) con cáscara de huevo de las aguas de relave minero”. Repositorio UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5994>
- [12] Calvo Barbería, S. (2019, 19 de julio). Revalorización de la cáscara de huevo para su empleo como catalizador en el tratamiento de aguas residuales. Repositorio institucional de la universidad de Oviedo. <https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/59509>
- [13] Mendieta Alarcón, L. R. D., & León Huarcaya, R. D. (2022). Remediación de suelo agrícola contaminado con arsénico, aplicando cáscara de huevo en la provincia de Canta-Lima 2022. Repositorio César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/99649>
- [14] Laborín Álvarez, J. F., Córdova Moreno, A., Vera Noriega, J. Á., Arreguín Moreno, R. H., & Valenzuela, B. A. (2014, 31 de enero). Prácticas de consumo y actitudes hacia el cuidado del agua en habitantes de una zona urbana. Repositorio universidad veracruzana.