

Zuro de Zea Mays: an alternative in the removal of heavy metals

Alicia S. Jiménez - Machuca¹; Roger J. Bautista - Terán²; Gladys S. Licapa – Redolfo³; Rut K. Fajardo – Flores⁴; Gary Christiam Farfán Chilicaus⁵; Aldo Roger Castillo Chung⁶; Rolando Licapa – Redolfo⁷

^{1,2}Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, Perú, aliciajimenez1497@gmail.com ; roger2017bau@gmail.com

^{3,4}Universidad Privada del Norte, Perú, gladys.licapa@upn.edu.pe; N00022890@upn.pe

^{5,6}Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, gfarfanc@unitru.edu.pe; alrocas@unitru.edu.pe

⁷Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Perú, dinner.licapa@unsch.edu.pe

Abstract - *The influence of the retention time and proportion of Zea mays corn cob in the acid mine drainage for the total removal of iron and lead from the Hualgayoc-Arascorgue river was studied, focusing on the effectiveness of bioadsorption using Zea Mays corn cob as an adsorbent material for removing iron and lead from the residual water of the Hualgayoc-Arascorgue river. The research was of an explanatory-experimental and quantitative nature, using 30 liters of residual water and 1,350 kg of Zea mays corn cob as a sample. The results indicated that the retention time did not have a significant influence on lead removal, but there was an influence on iron removal in relation to the proportion of Zea mays corn cob used. It is recommended to conduct a kinetics study of adsorption before any research related to metal bioadsorption, and to promote the implementation of clean technologies for environmental conservation.*

Keywords - *Acid mine drainage, retention time, Zea Mays, iron.*

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

Zuro de Zea Mays: una alternativa en remoción de metales pesados

Alicia S. Jiménez - Machuca¹; Roger J. Bautista - Terán²; Gladys S. Licapa – Redolfo³; Rut K. Fajardo – Flores⁴; Gary Christiam Farfán Chilicaus⁵; Aldo Roger Castillo Chung⁶; Rolando Licapa – Redolfo⁷

^{1,2}Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, Perú, aliciajimenez1497@gmail.com ; roger2017bau@gmail.com

^{3,4}Universidad Privada del Norte, Perú, gladys.licapa@upn.edu.pe; N00022890@upn.pe

^{5,6}Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, gfarfanc@unitru.edu.pe; alrocas@unitru.edu.pe

⁷Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, Perú, licapa.dinner@unsch.edu.pe

Resumen – *Se estudió la 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' y se enfocó en estudiar la efectividad de la bioadsorción utilizando zuro de Zea Mays como material adsorbente para la eliminación de hierro y plomo en el agua residual del río Hualgayoc-Arascorgue. La investigación, fue de naturaleza explicativa-experimental y cuantitativa, utilizó 30 litros de agua residual y 1.350 kg de zuro de maíz como muestra. Los resultados indicaron que el tiempo de retención no tuvo una influencia significativa en la remoción de plomo, pero sí hubo una influencia en la remoción de hierro en relación a la proporción de zuro de maíz utilizado. Se recomienda realizar un estudio de cinética de adsorción antes de cualquier investigación relacionada con la bioadsorción de metales, y promover la implementación de tecnologías limpias para la conservación del medio ambiente.*

Palabras clave – *Drenaje ácido de mina, tiempo de retención, Zea Mays, hierro.*

I. INTRODUCCIÓN

El distrito de Hualgayoc es el epicentro de la problemática de los pasivos mineros en el país. La cuenca del Llaucano, que pasa por la localidad, es la segunda más afectada a nivel nacional, con 1080 pasivos identificados. Además, los ríos Tingo-Maygasbamba y Hualgayoc-Arascorgue también están contaminados [1].

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

Las antiguas prácticas de minería, la falta de manejo adecuado de los residuos y la ausencia de regulaciones claras sobre el cierre de minas han acumulado pasivos ambientales en vastas áreas, lo que ha contaminado los recursos naturales y puesto en riesgo la salud pública [2]. En el agua de la zona se han detectado niveles elevados de metales pesados como aluminio, calcio, cobre, hierro, plomo, zinc y arsénico, así como también coliformes que superan los límites permisibles. Esta contaminación es causada en un 97% por los vertimientos mineros, en un 2% por las aguas residuales domésticas y en un 1% por los residuos urbanos [3]

Los metales pesados en elevadas concentraciones en el agua pueden tener graves consecuencias para la salud humana y el medio ambiente. Estos metales pueden causar síntomas como erupciones cutáneas, dolor abdominal, problemas respiratorios, debilidad en el sistema inmunológico, alteración del ADN, cáncer, daño en órganos como riñones e hígado, y en casos graves, incluso la muerte. Además, la presencia prolongada de metales pesados en el medio ambiente puede tener un impacto negativo en la biodiversidad y en los ecosistemas acuáticos. Es importante tomar medidas para controlar y prevenir la contaminación por metales pesados en el agua y proteger la salud de la población y el medio ambiente. [4].

El aumento de la concentración de metales pesados en los recursos hídricos ha motivado el

desarrollo de técnicas de separación para reducirlos a niveles seguros. Algunas de estas técnicas incluyen la coagulación, la precipitación diferencial, el intercambio iónico, la extracción con solventes, la flotación y la bioadsorción. Estas medidas garantizan que los metales pesados se encuentren por debajo de los límites establecidos por la legislación internacional sobre medio ambiente [5].

La bioadsorción se ha presentado como una alternativa eficaz para la eliminación de iones metálicos en el agua. Esta técnica consiste en utilizar biomásas lignocelulósicas, como materiales adsorbentes, para retirar grandes cantidades de concentraciones de iones metálicos. La bioadsorción se ha demostrado ser una solución eficaz en la eliminación de metales pesados, como el plomo, el mercurio y el cadmio, gracias a su capacidad de formar complejos estables con los iones metálicos y retenerlos en su superficie [6].

Debido a los estudios recientes realizados en cuanto a la efectividad de la bioadsorción para la eliminación de iones metálicos en el agua, se ha considerado importante llevar a cabo investigaciones sobre su aplicación en el caso específico de los metales pesados. Una de estas investigaciones se enfoca en el uso de Zuro de Zea Mays como material adsorbente para la eliminación de metales pesados en el agua.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Ubicación y recolección de la muestra

El estudio se ejecutó en las aguas del río Hualgayoc - Arascorgue, las muestras de agua fueron tomadas en las 3 partes principales del río: aguas arriba (Puente Hualgayoc), medias (Comunidad de Arascorgue) y aguas abajo (desembocadura al río Llaucano). Geográficamente sus puntos extremos están ubicados como indica la Tabla 1:

Tabla 1: Coordenadas de ubicación del río Hualgayoc

Coordenadas	
78° 18' y 78° 52'	Longitud oeste
6°04' y 6°59'	Latitud sur

El zuro de maíz fue proporcionado por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) del tipo 603 - maíz choclero y se trituró para luego poder utilizarlo. Se adquirió 7.300 kilogramos de tuza de maíz

y solo se utilizó un 1.350kg en el proceso de adsorción. Luego se realizó el proceso de tamizado utilizando 3 mallas de diferentes tamaños, malla N° 6, 8 y 20. La recolección del agua fue obtenida del río Hualgayoc-Arascorgue siguiendo el protocolo de monitoreo de agua. Se monitoreó en 3 puntos diferentes a lo largo del río y se codificó cada muestra de forma sencilla, indicando el lugar, fecha y hora de la toma de muestra.

B. Diseño de investigación

El tipo de investigación de acuerdo a la finalidad, es aplicada. De acuerdo a la técnica de contrastación, es experimental y según la temporalidad transversal.

C. Caracterización de la muestra

Se aplicó el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), teniendo en cuenta los parámetros de campo como temperatura y pH, posteriormente se realizó el filtrado de las muestras de agua en la Dirección Regional de Salud Ambiental – Cajamarca, utilizando el equipo de membrana de filtración para el posterior análisis de la muestra en el Laboratorio Regional del Agua para obtener resultados de los parámetros de plomo y hierro.

D. Procedimiento experimental

La presente investigación se realizó a nivel laboratorio y se llevó a cabo los siguientes pasos indicados en la Figura 1:

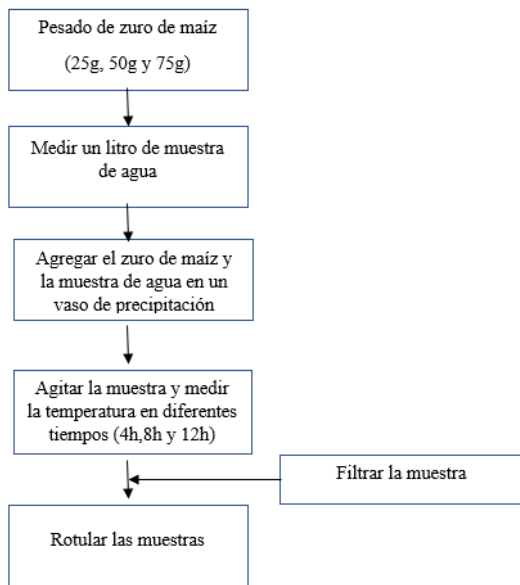


Fig. 1. Diagrama de flujo del procedimiento experimental

E. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el análisis de datos se encontró el porcentaje de adsorción mediante la concentración inicial y final para luego ser sometido a un análisis de varianza con un nivel de significancia de 95% con un margen de error de ± 5 , los datos fueron analizados mediante la prueba de Fisher en el programa estadístico Minitab 19.

Para la comparación de las concentraciones de plomo y hierro con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) fueron analizados mediante la prueba de T-student con un nivel de significancia de 95% con un margen de error de ± 5 .

F. Interpretación de datos

Un Análisis de Varianza (ANOVA) prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. Los ANOVA evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores. Además, la Prueba de Fisher: Analiza una tabla de contingencia 2×2 y prueba si la variable de fila y la variable de columna son independientes (H_0 : la variable de fila y la variable de columna son independientes). El valor p de la prueba exacta de Fisher es exacto para todos los tamaños de muestra. También el T student: Ésta prueba sirve para probar si una media de población y una medida hipotética son diferentes, es una distribución continua que se especifica por el número de grados de libertad. Es una distribución simétrica.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

TABLA 2
PORCENTAJES DE ADSORCIÓN DE Pb Y Fe

Proporción (g)	Tiempo (h)	PLOMO			HIERRO		
		Ci (mg/l)	Cf (mg/l)	Adsorción (%)	Ci (mg/l)	Cf (mg/l)	Adsorción (%)
25	4	0.022	0.007	68.18	9.923	3.166	68.09
25	8	0.022	0.011	50.00	9.923	5.215	47.45
25	12	0.022	0.006	72.73	9.923	3.809	61.61
50	4	0.022	0.012	45.45	9.923	5.987	39.67
50	8	0.022	0.009	59.09	9.923	5.521	44.36
50	12	0.022	0.016	27.27	9.923	7.399	25.44
75	4	0.022	0.014	36.36	9.923	7.265	26.79
75	8	0.022	0.013	40.91	9.923	6.583	33.66
75	12	0.022	0.006	72.73	9.923	6.208	37.44
25	4	0.02	0.004	80.00	4.232	1.676	60.40
25	8	0.02	0.009	55.00	4.232	1.289	69.54
25	12	0.02	0.004	80.00	4.232	2.284	46.03
50	4	0.02	0.004	80.00	4.232	1.01	76.13
50	8	0.02	0.006	70.00	4.232	3.064	27.60
50	12	0.02	0.004	80.00	4.232	3.006	28.97
75	4	0.02	0.004	80.00	4.232	1.634	61.39
75	8	0.02	0.005	75.00	4.232	1.873	55.74
75	12	0.02	0.004	80.00	4.232	1.967	53.52
25	4	0.021	0.007	66.67	3.737	1.096	70.67
25	8	0.021	0.005	76.19	3.737	0.989	73.53
25	12	0.021	0.005	76.19	3.737	2.024	45.84
50	4	0.021	0.005	76.19	3.737	1.861	50.20
50	8	0.021	0.004	80.95	3.737	2.782	25.56
50	12	0.021	0.008	61.90	3.737	2.405	35.64
75	4	0.021	0.004	80.95	3.737	0.844	77.42
75	8	0.021	0.004	80.95	3.737	1.405	62.40
75	12	0.021	0.004	80.95	3.737	1.855	50.36

A. Análisis estadístico del Pb

No se vio influencia en la proporción del zuro de maíz en el porcentaje de adsorción de plomo, teniendo un (p-valor = 0.745) para que tenga significancia debe ser ≤ 0.05 . También se puede observar (Fig. 2), que todos los intervalos contienen cero por lo tanto las medias son significativamente iguales.

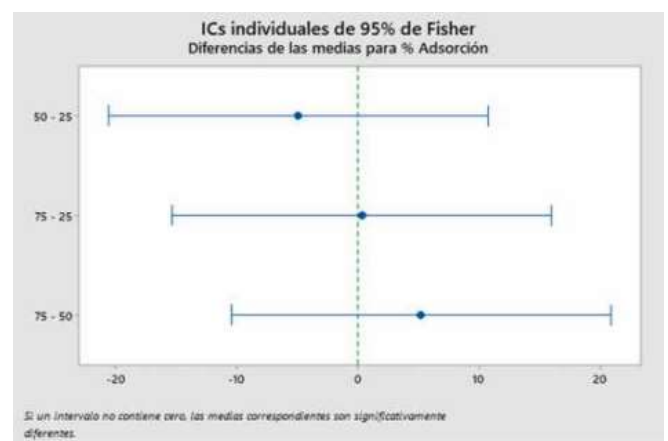


Fig. 2. Varianza de la proporción en % de adsorción

También no se vio influencia del tiempo de retención en el porcentaje de adsorción de plomo,

teniendo un (p-valor = 0.815) para que tenga significancia debe ser ≤ 0.05 . También se puede observar (Fig. 3), que todos los intervalos contienen cero por lo tanto las medias son significativamente iguales.

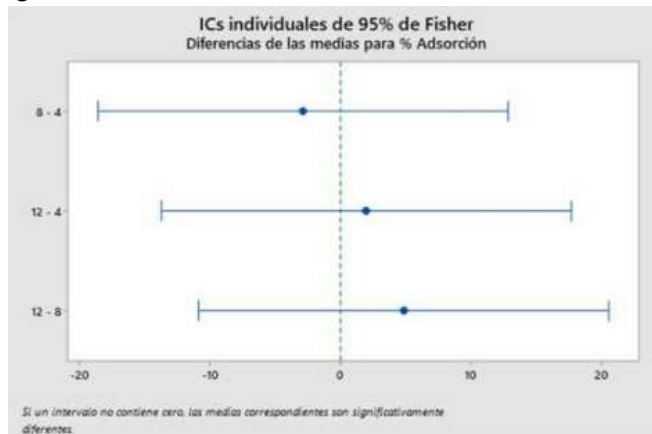


Fig. 3. Varianza del tiempo y % de adsorción

Se puede ver (Fig. 4), que para plomo (Pb) no existe efecto significativo en la proporción ni en el tiempo debido a que al aumentar los niveles no presenta una línea inclinada.

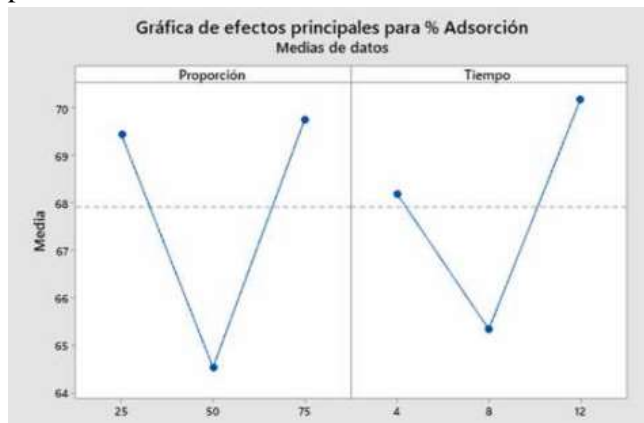


Fig.4. Efecto de los dos factores en el % de adsorción

Para tiempo y proporción no hay interacción entre estos factores, para plomo se tiene un p valor de 0.535 en el que no presenta influencia ya que el nivel de significancia debe ser ≤ 0.05 . También no existe interacción porque presenta una anomalía de subir y bajar en cuanto al porcentaje de adsorción (Fig. 5).

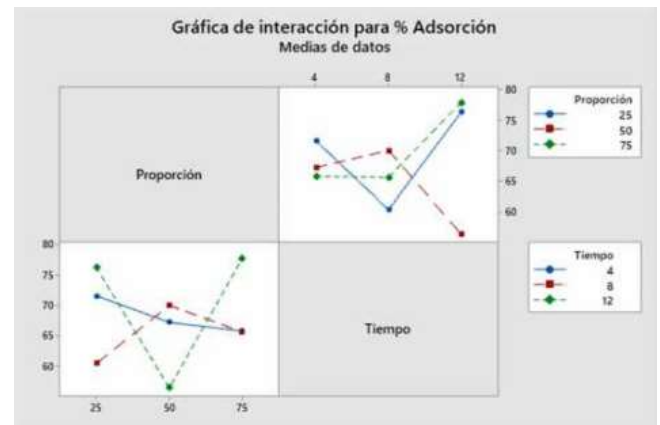


Fig. 5. Interacción de los dos factores en el % de adsorción

B. Análisis estadístico del Fe

Se puede ver (Fig. 6) que si hay influencia en la proporción del zuro de maíz en el porcentaje de adsorción de hierro, donde se verifica que el (p- valor = 0.020) siendo menor a 0.05, demuestra una diferencia estadísticamente significativa entre los intervalos ya que no contiene cero, por lo tanto, sus medias son significativamente diferentes, siendo el mejor tratamiento de 25g.

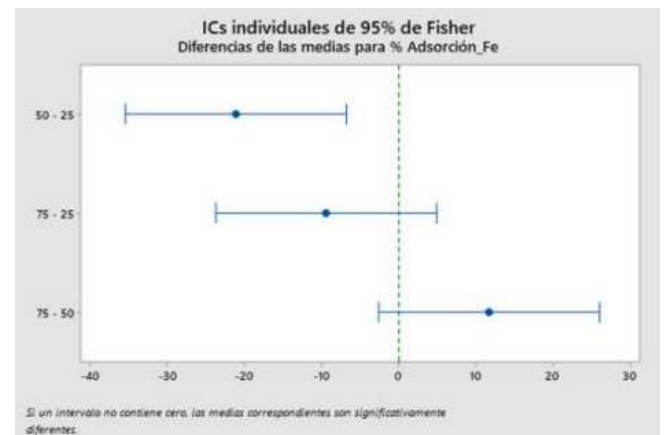


Fig. 6. Varianza de la proporción vs. % Adsorción

En la fig. 7, presenta que no hay influencia del tiempo de retención en el porcentaje de adsorción de hierro, teniendo un (p-valor = 0.110) para que tenga significancia debe ser ≤ 0.05 . También se puede observar que todos los intervalos se contienen cero, por lo que sus medias son significativamente diferentes.

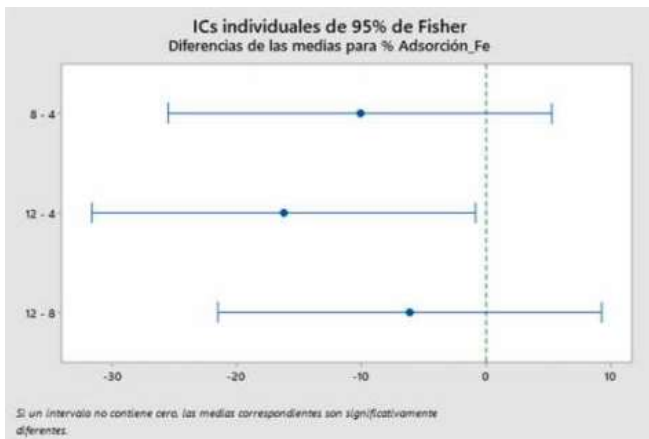


Fig. 7. Varianza de tiempo en el % adsorción

Para el hierro (Fe) no existe efecto significativo en la proporción, pero si en el tiempo y esto se debe a que sus medias son diferentes en todos los niveles (Fig. 8.).



Fig. 8. Efecto de los dos factores en el % de adsorción

En la Figura 9, para tiempo y proporción no hay interacción entre estos dos factores para hierro se tiene un p valor de 0.9683 en el que no presenta influencia ya que el nivel de significancia debe ser ≤ 0.05 . También no existe interacción porque presenta una anomalía de subir y bajar en cuanto al porcentaje de adsorción.

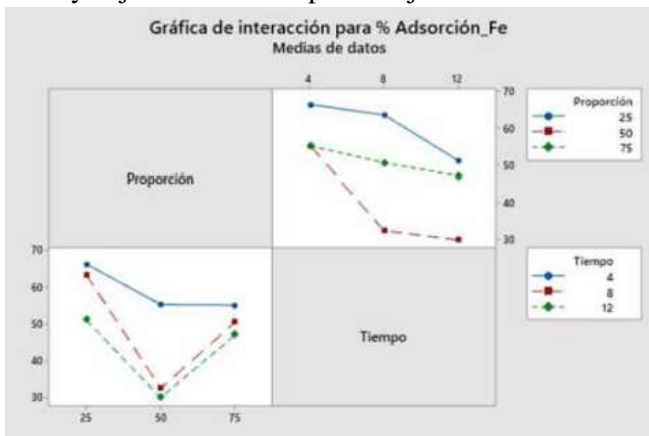


Fig. 9. Interacción de los dos factores en el % de adsorción

C. Incertidumbres

Es importante considerar la calidad de los resultados en función a su variación de cada dato, en este caso representado por la incertidumbre que se muestra en la tabla 3 y fig. 10.

TABLA 3
Incertidumbre del plomo

P	T	Ci	Cf	U	Cf min	Cf máx	Adsorción	Ads. max	Ads. min	Dif. Porc.
(g)	(h)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(%)	(%)	(%)	%
25	4	0.022	0.007	0.0006	0.0064	0.0076	68.182	70.903	65.461	5.442
25	8	0.022	0.011	0.0009	0.0101	0.0119	50.000	54.212	45.788	8.424
25	12	0.022	0.006	0.0005	0.0055	0.0065	72.727	75.001	70.454	4.547
50	4	0.022	0.012	0.0010	0.0110	0.0130	45.455	49.927	40.982	8.945
50	8	0.022	0.009	0.0007	0.0083	0.0097	59.091	62.371	55.811	6.560
50	12	0.022	0.016	0.0013	0.0147	0.0173	27.273	33.348	21.197	12.151
75	4	0.022	0.014	0.0012	0.0128	0.0152	36.364	41.619	31.108	10.511
75	8	0.022	0.013	0.0010	0.0120	0.0140	40.909	45.605	36.213	9.393
75	12	0.022	0.006	0.0005	0.0055	0.0065	72.727	75.113	70.342	4.771
25	4	0.02	0.004	0.002	0.0020	0.0060	80.000	90.000	70.000	20.000
25	8	0.02	0.009	0.0007	0.0083	0.0097	55.000	58.649	51.351	7.298
25	12	0.02	0.004	0.0004	0.0036	0.0044	80.000	81.804	78.196	3.608
50	4	0.02	0.004	0.002	0.0020	0.0060	80.000	90.000	70.000	20.000
50	8	0.02	0.006	0.0005	0.0055	0.0065	70.000	72.378	67.622	4.756
50	12	0.02	0.004	0.002	0.0020	0.0060	80.000	90.000	70.000	20.000
75	4	0.02	0.004	0.002	0.0020	0.0060	80.000	90.000	70.000	20.000
75	8	0.02	0.005	0.0004	0.0046	0.0054	75.000	77.173	72.827	4.346
75	12	0.02	0.004	0.002	0.0020	0.0060	80.000	90.000	70.000	20.000
25	4	0.021	0.007	0.0006	0.0064	0.0076	66.667	69.556	63.777	5.779
25	8	0.021	0.005	0.0004	0.0046	0.0054	76.190	77.948	74.433	3.514
25	12	0.021	0.005	0.0004	0.0046	0.0054	76.190	77.987	74.394	3.592
50	4	0.021	0.005	0.0004	0.0046	0.0054	76.190	78.299	74.082	4.217
50	8	0.021	0.004	0.0020	0.0020	0.0060	80.952	90.476	71.429	19.048
50	12	0.021	0.008	0.0006	0.0074	0.0086	61.905	64.833	58.976	5.857
75	4	0.021	0.004	0.002	0.0020	0.0060	80.952	90.476	71.429	19.048
75	8	0.021	0.004	0.002	0.0020	0.0060	80.952	90.476	71.429	19.048
75	12	0.021	0.004	0.002	0.0020	0.0060	80.952	90.476	71.429	19.048

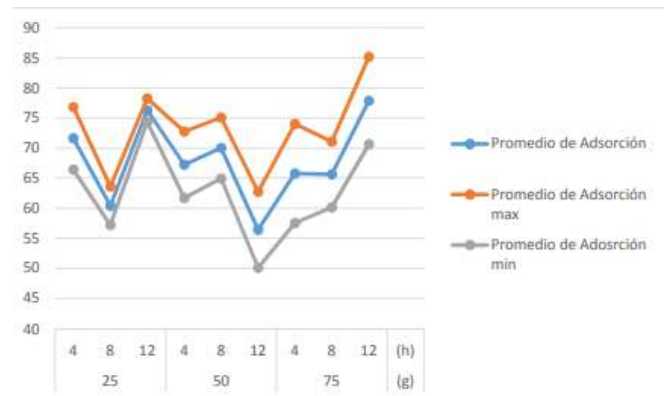


Fig. 10. En el caso del Pb influye en un 20%.

TABLA 4
Incertidumbre del hierro

P	T	Ci	Cf	U	Cf min	Cf máx	Adsorción	Ads. max	Ads. Min	Dif. Pore.
(g)	(h)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(%)	(%)	(%)	%
25	4	9.923	3.166	0.2438	2.922	3.410	68.094	70.551	65.638	4.913
25	8	9.923	5.215	0.4016	4.813	5.617	47.445	51.492	43.399	8.093
25	12	9.923	3.809	0.2933	3.516	4.102	61.614	64.570	58.659	5.911
50	4	9.923	5.987	0.4610	5.526	6.448	39.665	44.311	35.020	9.292
50	8	9.923	5.521	0.4251	5.096	5.946	44.362	48.646	40.077	8.568
50	12	9.923	7.399	0.5697	6.829	7.969	25.436	31.177	19.694	11.483
75	4	9.923	7.265	0.5594	6.706	7.824	26.786	32.424	21.149	11.275
75	8	9.923	6.583	0.5069	6.076	7.090	33.659	38.767	28.551	10.216
75	12	9.923	6.208	0.4780	5.730	6.686	37.438	42.256	32.621	9.635
25	4	4.232	1.676	0.1291	1.547	1.805	60.397	63.446	57.348	6.099
25	8	4.232	1.289	0.0993	1.190	1.388	69.542	71.887	67.196	4.691
25	12	4.232	2.284	0.1759	2.108	2.460	46.030	50.186	41.875	8.311
50	4	4.232	1.01	0.0778	0.932	1.088	76.134	77.972	74.297	3.675
50	8	4.232	3.064	0.2359	2.828	3.300	27.599	33.174	22.024	11.150
50	12	4.232	3.006	0.2315	2.775	3.237	28.970	34.439	23.500	10.939
75	4	4.232	1.634	0.1258	1.508	1.760	61.389	64.362	58.416	5.946
75	8	4.232	1.873	0.1442	1.729	2.017	55.742	59.150	52.334	6.816
75	12	4.232	1.967	0.1515	1.816	2.118	53.521	57.100	49.942	7.158
25	4	3.737	1.096	0.0844	1.012	1.180	70.672	72.930	68.413	4.517
25	8	3.737	0.989	0.0762	0.913	1.065	73.535	75.573	71.497	4.076
25	12	3.737	2.024	0.1558	1.868	2.180	45.839	50.009	41.669	8.341
50	4	3.737	1.861	0.1433	1.718	2.004	50.201	54.035	46.366	7.669
50	8	3.737	2.782	0.2142	2.568	2.996	25.555	31.288	19.823	11.464
50	12	3.737	2.405	0.1852	2.220	2.590	35.644	40.599	30.688	9.911

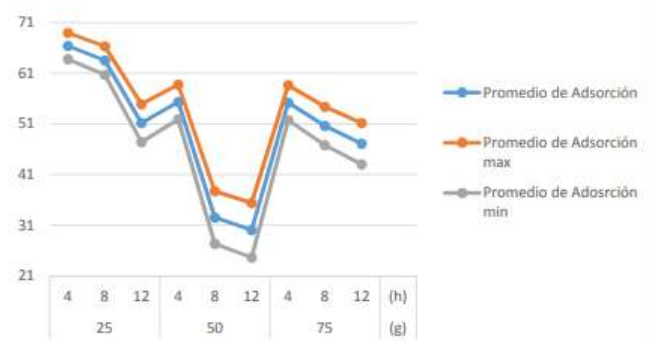


Fig.11. En el caso del Fe influye en un 20%.

D. Comparación de las concentraciones en relación con el ECA

En la figura 12 se observa un histograma donde se observa que el ECA, presenta un valor ya establecido de 0.05 (mg/l) para plomo en la categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales), se tiene la concentración inicial de 0.021 (mg/l) y de concentración final 0.006 (mg/l) ambos se encuentran dentro del Estándar de Calidad Ambiental pero los valores indican que en la Cf tiene una tendencia a disminuir indicando que se ha mejorado la calidad del agua referente al ECA.

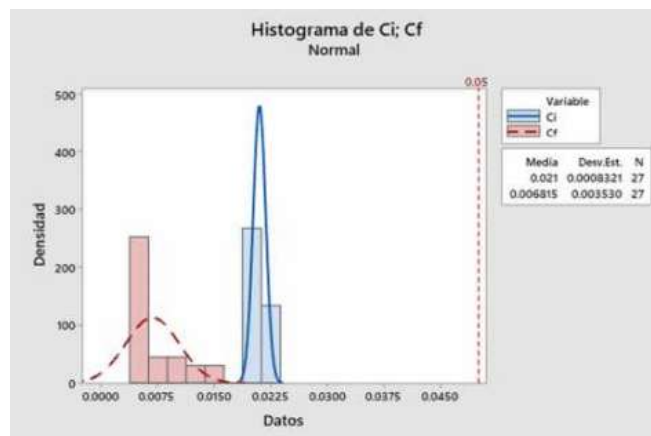


Fig. 12. Histograma del comportamiento del plomo

En la Figura 13 se observa que el ECA, presenta un valor ya establecido de 5 (mg/l) para hierro en la categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales), se tiene una media de concentración inicial de 5.964 (mg/l) sobrepasando el estándar de calidad ambiental, las medias de la concentración final son de 3.119 (mg/l) esto quiere decir que se encuentra por debajo de la ECA indicando que se ha mejorado la calidad del agua.

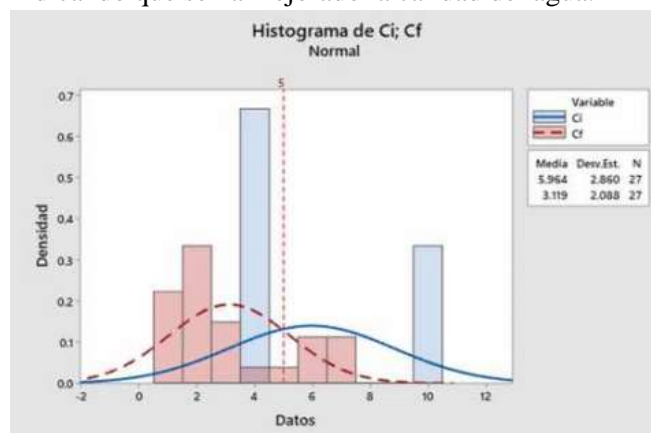


Fig. 13. Histograma del comportamiento del Hierro

IV. CONCLUSIONES

Finalmente, se determinó que no existe estadísticamente una diferencia significativa en el tiempo de retención de zuro de Zea mays en el drenaje ácido de mina para la remoción de hierro y plomo ya que no presenta influencia con los tiempos que se estudió, pero se considera el tiempo más efectivo para plomo (Pb) y Hierro (Fe) de 4 horas ya que presenta menor pérdida de % de adsorción. Se comparó los resultados de plomo post tratamiento teniendo una concentración final de (0.006 mg/l) con el Estándar de Calidad Ambiental D.S 004-2017-MINAM para agua categoría 3 cuyo valor establecido es (0.05 mg/l), se concluye que esta agua ha

mejorado su calidad y se encuentra por debajo del ECA. Para hierro se obtuvo una concentración final de (3.119 mg/l) cuyo estándar establecido para esta categoría es de 5 mg/l donde se concluye que esta agua ha mejorado su calidad y se encuentra por debajo de la ECA. Se concluye que el zuro de maíz si tiene la capacidad como bioadsorbente de remover plomo y hierro en aguas contaminadas mediante la adsorción, ya que hoy en día se busca utilizar tecnologías más amigables con el medio ambiente y disminuir la contaminación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]"*Los pasivos mineros de Hualgayoc - CooperAcción: CooperAcción*". CooperAcción. <https://cooperacion.org.pe/los-pasivos-mineros-de-hualgayoc/> (accedido el 12 de enero de 2023).
- [2]M. Chávez. "Los pasivos ambientales mineros: Diagnóstico y propuestas." <https://muqui.org/wp-content/uploads/2019/11/pasivosambientales2015.pdf> (accedido el 12 de enero de 2023).
- [3]W. Cholan. "Informe de la ANA revela contaminación por metales pesados en la cuenca del Llaucano, en Bambamarca". OtraMirada. <https://otramirada.pe/informe-de-la-ana-revela-contaminación-por-metales-pesados-en-la-cuenca-del-llaucano-en-bambamarca> (accedido el 12 de enero de 2023).
- [4]C. Tejada, A. Herrera y J. Nuñez. "Remoción de plomo por biomasa residuales de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y zuro de maíz (*Zea mays*)". *Revistas de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales* U.D.C.A. <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/126> (accedido el 12 de enero de 2023).
- [5]F. Mijangos y Y. Jodra. "Biosorción de Cobre (II) por biomasa pretratada de cáscara de". studylib.es. <https://studylib.es/doc/7591378/biosorción-de-cobre-ii-por-biomasa-pretratada-de-cáscar...> (accedido el 12 de enero de 2023).
- [6]A. Netzahuatl y M. Cristiani. "Estudio cinético de la remoción de cromo hexavalente y de cromo total por la corteza del árbol de pirul". *Revista Cubana de química*. <https://www.redalyc.org/pdf/4435/443543720001.pdf> (accedido el 12 de enero de 2023).
- [7]M. Martínez, J. Ramírez y A. López. "Tratamiento de drenaje ácido de mina usando residuos de cascarón de huevo." Scopus preview - Scopus - Welcome to Scopus. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85135559141&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=drenaje+de+acido+de+mina&sid=93e77e3ab85b62dad622643da3df7798&searchTerm=&relpos=4&citeCnt=1&mp=searchTerm=> (accedido el 12 de enero de 2023).
- [8]S. Sharma y R. Wander. "Potencial para el tratamiento pasivo del drenaje ácido de minas de carbón derivado de minas de carbón en canales de arroyos abandonados." Scopus preview - Scopus - Welcome to Scopus. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85112378538&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=drenaje+de+acido+de+mina&sid=93e77e3ab85b62dad622643da3df7798&searchTerm=&relpos=6&citeCnt=0&mp=searchTerm=> (accedido el 12 de enero de 2023).
- [9]S. Pyankov, N. Maximovich y E. Khayrulina. "Monitoreo de los efectos del drenaje ácido de la mina en las aguas superficiales en la cuenca del carbón Kizel con imágenes satelitales Sentinel-2." Scopus preview - Scopus - Welcome to Scopus. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85101220409&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=drenaje+de+acido+de+mina&sid=93e77e3ab85b62dad622643da3df7798&searchTerm=&relpos=7&citeCnt=15&mp=searchTerm=> (accedido el 12 de enero de 2023).
- [10]M. Oliveira, R. Rodriguez, J. Braga y G. Sancinetti. "Efectos del tiempo de retención hidráulica, DQO/SOO42- Ratio, concentración de hierro afluente y cinética de sulfato en el tratamiento de una mina de drenaje de ácido sintético". Scopus preview - Scopus - Welcome to Scopus. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85092468935&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=drenaje+de+acido+de+mina&sid=93e77e3ab85b62dad622643da3df7798&searchTerm=&relpos=8&citeCnt=0&mp=searchTerm=> (accedido el 12 de enero de 2023).
- [11]J. Carlier, A. Luis y M. Costa. "Viabilidad del co-tratamiento de las aguas residuales de la almazara y el drenaje ácido de la mina". Scopus preview - Scopus - Welcome to Scopus. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85091762908&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=drenaje+de+acido+de+mina&sid=93e77e3ab85b62dad622643da3df7798&searchTerm=&relpos=9&citeCnt=5&mp=searchTerm=> (accedido el 12 de enero de 2023).
- [12]M. Colque, J. Murrugarra y G. Licapa. "Eliminación de metales pesados mediante dolomita en el drenaje ácido de mina de una mina minera Responsabilidad ambiental de Hualgayoc." Scopus preview - Scopus - Welcome to Scopus. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85140040968&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=drenaje+de+acido+de+mina&sid=93e77e3ab85b62dad622643da3df7798&searchTerm=&relpos=2&citeCnt=0&mp=searchTerm=> (accedido el 12 de enero de 2023).
- [13]G. Licapa, G. Chilicano y B. Escalante. "Tiempo de retención y composición del sustrato en humedales artificiales en la eliminación de hierro y cobre del drenaje ácido de la mina". Scopus preview - Scopus - Welcome to Scopus. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85140038444&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=drenaje+de+acido+de+mina&sid=93e77e3ab85b62dad622643da3df7798&searchTerm=&relpos=3&citeCnt=0&mp=searchTerm=> (accedido el 12 de enero de 2023).
- [14]D. García y E. Ore. "Degradación del azul de metileno con hierro recuperado del drenaje ácido de la mina mediante la aplicación del proceso homogéneo similar al fentón." Scopus preview - Scopus - Welcome to Scopus. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85096740117&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=drenaje+de+acido+de+mina&sid=93e77e3ab85b62dad622643da3df7798&searchTerm=&relpos=13&citeCnt=0&mp=searchTerm=> (accedido el 12 de enero de 2023).
- [15]S. Saha, S. Sarkar y A. Sinha. "Uso de escoria de acero de horno de oxígeno básico (BOF) para el tratamiento de drenaje ácido de minas." Scopus preview - Scopus - Welcome to Scopus. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85101220409&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=drenaje+de+acido+de+mina&sid=93e77e3ab85b62dad622643da3df7798&searchTerm=&relpos=7&citeCnt=15&mp=searchTerm=> (accedido el 12 de enero de 2023).

[85069447923&origin=resultslst&sort=plf-
f&src=s&st1=drenaje+de+acido+de+mina&nlo=&
:nlr=&nls=&sid=93e77e3ab85b62dad622643da3df7798&a
mp:sot=b&sdt=b&sl=39&s=TITLE-ABS-
KEY\(drenaje+de+acido+de+mina\)&relpos=23&citeCnt=6&
amp;searchTerm=](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2023.106944) (accedido el 12 de enero de 2023).