

CENIZAS VOLANTES COMO MATERIAL ADSORBENTE PARA LA REMOCIÓN DE IONES PLOMO (II) EN SOLUCIÓN

Pérez Chauca, León Fernando,
Juan Luis Quispe Cisneros
Josué Leonardo Pérez Mancilla

Leon.perez@unsch.edu.pe
Área de investigación: medio ambiente

Línea de investigación: gestión medioambiental e impacto ambiental

RESUMEN

El objetivo principal del presente estudio fue encontrar las condiciones adecuadas para eliminar iones Pb (II) utilizando CV como material adsorbente. El estudio fue de tipo experimental aplicativo. Luego del proceso de tamizado, se logró obtener ceniza volante de 80 μm de diámetro de partícula. Utilizando DRX se caracterizó la ceniza volante, se identificó dos componentes, cuarzo (SiO_2) con 92,50 % y con 7,50 % del mineral moscovita y de 8,60 m^2/g de área superficial. Utilizando el diseño factorial 3^2 , se determinó el mayor grado de remoción, siendo de 60 % remoción de iones Pb (II) a un pH de 5,63 y tiempo de 60 minutos de remoción. Así mismo, por MSR se evaluó el grado de influencia del pH, y del tiempo de remoción de iones Pb (II); encontrándose que la variable pH, presenta un alto grado de efecto en el nivel de remoción según el diagrama de Pareto que sobrepasa ampliamente la línea de significancia. Por tanto, se concluye que la investigación permitió demostrar la remoción de iones Pb (II) en solución utilizando cenizas volantes como material adsorbente.

Palabras claves: ceniza volante, remoción, iones, cuarzo, moscovita

Summary

The main objective of the present studies was to find suitable conditions to remove Pb (II) ions using CV as adsorbent material. The study was of an applicative experimental type. After the sieving process, fly ash with a particle diameter of 80 μm was obtained. Using XRD, the fly ash was characterized, two components were identified, quartz (SiO_2) with 92,50 % and 7,50 % of the muscovite mineral and 8,60 m^2/g of surface area. Using the 3^2 factorial design, the highest degree of removal was determined, being 60% removal of Pb (II) ions at a pH of 5,63 and a removal time of 60 minutes. Likewise, the degree of influence of pH and the removal time of Pb (II) ions were evaluated by MSR; It was found that the pH variable has a high degree of effect on the removal level according to the Pareto diagram that far exceeds the line of significance. Therefore, it is concluded that the research allowed us to demonstrate the removal of Pb (II) ions in solution using fly ash as an adsorbent material.

Keywords: fly ash, removal, ions, quartz, muscovite

I. INTRODUCCIÓN

El estudio pretende usar cenizas volantes, como sólido adsorbente en la eliminación de iones Pb (II) en sistema acuoso. La localidad de compañía es un anexo del distrito de Pacaycasa que está ubicado en la provincia de Huamanga Departamento de Ayacucho, en dicho anexo se encuentra la zona industrial de ladrillos que abastece a la región, en la incorporación del carbón mineral como fuente adicional de energía, se genera gran cantidad de cenizas por año, producto que no presenta utilidad conocida. Debido a su tamaño y composición química, las cenizas de los productos de combustión presentan implicaciones ambientales que pueden clasificarse como residuos peligrosos. Por lo tanto, el contenido de metales pesados y la corrosividad pueden poner en peligro el medio ambiente. Autores como Ortiz

y et al. 2018, utilizaron ensayos de eliminación de plomo (Pb^{2+}) en sistemas acuosos en modo batch para evaluar ceniza volante (CV) obtenida de una empresa ladrillera; así mismo, Carreño Flórez et al., 2019, sintetizaron zeolitas a partir de cenizas volantes utilizando la activación en medio alcalino con NaOH-2M y KOH-5M mediante el método de hidrogel obtuvieron zeolitas potásicas y sódicas.

Las cenizas provenientes del carbón mineral, contiene ceniza volante que presenta tamaño de partícula comprendido de 2,0 a 160 μm . Las cenizas volantes pueden obtenerse mediante tamizado. El estudio tiene como objetivo principal usar las cenizas volantes producidas en la industria ladrillera de la región de Ayacucho para ser aplicado en la remoción de iones Pb (II) en solución.

II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Las muestras de cenizas utilizados en la presente investigación fueron tomadas de la localidad de compañía, correspondiente a la zona industrial de la producción de ladrillo. Se tomaron muestras representativas de cenizas de un horno de los de aproximadamente 50 hornos, considerando que todos los hornos de la zona tienen el mismo sistema de quemado. Las muestras de cenizas tuvieron un tratamiento inicial de tamizado para la obtención de cenizas volantes de diferentes tamaños de partículas, luego de seleccionar el tamaño de partícula se aplicó a los ensayos de remoción de iones Pb (II) utilizando el diseño factorial del tipo 3².

Procedimientos

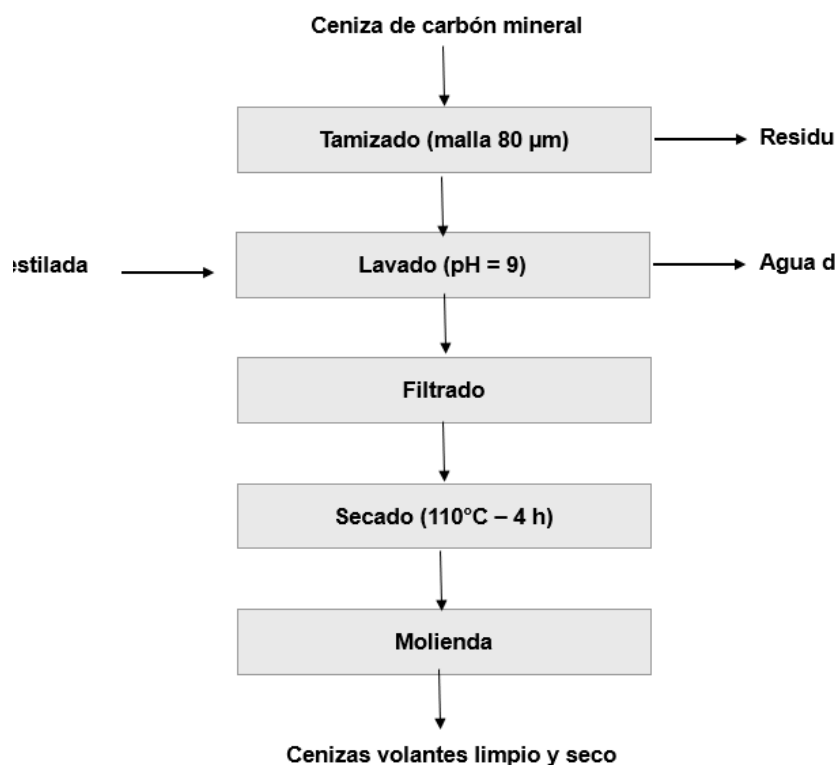
El presente estudio se dividió en dos etapas: en primera instancia las muestras de cenizas obtenidas de la ladrillera, se sometió al tratamiento de tamizados para obtener cenizas volantes y en la segunda etapa luego se dio la evaluación del grado de remoción de las cenizas volante de iones Pb (II) en solución. Los experimentos fueron realizados en el Laboratorio de Físicoquímica FIQM-UNSH, mientras que los análisis de DRX se realizaron en INGENMMET-Lima. Además, se utilizó el método BET

(Brunauer-Emmett-Taller) para determinar el área superficial en el Laboratorio de Catálisis de la Universidad Nacional de Ingeniería en Lima, mientras que las concentraciones de todas las muestras se determinaron en la empresa ACTLABS SKYLINE PÉRU SAC utilizando IC-POES.

Tratamiento de las cenizas

Inicialmente las muestras de cenizas de carbón mineral se sometieron al proceso de tamizado, se obtuvieron fracciones de diámetros de partículas de 160, 100, 90 y 80 μm . Para el presente estudio se utilizó las muestras de correspondiente a la malla pasante de 80 μm según la escala establecida la ASTM, tamaño de partícula comprendidos en el rango de 0,2 a 200 μm correspondiente al grupo de las cenizas volantes; luego se procede lavado con agua destilada próximo a pH 9, previamente se filtró y ser secado a 110 °C por el tiempo de 4 horas. La ceniza volante se sometió al proceso molienda, luego se guardó en frasco de polietileno. Se dispusieron muestras representativas para determinar la composición mineralógica mediante DRX y por el método BET el área superficial. El tratamiento de la muestra de ceniza para la obtención de cenizas volantes, se representa en la figura 1 en un diagrama de bloque.

Figura 1
Diagrama de bloque para la obtención de ceniza volante



Remoción de iones Pb (II) en solución

Respecto a la evaluación del grado de remoción de Pb (II), esta se llevó a cabo en sistema del tipo batch, para tal efecto se utilizó ceniza volante de 80 μm de diámetro de partícula. Se llegó a preparar 2 L de solución sintética de Pb (II) con concentración inicial de 100 ppm, usando $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ con $4\text{H}_2\text{O}$ (de grado P. A.) de la marca Merck; para evaluar del nivel de remoción se aplicó el diseño factorial tres cuadrado, considerando como factores el pH (3,5; 5,0 y 6,5) y tiempo de remoción (30; 60 y 90 min) y como variable respuesta fue el % de remoción. Para cada ensayo se utilizó 0,5 g de cenizas volantes con 200 mL solución de iones Pb (II) siendo la relación de 1:400 respecto a la cantidad en g de ceniza volante entre el volumen de solución.

Análisis de datos

La evaluación del grado de remoción de iones Pb (II), se aplicó el diseño factorial del tipo 3^2 , considerando al pH y tiempo de remoción como factores con tres niveles cada uno, y el % de remoción de iones Pb (II) como variable respuesta. Igualmente, se evaluó la influencia de las variables independientes y la optimización de los parámetros del proceso de remoción, en función del porcentaje de remoción.

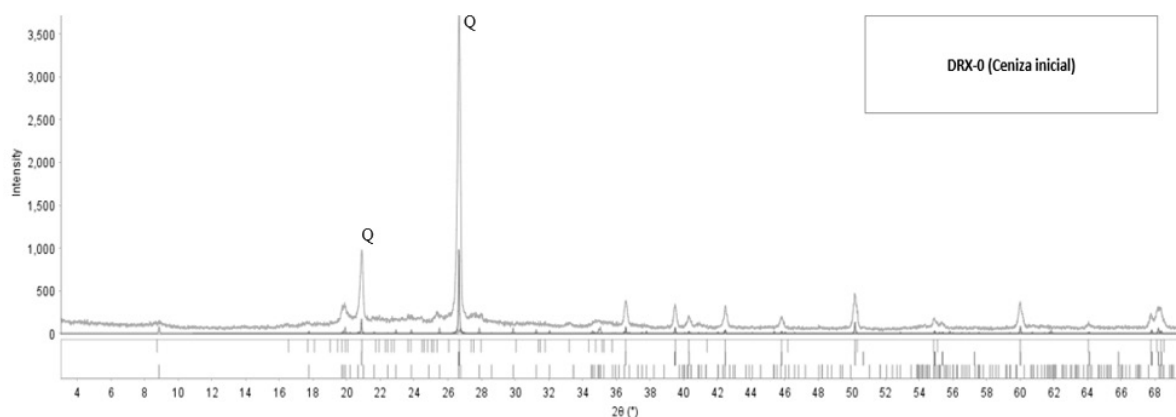
Para ello se empleó el método de superficie de respuesta (RSM) a través del paquete estadístico de Statgraphics Centurion XVIII.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Caracterización parcial de la ceniza volante

Para la ceniza volantes mediante DRX, se encontró dos minerales: contiene 92,50 % de cuarzo (SiO_2) y con 7,50 % del mineral moscovita. En otros trabajos desarrollados para la composición mineralógica; Iqbal et al. (2019) identificaron por DRX cuarzo, Yan et al. (2019) reportaron por DRX mullita y cuarzo; y los autores Joseph et al. (2020) por DRX también encontraron cuarzo y mullita. La técnica por DRX demuestra la identificación de cuarzo, que viene a ser un componente mayoritario que le permite ser utilizado como fuente de partida en la producción de diversos materiales adsorbentes, especialmente zeolitas previa rección química en medio básico. El difractograma de la ceniza volantes se visualiza en la figura 2, en ella se observa dos picos típicos de este material, con 2θ igual cercano a 21° para el primer pico y de $26,5^\circ$ para el segundo pico que corresponden al cuarzo (SiO_2).

Figura 2
Difractograma de la ceniza volante (DRX-0)

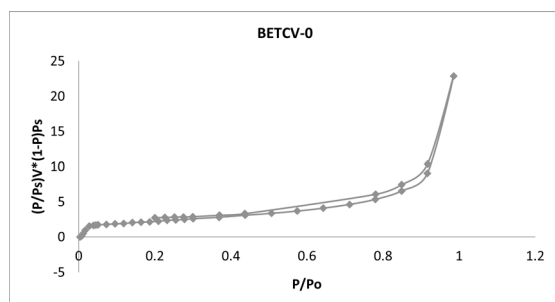


Del mismo modo en la Figura 3 para ceniza volante se tiene a isoterma de adsorción-desorción, isoterma que pertenece al grupo de isotermas del tipo IV establecido por IUPAC-1985, que se refiere a sólidos con características de superficie micro mesoporosa, con un bucle de histéresis tipo H1 y un poro cilíndrico. Para la ceniza volante se encontró un área superficial de $8,60 \text{ m}^2/\text{g}$ por el método BET. En el anexo B se tiene los puntos de adsorción y desorción por el método BET.

Para la ceniza volantes, autores como Parra-Huertas et al. (2023) hallaron $6 \text{ m}^2/\text{g}$ de área superficial; según Langauer et al. (2021) a partir de dos tipos de carbones, encontraron 0,8 y $3,6 \text{ m}^2/\text{g}$ para cada tipo de cenizas volantes y adicionalmente Joseph et al. (2020) determinaron para la ceniza volantes $2,0 \text{ m}^2/\text{g}$. Como se observa, los valores de área superficial de las cenizas volantes reportados presentan valores muy próximos.

Figura 3

Isoterma de adsorción-desorción para la ceniza volante



Respecto a la remoción de iones Pb (II)

Los resultados del proceso de remoción según el diseño factorial utilizado se reportan en la tabla 1, en ella evidencia que el mayor % de remoción de iones Pb (II) se da en el ensayo 7 (**RPb-7**); con 60,0 % de remoción y con condiciones de operación de pH 5,63 y 60 minutos de agitación. Según la literatura, Ortiz Medina, et al. (2018), removieron iones plomo hasta un valor máximo de 73,8 % a un pH inicial de 4,79. Así mismo, se observa que el ensayo 8 (**RPb-8**) presenta el menor valor del grado de remoción con 43,73 %, esto estaría relacionado a menor, el grado de remoción es mínimo, considerando que el tiempo es el máximo. Por tanto, señalamos que el factor pH presenta un efecto importante en el incremento del % de remoción de iones Pb (II), por tanto, se dice a menor pH menor % de remoción

Tabla 1

Resultados de los porcentajes de remoción de iones Pb (II)

Ensayo	Nomenclatura	pH	Tiempo	$[Pb^{2+}]_{remov}$	% remoción
1	RPb-1	3,5	60	53,40	52,36
2	RPb-2	3,5	30	51,30	50,30
3	RCd-3	6,5	90	51,90	50,88
4	RPb-4	5,0	30	57,30	56,18
5	RPb-5	5,0	90	55,80	54,70
6	RPb-6	6,5	30	60,30	59,12
7	RPb-7	5,0	60	61,20	60,00
8	RPb-8	3,5	90	44,60	43,73
9	RPb-9	6,5	60	60,80	59,60

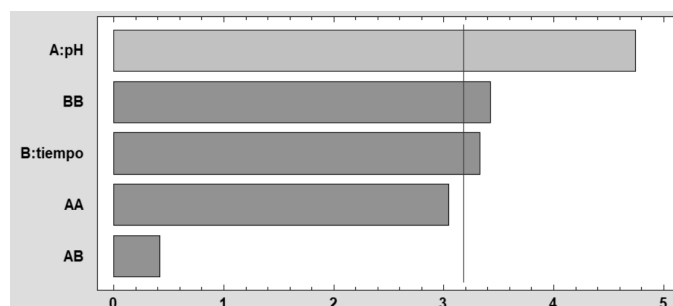
Respecto a la Carta Estandarizada de Pareto de los factores pH y de tiempo de remoción

Referido al % de remoción de Pb (II), la carta estándar de Pareto de la figura 4 se verifica los resultados de ANOVA respecto al grado de significancia de los factores independientes, en ella se observa que el

factor independiente de pH supera en mayor proporción la línea de significancia de 3,20 y la variable tiempo de remoción superan levemente la línea vertical de significancia; por lo que se afirma que la variable pH presenta influencia muy importante en el incremento del % de remoción de iones Pb (II) a diferencia del factor tiempo.

Figura 4

Carta estandarizada de Pareto para el porcentaje de remoción de iones Pb (II)



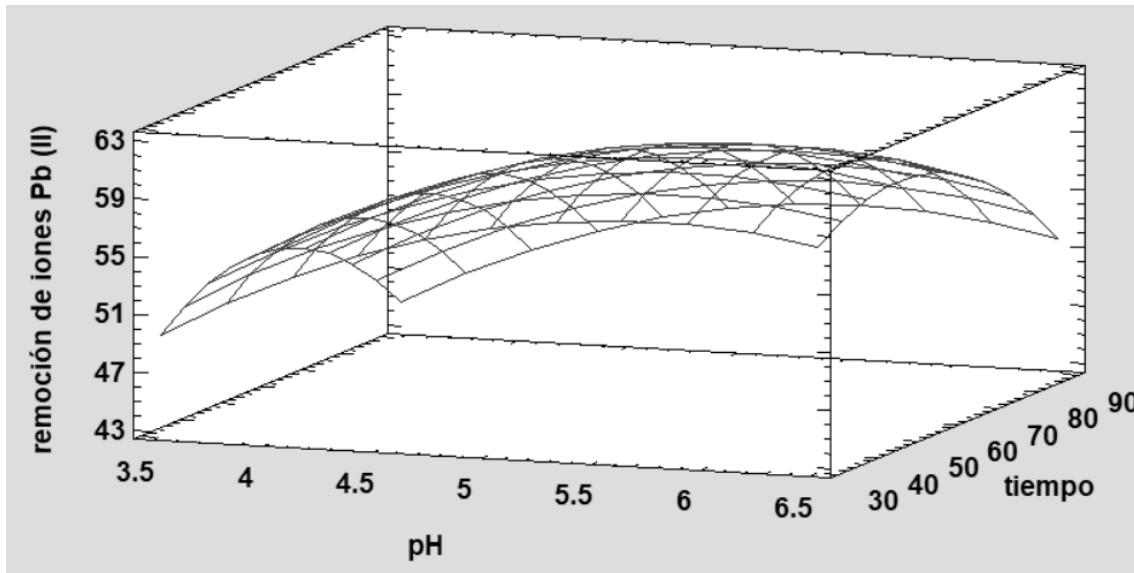
Superficie de respuesta para el porcentaje de remoción

En la figura 5, se reporta el diagrama de superficie

respuesta en forma tridimensional para el % de remoción de iones Pb (II).

Figura 5

Diagrama de superficie de respuesta para el porcentaje de remoción de iones Pb (II)

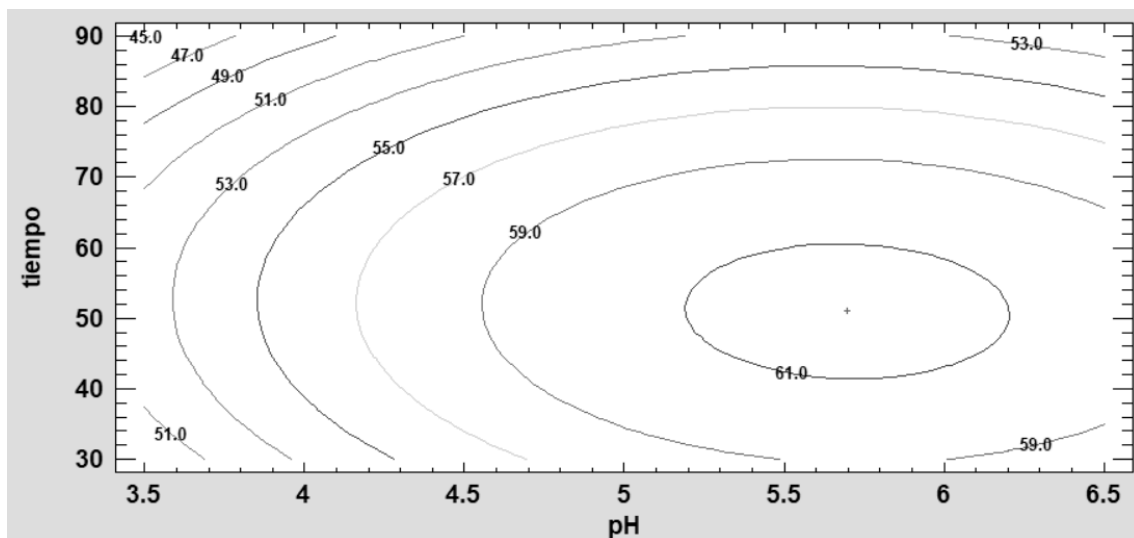
**Gráfica de contornos para el porcentaje de remoción**

La gráfica de contornos representada en la figura 6

muestra el punto en la cual se tienen el valor máximo del % de remoción de iones Pb (II) y nos permite encontrar los valores óptimos durante la remoción.

Figura 6

Gráfica de contornos estimada para el porcentaje de remoción de iones Pb (II)



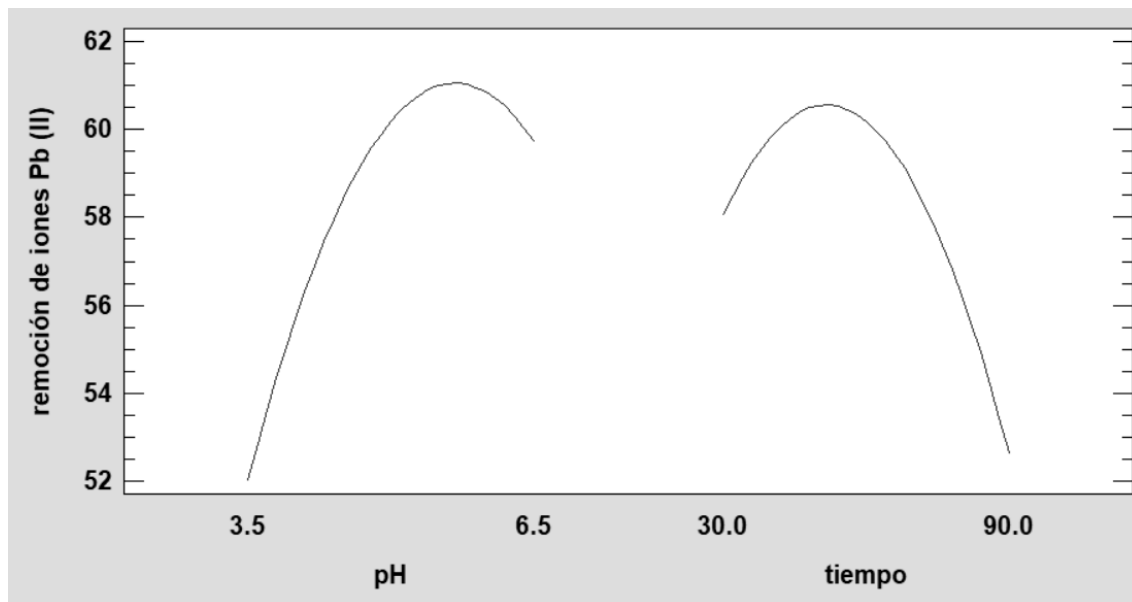
Se encontró que las condiciones de operación óptimas son de: pH 5,70; 51,0 minutos, y 61,50 % de reducción de iones Pb (II).

Análisis de la influencia del pH tiempo en la remoción de iones Pb (II)

En la gráfica representada en la figura 7, se observa

la tendencia del efecto del pH y el tiempo de remoción de iones Pb (II).

Figura 7
Influencia del pH y el tiempo de remoción en el porcentaje de remoción de Pb (II)



En cuanto a la influencia del pH, es evidente que el porcentaje de eliminación aumenta notablemente a medida que aumenta el pH hasta un punto máximo, y luego disminuye ligeramente. En cuanto a la influencia del tiempo de eliminación, la figura 7 muestra que al aumentar el tiempo, el porcentaje de eliminación aumenta ligeramente hasta alcanzar su punto máximo, y luego disminuye significativamente hasta alcanzar su punto mínimo. El diagrama de Pareto muestra que la variable de pH supera la línea de significancia para el proceso de eliminación, lo que indica que la variable de pH tiene el mayor impacto en la remoción de iones Pb (II).

IV. CONCLUSIONES

1. Por DRX se caracterizó la ceniza volante, se identificó dos minerales, cuarzo (SiO_2) con 92,50 % y con 7,50 % del mineral moscovita, con dos picos típicos que la identifican con 2θ igual a 21° y $26,5^\circ$; y de $8,59 \text{ m}^2/\text{g}$ de área superficial determinado por el método BET.
2. Se determinó por el diseño factorial 3^2 el grado de remoción más alto, siendo de 60 % remoción de iones Pb (II) a un pH de 5,63 y con 60 minutos de tiempo de remoción; y por la metodología de superficie respuesta (MSR) se determinó las condiciones óptimas, siendo: de 61,50 % de remoción bajo las condiciones de pH igual a

5,70 y de tiempo de remoción de 51,0 minutos.

3. Se analizó el nivel de influencia del pH y del tiempo de remoción de iones Pb (II) por metodología de superficie respuesta (MSR); se encontró que ambas variables presentan influencia en el incremento del grado de remoción, el primero presenta una mejor influencia como lo demuestra el diagrama de Pareto que ampliamente cruza la línea de significancia a diferencia de la variable tiempo que supera dicha línea en menor proporción.

V. AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (EX FEDU) por auspicio económico del presente estudio.
- Al Gerente General de la empresa ACT-LABS-INNOVATIVE TECHNOLOGIES, Fritz AIQUIPA LUNA por el apoyo en los análisis de la concentración de los iones metálicos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Carreño, E., Peña, G., & Ferrer Pacheco, M. Y. (2019). Zeolitas Sódicas y Potásicas a partir de Cenizas Volantes Provenientes de la Combustión del Carbón de la

- Termoeléctrica Termotasajero S.A.S. *Ciencia en Desarrollo*, 10(2), 219-219-233. Academic Search Ultimate. <https://doi.org/10.19053/01217488.v10.n2.2019.8035>
- Castaño, E., & Domínguez, J. (2010). *Diseño de experimentos: Estrategias y análisis en ciencias e ingeniería* (Primera edición). Universidad Autónoma de Querétaro.
- Gutiérrez, H., & De La Vara, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos* (tercera edición). Mc Graw Hill. Interamericana editores.
- Iqbal, A., Sattar, H., Haider, R., & Munir, S. (2019). Synthesis and characterization of pure phase zeolite 4A from coal fly ash. *Journal of Cleaner Production*, 219, 258-267. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.066>
- Joseph, I. V., Tosheva, L., & Doyle, A. M. (2020). Simultaneous removal of Cd(II), Co(II), Cu(II), Pb(II), and Zn(II) ions from aqueous solutions via adsorption on FAU-type zeolites prepared from coal fly ash. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(4), 103895. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103895>
- Längauer, D., Čablík, V., Hredzák, S., Zubrik, A., Matik, M., & Danková, Z. (2021). Preparation of Synthetic Zeolites from Coal Fly Ash by Hydrothermal Synthesis. *Materials*, 14(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/ma14051267>
- Lizcano-Cabeza, J. A., Ávila-Ascanio, L. F., Ríos-Reyes, C. A., & Vargas-Fiallo, L. Y. (2015). Efecto del proceso de fusión y envejecimiento en la síntesis de zeotipos a partir de cenizas volantes: Effect of the fusion and aging process in the synthesis of zeotypes from fly ash. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 74, 213-225.
- Mejía, J. M., Rodríguez, E. D., & Mejía de Gutiérrez, R. (2014). Utilización potencial de una ceniza volante de baja calidad como fuente de aluminosilicatos en la producción de geopolímeros. *Ingeniería y Universidad*, 18(2), 309-327. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.IYU18-2.upcv>
- Norma Técnica Española, UNE-EN-450. (2008). *Norma Técnica Española UNE-EN-450-1:2006+A1:2008*.
- Ortiz Medina, Ó. L., Agudelo Valencia, R. N., Tovar Castañeda, L. M., & Gutiérrez Camargo, N. G. (2018). Evaluación de cenizas volantes como material adsorbente para la remoción de Pb²⁺ en solución acuosa. *Mutis*, 8(2), 47-47-56. Directory of Open Access Journals. <https://doi.org/10.21789/22561498.1410>
- Parra-Huertas, R. A., Calderón-Carvajal, C. O., Gómez-Cuaspué, J. A., & Vera-López, E. (2023). Synthesis and characterization of Faujasite-Na from fly ash by the fusion-hydrothermal method. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. <https://doi.org/10.1016/j.bse-cv.2023.01.004>
- Rodríguez, F. (2010). Problemas más habituales en el uso de la adsorción física como técnica de caracterización de sólidos porosos. *Materiales en adsorción y catálisis*, N° 0 setiembre 2010, 13.
- Vizcaíno Mendoza, L., Fuentes Molina, N., Universidad de La Guajira, González Fragozo, H., & Instituto Nacional de Formación Técnico profesional. (2017). Adsorción de plomo (II) en solución acuosa con tallos y hojas de *Eichhornia crassipes*. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 20(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n2.2017.400>
- Yang, L., Qian, X., Yuan, P., Bai, H., Miki, T., Men, F., Li, H., & Nagasaka, T. (2019). Green synthesis of zeolite 4A using fly ash fused with synergism of NaOH and Na₂CO₃. *Journal of Cleaner Production*, 212, 250-260. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.259>