





USO DE PLUMAS DE POLLO COMO MEDIO FILTRANTE PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN AGUAS ÁCIDAS

USE OF CHICKEN FEATHERS AS A FILTER MEDIUM FOR THE REMOVAL OF HEAVY METALS IN ACIDIC WATERS

Rosario Polo Salazar¹  Myriam Figueroa Cruz¹  Mario Leyva Collas¹ 
Bheny Tuya Cerna ¹ 

¹Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Ancash, Perú

Correspondencia:
Mg. Rosario Polo Salazar
rpolos@unasam.edu.pe

Como citar este artículo: Polo, R., Figueroa, M., Leyva, M., & Tuya, B. (2024). Uso de plumas de pollo como medio filtrante para la remoción de metales pesados en aguas ácidas. *Hatun Yachay Wasi*, 3(1), 77 – 85. <https://doi.org/10.57107/hyw.v3i1.59>

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo utilizar las plumas de pollo como un medio filtrante para remover los metales de aguas ácidas. La muestra inicial antes del filtrado y las muestras obtenidas al final de cada filtración fueron medidas con espectrofotómetro de absorción atómica. Los resultados muestran que las plumas de pollo retienen los metales, hasta 20 filtraciones, obteniéndose una remoción final de 94,2 % de aluminio, 93,3 %, cobre, 98 %, cromo, 97,8 %, hierro, 99 %, manganeso y 98 %, plomo. Las concentraciones finales de metales estuvieron por debajo de los límites máximos permisibles (LMP), con excepción del cromo, cuyo valor estuvo en el borderline y el plomo, por encontrarse por encima de los LMP según OMS. Se concluye que las plumas de pollo por la propiedad de adsorción retienen los metales del agua ácida, permitiendo de esta manera la remoción de metales.

Palabras clave: adsorción, aguas ácidas, metales pesados, plumas de pollo, remoción.

ABSTRACT

This research aimed to use chicken feathers as a filter medium to remove metals from acidic waters. The initial sample before filtration and the samples obtained at the end of each filtration were measured with an atomic absorption spectrophotometer. The results show that chicken feathers retain metals, up to 20 filtrations, obtaining a final removal of 94.2 % of aluminum, 93.3 %, copper, 98 %, chromium, 97.8 %, iron, 99 %. manganese and 98 %, lead. The final concentrations of metals were below the maximum permissible limits (MPL), except for chromium, whose value was borderline, and lead, which was above the MPL according to the WHO. It is concluded that chicken feathers, due to their adsorption property, retain metals from acidic water, thus allowing the removal of metals.

Keywords: adsorption, acidic waters, heavy metals, chicken feathers, removal.



INTRODUCCIÓN

Los afluentes originados por diversas actividades ya sean naturales o antropogénicas, tales como lixiviados de residuos sólidos, drenajes ácidos asociados a la minería; así como, los provenientes de la descomposición de rocas debido al deshielo glacial, exhiben elevadas concentraciones de metales pesados. Estos efluentes, por su contenido nocivo, no son aptos para ser destinados a otros fines y, en consecuencia, son dirigidos hacia ríos, arroyos y cuerpos de agua superficial, generando impactos adversos en el entorno ambiental y la salud de las comunidades circundantes (Mayor et al., 2018). Aunado a esto, existe el incremento de desechos orgánicos, contribuyendo así al aumento de la contaminación en distintos compartimentos ambientales, incluyendo suelo, agua y aire. Este fenómeno repercute de manera negativa, tanto desde una perspectiva ambiental como en los aspectos sociales y económicos (López & Santos, 2017).

Se han implementado diversas tecnologías de descontaminación, abarcando aspectos físicos, químicos y biológicos, con el objetivo de disminuir las concentraciones de iones de metales pesados presentes en aguas residuales y efluentes industriales. Entre estas alternativas, la adsorción destaca como la opción más viable en términos de relación costo-efectividad para la remoción de metales pesados. Esta técnica se distingue por ser fiable, de aplicación sencilla y económicamente eficiente en el tratamiento del agua, como sustentan algunos estudios (Dhaouadi et al., 2020; Zahara et al., 2020).

Las plumas de pollo, consideradas como subproductos desechados, han encontrado aplicaciones valiosas como adsorbentes alternativos para la eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos del agua. Sus propiedades físicas y químicas únicas posibilitan su transformación mediante modificaciones químicas en biopolímeros

eficaces en el tratamiento de aguas residuales, gracias a su notable composición que incluye 91 % de proteína (queratina), 1 % de lípidos y 8 % de agua (Zahara et al., 2020). Esta composición característica confiere a las plumas, la capacidad de eliminar eficientemente diversos contaminantes presentes en soluciones acuosas, destacándose especialmente en la eliminación de metales pesados, como indican los hallazgos de la investigación de Moon & Palaniandy, (2019).

Hosseini et al. (2021) llevaron a cabo una investigación centrada en las plumas de diferentes aves, como pollo, avestruz y pavo. Se exploraron los compuestos sintetizados a partir de estas plumas, especialmente aquellas de avestruz combinadas con polianilina, con el propósito de remover el cromo hexavalente de soluciones acuosas. Los resultados obtenidos revelaron un destacado porcentaje de eliminación de cromo, alcanzando 87,4 % a un pH de 6 y un tiempo de contacto de 30 minutos. Además, se observó una relación positiva con la presencia de polianilina y las plumas de avestruz, particularmente cuando se combinaron con polietilenglicol, lo que sugiere que este compuesto se desempeña como el adsorbente más eficaz en estas condiciones.

Adicionalmente, Rahmani et al. (2020) emplearon plumas de pollo y cáscara de huevo en la síntesis de un carbón activado destinado a la adsorción de metales pesados (Pb^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} y Ni^{2+}) presentes en el agua; concluyendo que este adsorbente exhibió una capacidad de adsorción elevada para los iones metálicos, demostrando ser un proceso rápido y espontáneo. Estos hallazgos sugieren la utilidad práctica de este adsorbente en las plantas de tratamiento de aguas residuales, afectadas por la contaminación con iones de metales pesados.

De manera similar, Paul et al. (2018), evidenció la

eficiencia y efectividad del carbón activado obtenido a partir de plumas de pollo como bioadsorbente en la eliminación de metales pesados (Cd^{2+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} y Zn^{2+}) de soluciones acuosas. Top of Form Dado que las plumas de pollo representan un producto de bajo costo y han demostrado su eficacia como adsorbente ecológico en la eliminación de metales pesados (Moon & Palaniandy, 2019), el propósito de este estudio fue emplear las plumas de pollo como un medio filtrante para la remoción de metales en aguas ácidas.

MATERIALES Y MÉTODOS

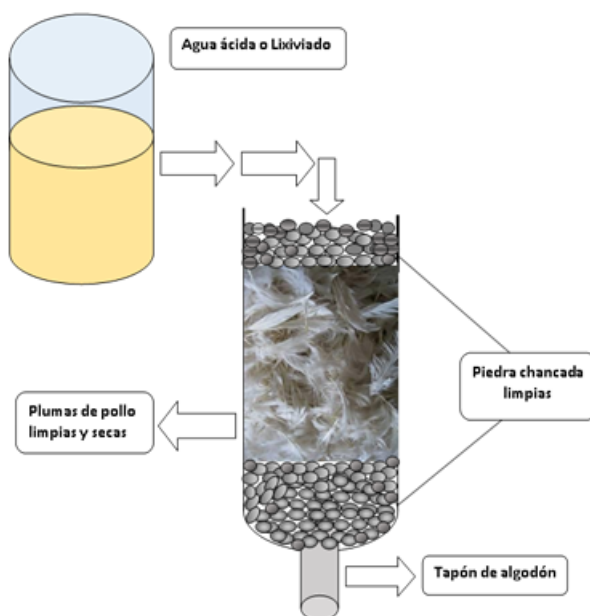
La muestra de agua ácida se obtuvo del relleno sanitario de residuos sólidos de Pongor, Huaraz, Perú, del área de lixiviados, aproximadamente 18 L.

Las plumas de pollo se obtuvieron del mercado de los establecimientos que pelan y venden pollos. Se lavaron las plumas con detergente y agua para eliminar los residuos de sangre, tierra y demás restos que puedan contener; se dejó secar al ambiente para luego separar las plumas de un tamaño de 12 a 15 cm, ocupando aproximadamente 20 a 30 cm. de la botella de 3 L, que fue utilizado como filtro.

La maqueta (filtro) se hizo utilizando una botella de 3 L de capacidad cortándose la parte de la base; se colocó piedra chancada con una altura de 5 cm en la base de la botella antes de colocar las plumas de pollo y sobre las plumas al finalizar el llenado de estas, para evitar que sean movidas por el aire y presione las plumas.

FIGURA 1

Esquema de la maqueta (filtro) armada para el proceso de filtración



La determinación de los metales (aluminio, cobre, cromo, hierro, manganeso, plomo), tanto en la muestra inicial como en las filtraciones obtenidas al final de este proceso se hizo mediante la espectrofotometría de absorción atómica. Se realizaron 20 filtraciones a partir de la muestra original.

Los valores obtenidos de los metales encontrados en aguas ácidas y analizados, se compararon con los límites máximos permisibles (LMP) según Organización Mundial de la Salud (OMS) (Chakraborty et al., 2020a).

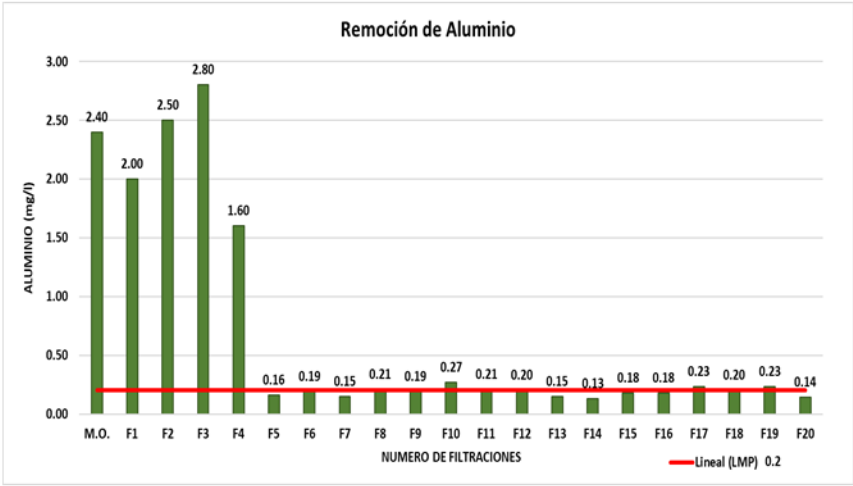
RESULTADOS

Los resultados obtenidos de los filtros hechos con plumas de pollo han mostrado una remoción alta en todos los metales analizados.

Para la remoción del aluminio, este metal tuvo

un valor de 2,40 mg/L en la muestra inicial; en la primera filtración disminuyó, luego aumentó hasta la filtración 4, presentando una disminución hasta el final de las filtraciones, obteniéndose un valor de 0,14 mg/L, por debajo de los valores de referencia (0,2 mg/L) (Fig.2).

FIGURA 2
Remoción de Aluminio según número de filtraciones

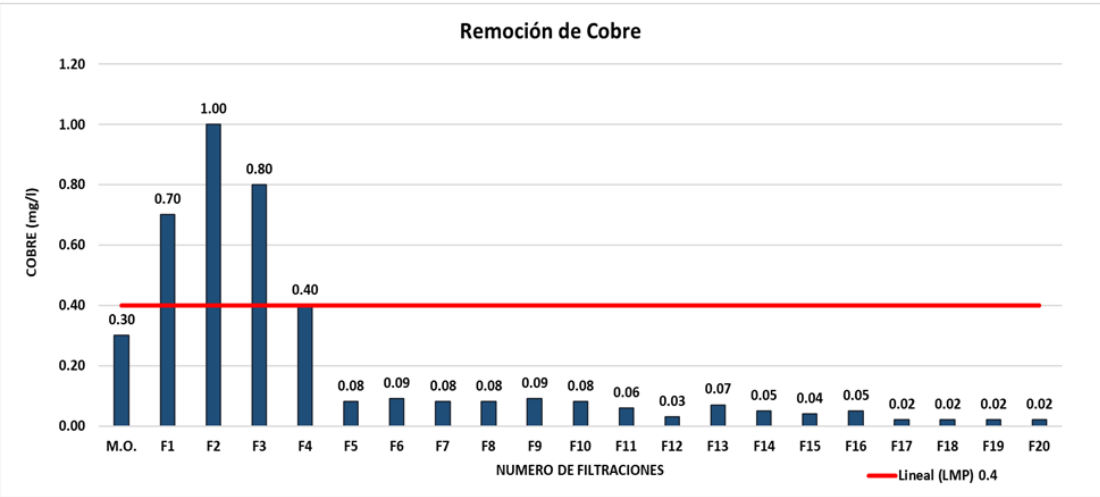


Nota: valores expresados en porcentaje (%)

La Figura 3 muestra la remoción de cobre, evidenciándose un comportamiento similar al del aluminio, teniendo la muestra original un valor de 0,30 mg/L y en la filtración final se reportó

0,02 mg/L, concentración aceptable dentro de los valores de referencia de la OMS (2,5 mg/L) (Fig.3).

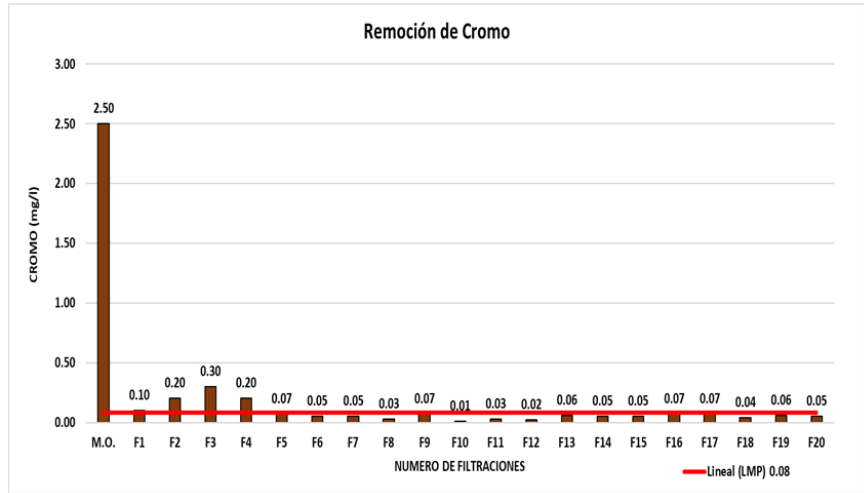
FIGURA 3
Remoción de cobre según número de filtraciones



Nota: valores expresados en porcentaje (%)

Para el cromo, a partir de la filtración 1 se observó una disminución del valor de la muestra original (2,50 mg/L) con oscilaciones en las cifras, hasta la filtración final que fue 0,05 mg/L, valor encontrado como borderline para la referencia de la OMS (Fig. 4).

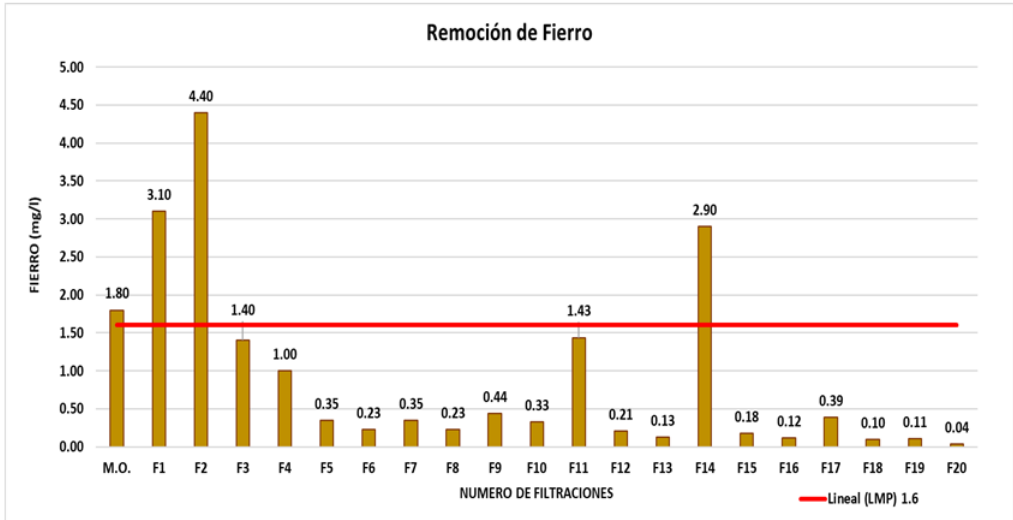
FIGURA 4
Remoción de cobre según número de filtraciones



Nota: valores expresados en porcentaje (%)

En cuanto al metal hierro, su comportamiento fue diferente, se observó que a partir de la muestra original hubo un incremento, luego, disminuyó en la tercera filtración hasta la filtración 11, donde aumentó su concentración; así mismo, en la filtración 14; en la muestra original el valor fue 1,80 mg/L y al final del proceso se obtuvo 0.04 mg/L. Para este metal el límite permisible según OMS es 0,30 mg/L.

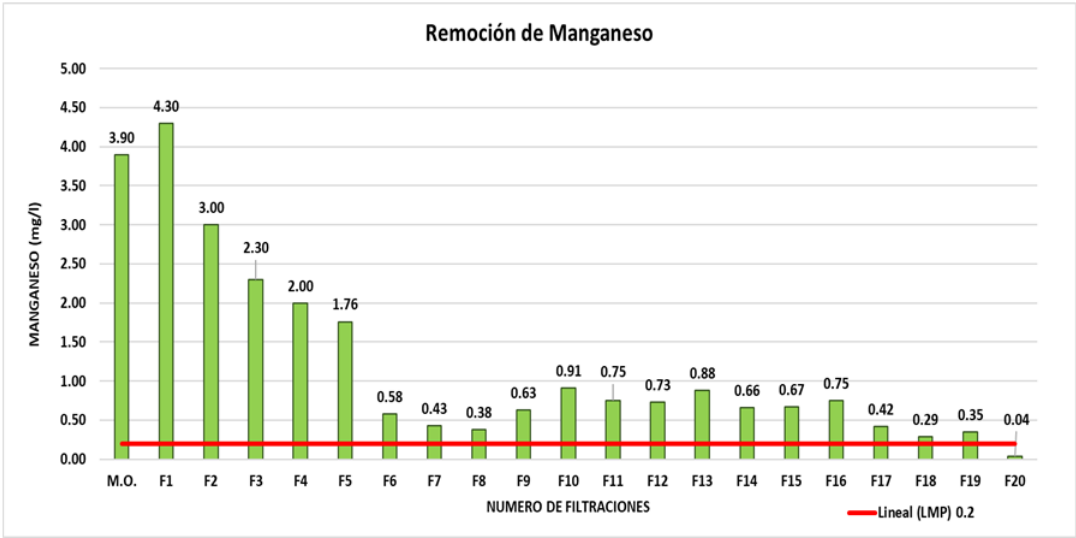
FIGURA 5
Remoción de hierro según número de filtraciones



Nota: valores expresados en porcentaje (%)

La Figura 6 señala la remoción del manganeso. El valor de la muestra original fue disminuyendo a partir de la filtración 1, hasta la última filtración. El valor está por debajo de los límites permisibles de la OMS (0,50 mg/L).

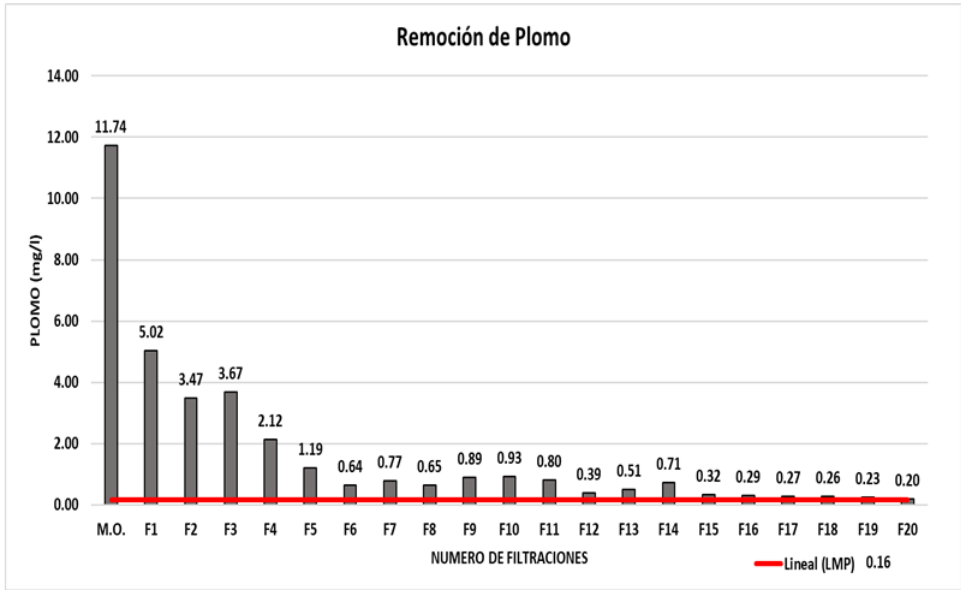
FIGURA 6
Remoción de manganeso según número de filtraciones



Nota: valores expresados en porcentaje (%)

El plomo presentó la mayor concentración inicial; un valor de 0,20 mg/L, cifra por encima del valor de referencia (0,05 mg/L) (Fig. 7). sin embargo, a partir de la primera filtración se observó una disminución hasta alcanzar al final con

FIGURA 7
Remoción de Plomo según número de filtraciones



Nota: valores expresados en porcentaje (%)

DISCUSIÓN

El interés en la utilización de plumas de pollo surge a raíz del aumento del consumo de carne de pollo a nivel mundial, debido a la superpoblación y los avances tecnológicos en la industria alimentaria. Este incremento ha dado lugar a una significativa producción y acumulación de residuos agroindustriales derivados de las plumas de pollo. Estos desechos, comúnmente descargados en vertederos, incinerados o enterrados, plantean desafíos asociados con el almacenamiento, la manipulación, el control de emisiones y la disposición de las cenizas (Solís et al., 2021).

La adsorción de metales pesados ha emergido como una estrategia rentable, sencilla y confiable en diversas aplicaciones comerciales. La eliminación de estos metales no solo constituye una solución eficaz para reducir costos, sino que también promueve prácticas sostenibles y eco amigables generando beneficios, tanto en el ámbito económico como en el ambiental (Goda et al., 2022).

La proteína β -queratina, presente en las plumas de pollo, exhibe en su estructura grupos hidrófilos, que incluyen aminoácidos como cisteína, grupos carboxílicos, hidroxilos y tiol, lo que posibilita la quelación de iones metálicos tóxicos en estos grupos (Masoumi et al., 2022). En el contexto de esta investigación, la eficiencia de remoción del cobre alcanzó un 93,3 %, mientras que la del hierro fue del 97,8 %. Estos valores fueron inferiores a los señalados por Chakraborty et al. (2020b), quienes emplearon plumas de pollo modificadas (MCF) como adsorbentes, para la eliminación de iones de metales pesados (Co^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} y Ni^{2+}) del agua, variando el pH, la concentración del adsorbente y el tiempo. En ese estudio, las eficiencias de eliminación para los iones Co^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} y Ni^{2+} fueron del 98,7 %, 98,9 %, 98,7 % y 99 %, respectivamente, a una concentración de 20 mg/L. Del mismo modo, Anantha & Kota, (2018) observaron un rápido incremento en la remoción

de cobre (del 92,2 % al 95,5 %; del 89,2 % al 94,5 % y del 87,2 % al 93,1 %) a medida que se incrementaba la dosis del adsorbente. Este aumento se atribuyó a la mayor área de superficie del material adsorbente y al aumento en el número de sitios de unión disponibles.

En el presente estudio, se identificó que el metal con la concentración más elevada fue el plomo, superando los estándares de referencia de la OMS (0,01 mg/L) en la filtración final. La capacidad de remoción para el plomo alcanzó el 98 %. En contraste, Rahmani et al. (2020), informaron capacidades de remoción del 76,3 %, 56,5 %, 113,3 %, 32,6 % y 45,5 % para Cd^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} y Zn^{2+} , respectivamente, al utilizar una combinación de plumas de pollo y cáscara de huevo para la síntesis de un carbón activado como adsorbente de estos metales. No obstante, Chen et al. (2017), observaron que el intercambio de Cd^{2+} y Pb^{2+} por Ca^{2+} fue el mecanismo predominante en la eliminación de estos metales de soluciones acuosas, mediante un adsorbente mineral sintético. Este proceso fue seguido por los fenómenos de adsorción y precipitación. Estos resultados sugieren que la combinación de diferentes enfoques, como la adsorción con materiales derivados de plumas de pollo y cáscara de huevo, o el intercambio iónico y precipitación con adsorbentes minerales sintéticos, puede proporcionar estrategias valiosas, amigables con el medio ambiente y económicamente eficientes, para eliminar metales de sistemas acuáticos a gran escala.

Además, se logró un impresionante porcentaje de remoción del 98 % para el cromo en este estudio. Asimismo, Paul et al. (2018), destaca que el aumento en el porcentaje de adsorción de iones metálicos con el incremento de la concentración del biosorbente se puede atribuir al aumento de los sitios de unión. En su investigación, emplearon carbón activado derivado de plumas de pollo para la eliminación de metales, obteniendo una capacidad

de remoción del 92,2 %, 92,5 %, 99,4 %, 89,9 %, 99,5 % y 92,7 % para Cd^{2+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} y Zn^{2+} , respectivamente.

Por otro lado, en el estudio de Goda et al. (2022), se evidenció una capacidad de sorción en el siguiente orden: $\text{Cu} > \text{Fe} > \text{Cr}$, con valores de 3,29; 2,02 y 1,46 mg/g para estos metales, respectivamente. Además, se observó una baja afinidad hacia los iones de cobalto, con un 18 % de remoción de una solución acuosa y una capacidad de adsorción de 0,42 mg/g. Estos resultados muestran la diversidad en las capacidades de adsorción de diferentes metales y subrayan la eficacia del adsorbente derivado de plumas de pollo en la remoción de cromo y otros metales pesados.

Por otra parte, en este estudio, se logró un porcentaje de remoción del 94,2 % para el aluminio y del 99 % para el manganeso. Contrastando con esto, Karmacharya et al. (2016), emplearon carbón activado como adsorbente para eliminar Cr^{6+} y Mn^{2+} de soluciones acuosas, obteniendo un porcentaje de remoción del 68 % para el Cr^{6+} y del 31 % para el Mn^{2+} . Se observó que el porcentaje de eliminación aumenta con el incremento de la dosis del adsorbente, mientras que la capacidad de adsorción disminuye, ya que esta última está influenciada por la masa del adsorbente.

Asimismo, Milani et al. (2018), utilizaron bagazo de caña de azúcar y raíces de lechuga hidropónica como biosorbentes para la eliminación de Cu^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} y Mn^{2+} de soluciones monoelementales en medio acuoso, a un pH de 5,5, mediante procedimientos discontinuos. Estos resultados resaltan la variabilidad en los métodos de adsorción y la influencia de la dosis del adsorbente en la eficacia de remoción de metales.

CONCLUSIONES

- Las plumas de pollo es un buen biosorbente que pueden ser utilizados como medio filtrante,

para remover metales u otros contaminantes de ecosistemas acuáticos.

- Los resultados obtenidos de los metales evaluados, al final de las filtraciones se encontraron por debajo de los LMP según OMS, con excepción del cromo, cuyo valor estuvo en el borderline y el plomo, por encontrarse por encima de los LMP según OMS.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anantha, R., & Kota, S. (2018). Bio-composites for the sorption of copper from aqueous solution: A comparative study. *Groundwater for Sustainable Development*, 7, 265–276. doi: 10.1016/j.gsd.2018.06.007
- Chakraborty, R., Asthana, A., Singh, A., Jain, B., & Susan, A. (2020a). Adsorption of heavy metal ions by various low-cost adsorbents: a review. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1–38. doi:10.1080/03067319.2020.1722811
- Chakraborty, R., Asthana, A., Singh, A., Yadav, S., Susan, A., & Carabineiro, S. (2020b). Intensified elimination of aqueous heavy metal ions using chicken feathers chemically modified by a batch method. *Journal of Molecular Liquids*, 312, 113475. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113475
- Chen, G., Shah, K., Shi, L., & Chiang, P. (2017). Removal of Cd (II) and Pb (II) ions from aqueous solutions by synthetic mineral adsorbent: Performance and mechanisms. *Applied Surface Science*, 409, 296–305. doi: 10.1016/j.apsusc.2017.03.022
- Dhaouadi, F., Sellaoui, L., Badawi, M., Reynel, H., Mendoza, D., Jaime, J., E., Bonilla, A., & Lamine, A. (2020). Statistical physics interpretation of the adsorption mechanism of Pb^{2+} , Cd^{2+} and Ni^{2+} on chicken feathers. *Journal of Molecular Liquids*,

114168. doi: 10.1016/j.molliq.2020.114168
- Goda, D., Diab, M., El-Gendi, H., Kamoun, E., Soliman, N., & Saleh, A. (2022). Fabrication of biodegradable chicken feathers into ecofriendly-functionalized biomaterials: characterization and bio-assessment study. *Scientific Reports*, 12(1), 22070. doi: 10.1038/s41598-022-26507-1.
- Hosseini, S., Samani, M., & Toghraie, D. (2021). Removal of hexavalent chromium from aqueous solution using ostrich feathers amended by polyaniline. *Journal of Materials Research and Technology*, 15, 488–499. doi: 10.1016/j.jmrt.2021.08.041
- Karmacharya, M., Gupta, V., & Jha, V. (2016). Preparation of Activated Carbon from Waste Tire Rubber for the Active Removal of Cr (VI) and Mn (II) Ions from Aqueous Solution. *Transactions of the Indian Ceramic Society*, 75(4), 234–241. doi:10.1080/0371750x.2016.1228481
- López, V., & Santos, H. (2017), La recirculación de lixiviados de rellenos sanitarios en biodigestores a escala de laboratorio. *Tecnología Química*, 37 (3), 433-444. <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v37n3/rtq06317.pdf>
- Masoumi, H., Ghaemi, A., & Ghanadzadeh, H. (2022). Surveying the elimination of hazardous heavy metal from the multi-component systems using various sorbents: a review. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 20(2), 1047-1087. doi: 10.1007/s40201-022-00832-z
- Mayor, V., Agudelo, A., García, L., & Padilla, L. (2018). Caracterización de lixiviados como alternativa que contribuya a la mitigación de contaminantes. *Revista ION*, 31 (1) DOI: <http://dx.doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018010>
- Moon, W., & Palaniandy, P. (2019). A Review on Interesting Properties of Chicken Feather as Low-Cost Adsorbent. *International Journal of Integrated Engineering*, 11 (2), 136–146. <http://penerbit.uthm.edu.my/ojs/index.php/ijie>
- Rahmani, A., Singh, P., Raizada, P., Lima, E., Anastopoulos, I., Giannakoudakis, D., Sivamani, S., Dontsova, T., & Hosseini, A. (2020). Use of chicken feather and eggshell to synthesize a novel magnetized activated carbon for sorption of heavy metal ions. *Bioresource Technology*, 297, 122452. doi: 10.1016/j.biortech.2019.122452.
- Solís, C., Cervantes, E., Saavedra, M. (2021). Use and treatment of chicken feathers as a natural adsorbent for the removal of copper in aqueous solution. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 19(1), 707-720. doi: 10.1007/s40201-021-00639-4.
- Zahara, I., Arshad, M., Naeth, M. A., Siddique, T., & Ullah, A. (2020). Feather Keratin Derived Sorbents for the Treatment of Wastewater Produced during Energy Generation Processes. *Chemosphere*, 128545. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.12