

# ADSORCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE MEDIANTE EL USO DE RESIDUOS MINERO-METALÚRGICOS COMO MATERIAL ADSORBENTE DE BAJO COSTO

*Chrome adsorption through the use of mining-metallurgical waste as low-cost adsorbents*

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Nallely Guadalupe Picazo Rodríguez <sup>1</sup>  
Francisco Raúl Carrillo-Pedroza <sup>2</sup>  
Ma de Jesús Soria Aguilar <sup>3</sup>  
Gabriela Baltierra Costeira <sup>4</sup>  
Gregorio Gonzalez Zamarripa <sup>5</sup>

Recibido: 21 / 10 / 2021

Aceptado: 25 / 03 / 2022

Publicado: 06 / 04 / 2022

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.195>

Autor de Correspondencia:

Nallely Guadalupe Picazo Rodríguez

Correo: [nallely.pr@monclova.tecnm.mx](mailto:nallely.pr@monclova.tecnm.mx)

## Resumen

En los últimos años los residuos generados por las industrias metalúrgicas han recibido mayor atención a causa de las implicaciones ambientales que conlleva su disposición, no obstante, se ha reportado que este tipo de residuos funcionan como adsorbentes de bajo costo para remover metales pesados de aguas residuales debido a su composición. Por otro lado, existen procesos que se llevan a cabo en las industrias de recubrimientos metálicos que generan aguas residuales con altos contenidos de cromo hexavalente, el cual es sumamente tóxico para la salud y el medio ambiente.

En el presente trabajo se realizaron una serie de pruebas de adsorción en una solución sintética de cromo hexavalente empleando como adsorbentes residuos procedentes de la industria minero-metalúrgica. Se observó que, empleando un residuo constituido principalmente por hematita y magnetita, se logró remover el 76% del cromo presente en la solución.

**Palabras clave:** adsorción, residuos, cromo.

## Abstract

*In recent years, the waste generated by the metallurgical industries has received greater attention due to the environmental implications of its disposal, however, it has been reported that this type of waste works as low-cost adsorbents to remove heavy metals from wastewater. due to its composition. On the other hand, there are processes that are carried out in the metal coating industries that generate wastewater with a high content of hexavalent chromium, which is highly toxic to health and the environment. In the present work, a series of adsorption tests were carried out in a synthetic hexavalent chromium solution using as adsorbents residues from the mining-metallurgical industry. It was observed that, using a residue consisting mainly of hematite and magnetite, it was possible to remove 76% of the chromium present in the solution.*

**Keywords:** adsorption, waste, chromium.

<sup>1</sup> Nallely Guadalupe Picazo Rodríguez, Instituto Tecnológico Superior de Monclova, Carretera 57, km 4.5, C.P. 25716, Monclova, Coahuila, México, [nallely.pr@monclova.tecnm.mx](mailto:nallely.pr@monclova.tecnm.mx). <https://orcid.org/0000-0002-5780-2747>

<sup>2</sup> Dr. Francisco Raúl Carrillo-Pedroza, Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Metalurgia, Monclova, México, [raul.carrillo@uadec.edu.mx](mailto:raul.carrillo@uadec.edu.mx). <https://orcid.org/0000-0002-0413-0676>

<sup>3</sup> Dra. Ma de Jesús Soria Aguilar, Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Metalurgia, Monclova, México, [mjsoriaa@yahoo.com.mx](mailto:mjsoriaa@yahoo.com.mx)

<sup>4</sup> M.C. Gabriela Baltierra Costeira, Instituto Tecnológico Superior de Monclova, Carretera 57, km 4.5, C.P. 25716, Monclova, Coahuila, México, [gabriela.bc@monclova.tecnm.mx](mailto:gabriela.bc@monclova.tecnm.mx),

<sup>5</sup> Dr. Gregorio Gonzalez Zamarripa, Instituto Tecnológico Superior de Monclova, Carretera 57, km 4.5, C.P. 25716, Monclova, Coahuila, México, [gregorio.gz@monclova.tecnm.mx](mailto:gregorio.gz@monclova.tecnm.mx)

## INTRODUCCIÓN

Las industrias minero-metalúrgicas generan una gran cantidad de diferentes tipos de residuos, en estado sólido, líquido y gaseoso [1]. En el caso de los residuos sólidos, generalmente son vertidos en grandes extensiones de terreno y si estos no son gestionados de manera correcta pueden traer consecuencias irreversibles al medio ambiente y a la salud de seres vivos.

Se estima que en México del 2004 al 2016 la industria metalúrgica generó 191,314.554 toneladas de residuos. Lo anterior indica la importancia de buscar nuevas alternativas para fomentar la economía circular dentro de este tipo de industrias mediante la generación de nuevas alternativas para el tratamiento y aprovechamiento de residuos metalúrgicos [2].

Por otro lado, la presencia de metales pesados en aguas residuales ha incrementado con el crecimiento de la actividad industrial, lo cual es una situación muy preocupante debido a que estos aún en pequeñas cantidades pueden ser nocivos para los organismos vivos al acumularse en el organismo e interrumpir el funcionamiento de órganos vitales y glándulas [3].

Uno de los metales pesados de mayor preocupación es el cromo, este se encuentra en aguas residuales procedentes de industrias textiles y de recubrimientos. El metal está presente en la naturaleza principalmente en estado de oxidación de +3 (trivalente) y +6 (hexavalente), las cu-

ales son sus formas más estables, siendo esta última la más preocupante por su toxicidad [4].

Varias técnicas como la precipitación, el intercambio iónico, la electrocoagulación y la adsorción se han utilizado para el tratamiento de aguas residuales que contienen Cr (VI). Actualmente la técnica más utilizada para su eliminación es la precipitación, en la que Cr (VI) se reduce primero a Cr (III) empleando sulfito, y luego se elimina mediante precipitación [5,6], no obstante, mediante esta técnica se generan una gran cantidad de lodos y costos extras por su disposición. Las demás técnicas generan grandes costos

extras de operación a excepción de la adsorción, el cual es un proceso flexible en diseño y operación y en la mayoría de los casos ofrece una alta eficiencia de remoción [7]; se han empleado diversos adsorbentes en la remoción de cromo, entre los cuales destacan el carbón activado y los óxidos de hierro. Los óxidos de hierro son conocidos por su alta capacidad para adsorber ciertos metales, entre los más comunes presentes en la naturaleza se encuentran los siguientes; magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), maghemita ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), hematita ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), y goetita ( $\text{FeOOH}$ ) [8,9].

En este contexto algunos residuos industriales sólidos procedentes de procesos minero-metalúrgicos están compuestos por óxidos de hierro, lo cual puede ser aprovechado para implementarlos como adsorbentes de cromo y de esta manera promover la economía circular dentro de las empresas.

En el presente trabajo se llevaron a cabo una serie de pruebas de adsorción de cromo hexavalente contenido





en soluciones sintéticas, para esto se emplearon distintas muestras de residuos, variando parámetros como el tipo de residuo y pH de la solución. lo cual servirá como un primer acercamiento para la resolución de la problemática planteada.

### MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del proyecto se empleó una solución sintética de cromo con una concentración de 20 ppm, esta fue preparada empleando un patrón de cromo de 1000 ppm marca sigma-aldrich.

Se eligieron dos tipos de residuos minero-metalúrgicos; (R01, R02 y R03), los cuales fueron caracterizados mediante Difracción de rayos x (para determinar las fases presentes de óxidos de hierro).

Se realizaron cuatro pruebas de adsorción (dos ajustando el pH con ácido nítrico de prueba a 2 empleando ácido nítrico) y dos sin ajuste de pH. En cada prueba de

adsorción, se utilizó un vaso de precipitado, parrilla y un agitador magnético. Se colocó una determinada muestra de adsorbente en contacto con 100 ml de la solución de cromo durante 15 minutos, posteriormente la solución fue filtrada; el líquido de cada prueba se analizó químicamente para determinar la cantidad de cromo adsorbido a través de un Espectrofotómetro de absorción atómica, marca Varían modelo SpectrAA-220FS.

La introducción puede plantear el problema, indicar la importancia del mismo, mencionar la hipótesis si hubiese, los objetivos, alcances del trabajo y limitaciones para su desarrollo, si es que las hubo. Ésta es sólo una propuesta, las mejores secciones de los artículos serán aquellas que sean acordes al desarrollo del trabajo, donde usted es el experto. Esta plantilla está hecha con el fin de facilitar el pasar su documento del formato que lo tenga al formato que se publicará en la Revista Epistemus. Sólo tiene que utilizar el icono de Copiar formato que aparece en la parte superior izquierda del menú de Word, para formatear su documento.

En la Tabla 1 se muestra el diseño experimental de las pruebas de adsorción.

**Tabla 1. distribución de fases de óxidos de hierro presentes en los residuos minero-metalúrgicos.**

Prueba	Residuo	pH
A1	R01	2
A2	R01	3
A3	R02	2
A4	R02	3



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se muestra la distribución de fases de óxidos de hierro presentes en los residuos minero-metalúrgicos:

Tabla 2. distribución de fases de óxidos de hierro presentes en los residuos minero-metalúrgicos.

Material	Especies identificadas (Composición % Peso)					
	Hematita (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Magnetita (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )	Franklinita (ZnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	Óxido de hierro (FeO)	Hierro cero valente (Fe <sup>0</sup> )	Suma de % de especies de hierro
R01	15.04	12.53	0.45	11.03	9.02	48.07
R02	47	20	23	-	-	90

En la Figura 1 se muestran los resultados de las pruebas de adsorción de cromo hexavalente en las diferentes condiciones de pH.

Figura 1. Resultados de pruebas de adsorción de cromo en residuos minero-metalúrgicos.

Como se puede observar en la Figura 1, cuando el pH de prueba es superior a 2 hay una baja remoción de cromo hexavalente en ambos residuos, esto puede ser atribuido a la carga de la superficie de los residuos, los cuales están constituidos en mayor proporción por óxidos de hierro.

De acuerdo con algunos investigadores [10], entre más bajo el pH, la superficie de los óxidos de hierro es más positiva lo que incrementa su afinidad por los cromatos aniónicos ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ), estas especies son las que se encuentran en soluciones de cromo a pH ácido. Por lo tanto, el hecho de que el residuo R02 está constituido por el doble de especies de hierro que el residuo R01, lo hace más susceptible a los incrementos de pH provocando una disminución de la adsorción de los cromatos.

Es interesante observar que hay una relación directa entre la proporción de los óxidos de hierro que hay en los residuos y la remoción del cromo. En la prueba A3 realizada a pH 2, en donde se empleó el residuo R02 compuesto por un 90% de óxidos de hierro se logró remover el 76% del cromo de la solución y en la prueba A1, en donde el residuo R01 estaba constituido por el 48.07% de óxidos de hierro se removió el 23.74% de cromo.

## CONCLUSIONES

Los residuos minero-metalúrgicos representan un gran desafío ya que la gestión de estos es un tema estrechamente relacionado con el cuidado del medio ambiente. Debido a que se considera que los desechos mineros, metalúrgicos e industriales tienen poco o ningún uso económico, generalmente se descartan y/o se depositan en vertederos, por lo que encontrar un segundo uso trae consigo beneficios económicos y ambientales.





Esta investigación mostró que hay una relación directa entre las fases de hierro contenidas y su capacidad de adsorción (a mayor cantidad de especies de hierro mayor remoción de cromo hexavalente) lo que los hace buenos materiales adsorbentes para ser empleados en el tratamiento de aguas residuales industriales. No obstante, es importante determinar previamente la carga superficial de los materiales adsorbentes para saber si son afines a los iones metálicos que se pretendan remover.

Como trabajos a futuro se evaluarán una mayor variedad de residuos, se estudiarán los mecanismos termodinámicos y cinéticos del proceso para poder aplicar los residuos en el tratamiento de aguas residuales industriales reales, lo cual representa un mayor reto debido a la diversidad de iones contenidos en estas.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Matinde, G. Simate and S. Ndlovu. "Mining and metallurgical wastes: a review of recycling and re-use practices". The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, vol.118, pp. 825-844, 2018
- [2] Programa nacional para la prevención y gestión integral de los residuos 2017-2018.
- [3] U. Tezcan, S. Eroglu and E. Ozel. The treatment of chromium containing wastewater using electrocoagulation and the production of ceramic pigments from the resulting sludge. Journal of Environmental Management, vol. 200, pp. 196-203, 2017.
- [4] M. Ataabadi, M. Hoodaji, A. Tahmourespour, M. Kalbasi and M. Abdouss. Optimization of factors affecting hexavalent chromium removal from simulated electroplating wastewater by synthesized magnetite nanoparticles. Environ Monit Assess, vol. 187, pp. 1-11, 2014.
- [5] Y. Bao, J. Huang, G. Cagnetta, and G. Yu. Removal of Fe-53B as PFOS alternative in chrome plating wastewater by UV/Sulfite reduction. Water Research, vol. 163, pp. 1-9, 2019.
- [6] H. Peng, Y. Leng, Q. Cheng, Q. Shang, J. Shu and J. Guo. Efficient Removal of Hexavalent Chromium from Wastewater with Electro-Reduction. Processes, vol. 7, pp. 1-12, 2019.

- [7] M. Jadidi, M. Etesami and M. Esfahany. Adsorption and Desorption Processes of Chromium Ions Using Magnetic Iron Oxide Nanoparticles and Their Relevant Mechanism. Iranian Journal of Chemical Engineering, vol. 14, pp. 31-40, 2017.
- [8] E. Smith and K. Ghiassi, K. Chromate Removal by an Iron Sorbent: Mechanism and Modeling. Water Environment Research, vol. 78, pp. 84-93, 2006.
- [9] T. Petrova, L. Fachikov and J. Hristov. The Magnetite as Adsorbent for Some Hazardous Species from Aqueous Solutions: A Review. International Review of Chemical Engineering, vol. 3, pp. 134-152, 2011.
- [10] A. Gallo, M. Morales and E. Mazarío. Effect of the Surface Charge on the Adsorption Capacity of Chromium(VI) of Iron Oxide Magnetic Nanoparticles Prepared by Microwave-Assisted Synthesis. Water, vol. 11, pp. 1-12, 2019.

## Cómo citar este artículo:

Picazo Rodríguez, N. G., Carrillo Pedroza, F. R., Soria Aguilar, M. de J., Baltierra Costeira, G., & González Zamarripa, G. (2022). ADSORCIÓN DE CROMO MEDIANTE EL USO DE RESIDUOS MINERO-METALÚRGICOS COMO ADSORBENTES DE BAJO COSTO. EPISTEMUS, 15(31). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.195>

