

# DE UNA TAZA DE CAFÉ A LA ADSORCIÓN DE METALES PESADOS

A. Félix-González

M. Ovando-Rocha

J. L. Fernández-Muñoz

Felipe Caballero-Briones



15

## FROM A COFFEE CUP TO HEAVY METAL ADSORPTION

## DE UNA TAZA DE CAFÉ A LA ADSORCIÓN DE METALES PESADOS

A. Félix-González<sup>1\*</sup>, M. Ovando-Rocha<sup>1</sup>, J. L. Fernández-Muñoz<sup>2</sup>, Felipe Caballero-Briones<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica de Altamira, Materiales para Energía, Salud y Medioambiente (GESMAT), Blvd de los Ríos Km. 3+100, Puerto Industrial, C.P. C.P. 89603, Altamira, Tamaulipas, México.

<sup>2</sup> Instituto Politécnico Nacional, Materiales para Energía, Salud y Medioambiente (GESMAT), CICATA Legaria. Calz. Legaria 694 Col. Irrigación, C.P. 11500, Miguel Hidalgo, Cd. Mx, México.

<sup>3</sup> Instituto Politécnico Nacional, Materiales para Energía, Salud y Medioambiente (GESMAT), CICATA Altamira, Km 14.5 Carretera Tampico-Puerto Industrial Altamira, C.P. 89603, Altamira, Tamaulipas, México.

\*E-mail: [azucena.fglz24@gmail.com](mailto:azucena.fglz24@gmail.com)

### ABSTRACT

In this article, the adsorption of heavy metals in polluted water using activated carbon from wasted coffee beans as sustainable adsorbent is described. The methods for the preparation of activated carbon from lignocellulosic residues are discussed as well as their use for heavy metal removal. Also, preliminary results of a research project on spent coffee bean revalorization by the production of activated carbon by physical and chemical methods for use in cleaning contaminated wastewater is presented.

**Keywords:** *Activated carbon, adsorption, spent coffee beans, heavy metals, pollution.*

*Fecha de aceptación: Junio 18, 2020.*

## RESUMEN

En el presente artículo se describe la adsorción de metales pesados en aguas contaminadas utilizando carbón activado elaborado a partir de residuos de café como fuente sustentable. Se discuten los métodos de elaboración de carbones activados a partir de residuos lignocelulósicos y su uso para remoción de metales pesados y se presentan resultados preliminares de un proyecto de investigación sobre la revalorización de la borra de café mediante la elaboración de carbón activado por métodos físicos y químicos para su uso en la limpieza de aguas residuales contaminadas con metales pesados.

**Palabras clave:** *adsorción, borra de café, carbón activado, contaminación, metales pesados.*

## INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural de vital importancia para el desarrollo de los ecosistemas, siendo la actividad humana el principal factor que la contamina. El consumo de agua contaminada presenta riesgos y efectos adversos para el ser humano y los demás seres vivos, siendo los microplásticos y metales pesados, algunos de sus principales contaminantes.

### **Pero ¿qué son los metales pesados?**

Los metales pesados son elementos químicos metálicos que presentan una alta densidad y son tóxicos para los seres humanos incluso en concentraciones bajas ya que tienden a bioacumularse dentro del cuerpo y pueden modificar el funcionamiento celular ocasionando enfermedades incurables. Proviene en su

mayoría de actividades industriales, mineras y agrícolas, aunque también existe el enriquecimiento natural del agua, al atravesar mantos acuíferos con rocas que se componen de ciertos minerales.

Actualmente la minería es una parte importante de la producción económica de México, como se observa en la Figura 1; nuestro país se ubica en primer lugar en la producción de plata a nivel mundial y se ubicó entre los 10 principales productores de 16 diferentes minerales: plata, bismuto, fluorita, celestita, wollastonita, cadmio, molibdeno, plomo, zinc, diatomita, sal, barita, grafito, yeso, oro y cobre [1]. Sin embargo, la explotación minera, así como las descargas industriales no tratadas y la disposición inadecuada de baterías y basura electrónica entre otras fuentes, genera emisión de metales pesados hacia el ambiente. En México los principales,

debido a su alta toxicidad y abundancia, son el mercurio (Hg), arsénico (As), plomo (Pb) y en algunos lugares el cromo (Cr), los cuales son muy fáciles de dispersar, pero muy difíciles de recuperar y después terminan en ríos y lagos de los cuales se extrae el agua para consumo humano [2].



**Figura 1.** Mapa de actividades y concesiones mineras en México.

## Y ¿qué pasa cuando estos metales son absorbidos por nuestro cuerpo?

Dependiendo de la valencia que presenta cada metal es su capacidad de absorción ya que pueden formar enlaces químicos nuevos con otros elementos y son los precursores de la alteración de procesos bioquímicos y fisiológicos que da lugar a diversas patologías como efectos teratogénicos (malformaciones) en fetos, cáncer, enfermedades de la piel y en casos extremos hasta la muerte [3]. Por otro lado, los efectos en el medio ambiente son igual de graves, por ejemplo, la contaminación de

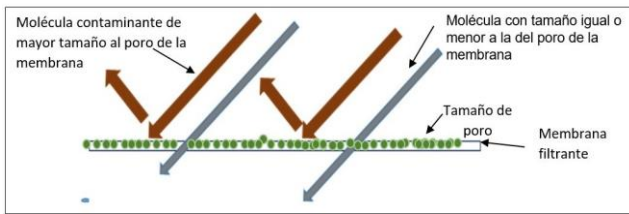
mantos acuíferos subterráneos, lagos, lagunas y ríos, presentando alteraciones en los animales que los habitan, como la acumulación de metales tóxicos en los tejidos de peces y moluscos.

Ante la necesidad de controlar este tipo de contaminantes en el agua y evitar el daño al medio ambiente y a la salud humana, la legislación mexicana establece los límites de sus concentraciones en el agua [4] plasmados en las normas oficiales mostradas en la Figura 2, además se han ideado métodos científicos y tecnológicos para separar estos metales del agua tales como: la filtración por membrana, el intercambio iónico y la adsorción [5].

NOM-001-SEMARNAT-1996	NOM-002-SEMARNAT-1996	NOM-003-SEMARNAT-1997
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales</li> <li>• Contaminantes básicos (temperatura, grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total y fósforo total).</li> <li>• Metales pesados y cianuros (arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.</li> <li>• Regula los parámetros: grasas y aceites, sólidos sedimentables, arsénico total, cadmio total, cianuro total, cobre total, cromo hexavalente, mercurio total, níquel total, plomo total, zinc total, pH, temperatura, materia flotante, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y sólidos suspendidos totales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.</li> <li>• Los parámetros que controla esta norma son coliformes fecales, huevos de helminto, grasas y aceites, DBO, sólidos suspendidos totales, materia flotante; así como metales pesados y cianuros referidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.</li> </ul>

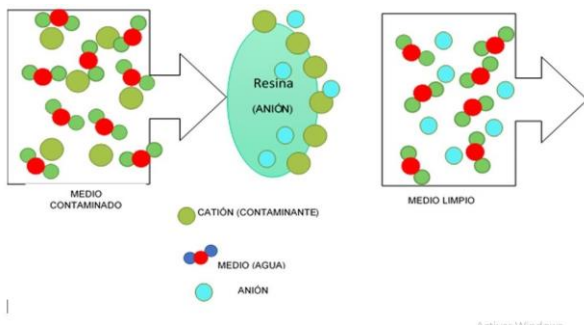
**Figura 2.** Normas oficiales aplicables en México sobre los límites-permisibles de contaminantes en el agua.

La primera consiste en la utilización de membranas o materiales naturales o sintéticos con billones de poros, que evitan el paso de iones o de partículas de un tamaño específico (Figura 3), es decir, son como coladores a escala microscópica.



**Figura 3.** Esquema de proceso de filtración por membrana.

En el intercambio iónico, el agua contaminada atraviesa una resina con partículas con carga positiva (aniónicas) o negativas (catiónicas) donde se lleva a cabo un intercambio de iones de la resina que reemplazan los iones con la misma carga de los metales que se desean eliminar, como se muestran en la Figura 4.

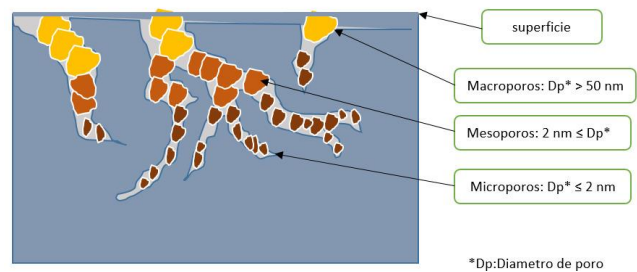


**Figura 4.** Esquema de proceso de intercambio iónico para eliminación de metales pesados en agua.

Por último, la adsorción, un proceso fisicoquímico de transferencia de masa por el cual los átomos, iones o moléculas son atrapadas o retenidas en los grupos funcionales disponibles (o número de coordinación) del material (adsorbente) o por efecto de las fuerzas de Van der Waals, durante este proceso las especies disueltas son transportadas en los poros del adsorbente por

difusión, de tal manera que al estar el adsorbato en contacto con la superficie, éste llena los poros del adsorbente.

Los metales pesados presentan un radio iónico mayor a 0.07 nm, por lo que los materiales microporosos y mesoporosos (Figura 5) son aptos para adsorberlos.



**Figura 5.** Clasificación de tamaño de poro de un material según la IUPAC.

Sin embargo, para que un proceso de adsorción sea eficiente, es necesario tomar en cuenta factores como [5]:

- Las propiedades de textura del adsorbente (área específica, tamaño y volumen de los poros, carga de la superficie, concentración y sitios activos)
- La características físicas y químicas del adsorbato (tamaño de la molécula, polaridad, solubilidad, composición química, enlaces disponibles, número de coordinación, y concentración del adsorbato en la solución)
- Las condiciones de la fase líquida (pH, temperatura, fuerza iónica y polaridad).

El interés en el carbón activado como adsorbente ha aumentado debido a sus múltiples propiedades fisicoquímicas y estructurales tales como su gran área superficial (hasta 2000 m<sup>2</sup>/g), su estructura porosa y su contenido de grupos funcionales activos que permiten su aplicación tanto en la industria como en la vida cotidiana, por lo que se ha buscado la manera de obtenerlo a partir de materias primas sustentables, siendo los residuos lignocelulósicos como los rastrojos de maíz o arroz, las cáscaras de frutas, el serrín de madera, la borra de café y otros desechos provenientes de la agroindustria. En la Figura 6 se presentan los resultados obtenidos al usar como adsorbente de metales pesados, carbones activados obtenidos de diferentes fuentes [6,7].



**Figura 6.** Principales residuos lignocelulósicos utilizados para adsorción de metales pesados [7,8].

Los carbones activados pueden ser obtenidos mediante dos métodos: por activación termoquímica y por activación termo-física. En ambos

casos, es necesario pasar primero por un proceso térmico donde la materia prima se deshidrata y carboniza con y sin presencia de algún gas (calentamiento en ausencia de aire) y en el primero se usan agentes catalíticos que generan una estructura porosa en el carbón, como el ZnCl<sub>2</sub>, el FeCl<sub>3</sub>, el KOH o el H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.

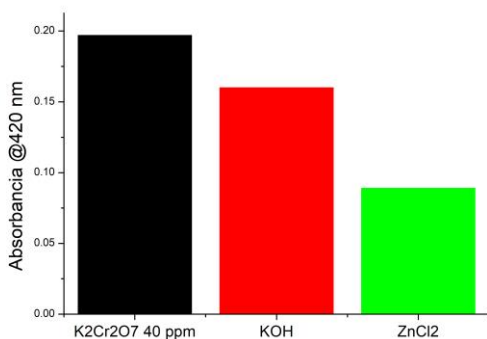
### ¿Por qué la borra de café es una buena materia prima para la elaboración de carbón activado?

La borra de café es un residuo orgánico poco valorado, que en los últimos años ha sido cada vez más considerado en la investigación y la tecnología para la fabricación de carbón activado. El interés de esta materia prima, viene del aumento en el consumo de esta bebida ya que en 2018 el consumo per cápita de café en el país fue de 1600 kilogramos anuales, de acuerdo con la PROFECO, 85% de los mexicanos toman de una a tres tazas al día y según FIRA, en México el consumo de café aumenta 2% cada año [8].

### ¿Qué resultados se han obtenido?

En el CICATA Altamira se encuentra en marcha un proyecto en colaboración con la Universidad Tecnológica de Altamira para la revalorización de la borra de café, obteniéndose entre otros subproductos, carbones activados por

métodos termo-físicos y termoquímicos. En el primer estudio de factibilidad se prepararon carbones utilizando  $ZnCl_2$  y  $KOH$ , respectivamente, como agentes activantes, seguido de una pirólisis a  $500\text{ }^\circ\text{C}$ . Se estimó la remoción de  $Cr(VI)$  midiendo la absorbancia a  $420\text{ nm}$  de las soluciones tratadas con los carbones preparados. Las áreas activas estimadas por el método de absorción de azul de metileno fueron de  $9\text{ m}^2/\text{g}$ . En la Figura 7 se observa una menor absorbancia en las soluciones de  $Cr(VI)$  tratadas con carbones activados con  $ZnCl_2$  con respecto a los activados con  $KOH$ . El estudio, que se reanudará al terminar el confinamiento debido al COVID-19, incluirá variar las condiciones de pirólisis, el tamaño inicial de partícula, las atmósferas de reacción, el pH, el tiempo, la cantidad de carbón añadido y la concentración inicial de  $Cr(VI)$ . También se hará un estudio de factibilidad para determinar la posible producción de este material a escala de  $1\text{ kg}$ .



**Figura 7.** Grafica de lecturas de absorbancias de  $Cr(VI)$ .

## CONCLUSIONES

La contaminación por metales pesados es uno de los problemas más graves a los que se enfrenta nuestro país, al ser la minería, la industria y la agricultura los pilares de la economía mexicana y también la fuente de estos metales, razón por la cual se han implementado proyectos de investigación para el saneamiento de aguas utilizando productos que provengan de fuentes sustentables como la borra de café, como materia prima para la elaboración de carbón activado que ha demostrado su capacidad de adsorción de metales como  $Cr$ ,  $Cd$ ,  $Pb$ ,  $Cu$  y  $Zn$ .

## REFERENCIAS

- [1] Secretaría de Economía. El sector minero-metalúrgico en México contribuye con el 4 por ciento del Producto Interno Bruto nacional. <https://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/mineria>. Consultado: Jun. 17, 2020.
- [2] S.A. Covarrubias, J. J. Peña Cabriales. “Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación”. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 33 (2021) 7-21.
- [3] L.F. Londoño-Franco, P.T Londoño-Muñoz, F.G. Muñoz-García. “Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal”. *Biocología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14 (2016) 145-153.

[4] Normas Oficiales Mexicanas - Comisión Nacional del Agua.

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAA-15-13.pdf>. Consultado: Junio, 2020].

[5] R. Ramos. “Importancia y Aplicaciones de la Adsorción en Fase Líquida” en Adsorción de compuestos orgánicos disueltos en agua sobre carbones activados, C 5 (2017) 155-191

[6] CEDRSSA, Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. «Reporte del café en México diagnóstico y perspectiva”. 2018. Disponible en <http://www.cedrssa.gob.mx/files/10/30EI%20café%20en%20M%C3%A9xico:%20diagn%C3%B3stico%20y%20perspectiva.pdf>. Consultado: Junio, 2020.

[7] J. Zhao, X.J. Shen, X. Domene, J. Alcañiz, X. Liao, C. Palet, «Comparison of biochars derived from different types of feedstock and their potential for heavy metal removal in multiple-metal solutions». Scientific Reports 9 (2019) 1-12.

[8] Min-Suk Kim, Hyun-Gi Min, Namin Koo, Jeongsik Park, Sang-Hwan Lee, Gwan-In Bak, Jeong-Gyu Kim, «The effectiveness of spent coffee grounds and its biochar on the amelioration of heavy metals-contaminated water and soil using chemical and biological assessments», Journal of Environmental Management 146 (2014) 124-130.