

## REMOCIÓN DE ARSÉNICO (III) POR MEDIO DE CARBÓN DE PIROLISIS EN FASE ACUOSA

---

***Octavio Trejo-Chavero***

Tecnológico Nacional de México,  
Tecnológico de Estudios Superiores de  
Coacalco, TESCO  
Estado de México, México

***Lidia Soriano-Piña***

Tecnológico Nacional de México,  
Tecnológico de Estudios Superiores de  
Coacalco, TESCO  
Estado de México, México

***Cecilia Mercado-Zúñiga***

Tecnológico Nacional de México,  
Tecnológico de Estudios Superiores de  
Coacalco, TESCO  
Estado de México, México

***Juventino Barojas-Huerta***

Tecnológico Nacional de México,  
Tecnológico de Estudios Superiores de  
Coacalco, TESCO  
Estado de México, México

***María Teresa Torres-Mancera***

Tecnológico Nacional de México,  
Tecnológico de Estudios Superiores de  
Coacalco, TESCO  
Estado de México, México

***Raquel Eunice Hernández Ramírez***

Tecnológico Nacional de México,  
Tecnológico de Estudios Superiores de  
Coacalco, TESCO  
Estado de México, México

All content in this magazine is licensed under a Creative Commons Attribution License. Attribution-Non-Commercial-Non-Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).



**Resumen:** Se llevó a cabo la remoción de arsénico (3+), por medio de la adsorción sobre un sustrato proveniente de la pirolisis de llantas fuera de uso (carbón de pirolisis), debido al contenido de azufre y otros metales, fue necesario realizar su acondicionamiento por medio de una desulfuración oxidativa (ODS) y un tratamiento químico. Las concentraciones de arsénico fueron medidas mediante espectrofotometría UV/Vis antes y después de cada tratamiento por medio de espectrofotometría UV/Vis; para comparar el rendimiento del carbón de pirolisis se llevaron pruebas similares con un carbón comercial de las mismas características. Se realizaron curvas de equilibrio y se propusieron dos modelos de adsorción para realizar el ajuste de los datos experimentales. Se logró disminuir considerablemente el azufre presente en el carbón mediante la ODS, sin embargo no se logró su eliminación, lo cual sería una limitante para la aplicación del carbón en el tratamiento del agua. El carbón de pirolisis tuvo un rendimiento superior al carbón comercial, se encontró un modelo tipo Lagmiur para los datos de equilibrio, la adsorción de arsénico sobre el carbón de pirolisis resultó ser favorable y representa un medio sustentable para la remoción de metales altamente contaminantes.

## INTRODUCCIÓN

Debido a su alta toxicidad, no biodegradabilidad y acumulación a través de la cadena alimenticia, el arsénico y otros metales pesados resultan ser muy problemáticos y amenazantes para el medio ambiente y los seres humanos. Debido a esto, la Organización Mundial de la Salud, recomendó que el máximo permisible debe ser de 10 µg/L para el arsénico y para cromo el 0.05 mg/L en agua para consumo humano. Por lo tanto es muy importante lidiar con las aguas residuales contaminadas antes de su descarga al suelo y a

los cuerpos de aguas. Muchos investigadores han empleado la precipitación química, separación por gravedad, ósmosis inversa, intercambio iónico, electrocoagulación, electrodiálisis, flotación y adsorción para la remoción de fosforo y metales pesados de la red del alcantarillado [1]. Recientemente el negro de carbono proveniente de la gasificación del aceite crudo de los fondos de refinería, fue acondicionado para adsorber colorantes, mostrando una gran capacidad de adsorción [2]. Los materiales de ingeniería resultan ser una fuente alterna para el tratamiento de metales traza, de ahí la importancia de este trabajo para elaborar un material a partir de la pirolisis de llantas post-consumo [3,4,5].

## METODOLOGÍA

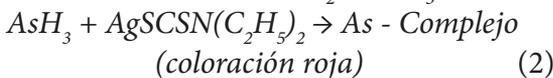
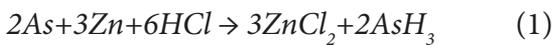
*Reactivos y Materiales.* Se empleó arsénico ( $As_2O_3$ ) de la marca Sigma aldrich (CAS 1325-53-3) el cual fue empleado tal como fue recibido.

*Preparación del carbón del pirolisis.* El carbón de pirolisis fue desulfurado mediante peróxido de hidrogeno (10%) y desmineralizado mediante ácido clorhídrico 1 M. El carbón desulfurado fue lavado con metanol para remover los compuestos oxidados y posteriormente lavado con suficiente agua desionizada. Inicialmente el carbón fue colocado en una solución de HCl por un tiempo de 30 minutos en agitación constante, posteriormente fue lavado con abundante agua y secado a 80 °C, para posteriormente llevar a cabo la desulfuración.

*Caracterización del carbón.* El carbón fue caracterizado mediante patrones de difracción de rayos X, análisis químico elemental (fluorescencia de rayos X) y área superficial (BET), antes y después del tratamiento de desulfuración y del tratamiento químico con HCl.

*Análisis de arsénico (3+)*[6]. Para el análisis del As (3+) se empleó el método

espectrofotométrico con dietil ditio carbamato de plata, en este método el arsénico presente se reduce a arsina por medio de zinc metálico en solución acida, la arsina formada reacciona con el dietil ditio carbamato de plata para formar un complejo rojo soluble, intercambio del As por la plata (535 nm), cuya coloración es proporcional al arsénico presente en la muestra (reacciones 1 y 2). Se utilizó un espectrofotómetro Varian Cary 50 C UV/Vis para determinar las concentraciones del complejo rojo al inicio y al final de cada tratamiento.



*Desempeño del carbón de pirolisis.* Para la comparación de resultados, se utilizó carbón activado comercial GAC 1240W, para procesamiento de agua potable, activado por vapor granular marca Norit™ (GAC).

*Curvas de equilibrio.* Se realizaron curvas de equilibrio, el tiempo establecido fue de 180 min para alcanzar las condiciones de equilibrio, las concentraciones en el equilibrio fueron determinadas mediante la ecuación 1 y se estableció un modelo de acuerdo a la ecuación 2.

$$q_e = \frac{(C_i - C_f)v}{w} \quad (1)$$

$$q_e = kC^{1/n} \quad (2)$$

$$\ln q_e = \ln k + \frac{1}{n} \ln C \quad (3)$$

## RESULTADOS

*Análisis químico Elemental.* En la figura 1 y 2 se muestran los resultados del análisis químico elemental antes y después del tratamiento. Los elementos que se presentaron en mayor proporción fueron zinc, azufre y hierro, no se encontró la presencia de vanadio, cadmio

ni otro elemento traza, aunque si se detectó aluminio al inicio del tratamiento.

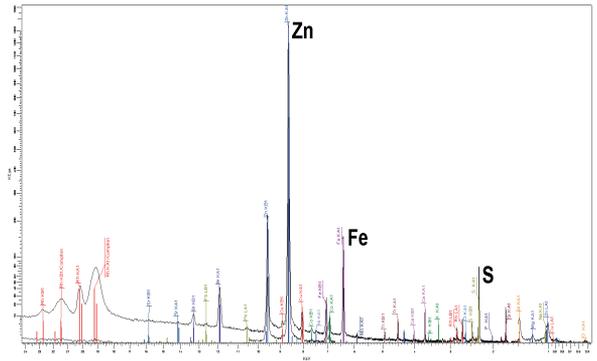


Figura 1.0 Análisis químico elemental después del tratamiento químico y desulfuración.

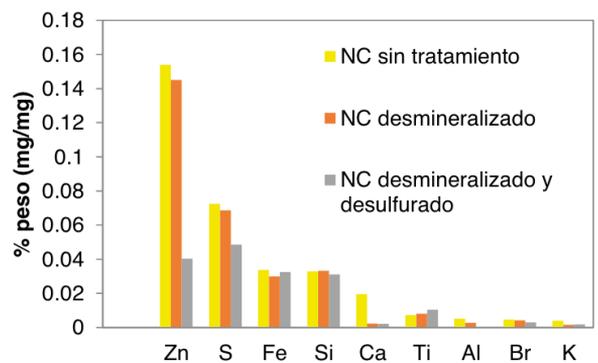


Figura 2.0 Comparación de los tratamientos en la remoción de los elementos.

*Área Superficial.* En la tabla 1 se muestran los resultados de la fisisorción con nitrógeno gaseoso sobre el carbón de pirolisis antes y después de los tratamientos, debido al diámetro del poro el material se puede clasificar como un material meso poroso, lo cual refleja espacios disponibles para la adsorción. La desulfuración y la desmineralización aumentan el área superficial y disminuyen el volumen del poro.

	Carbón desmineralizado	Carbón desmineralizado y desulfurado
Área superficial (m <sup>2</sup> /g)	51.77	63.07
Volumen del poro (cc/g)	0.202	0.173
Diámetro del poro (Å)	14.288	14.288

Tabla 1.0 Caracterización del carbón de pirolisis mediante análisis BET.

*Difracción de rayos X.* En la figura 3 se muestra el patrón de difracción en el carbón antes y después del tratamiento, solo se observó respuesta para el Zn (cristalino) que puede ser en su forma más común (sfarelita hexagonal).

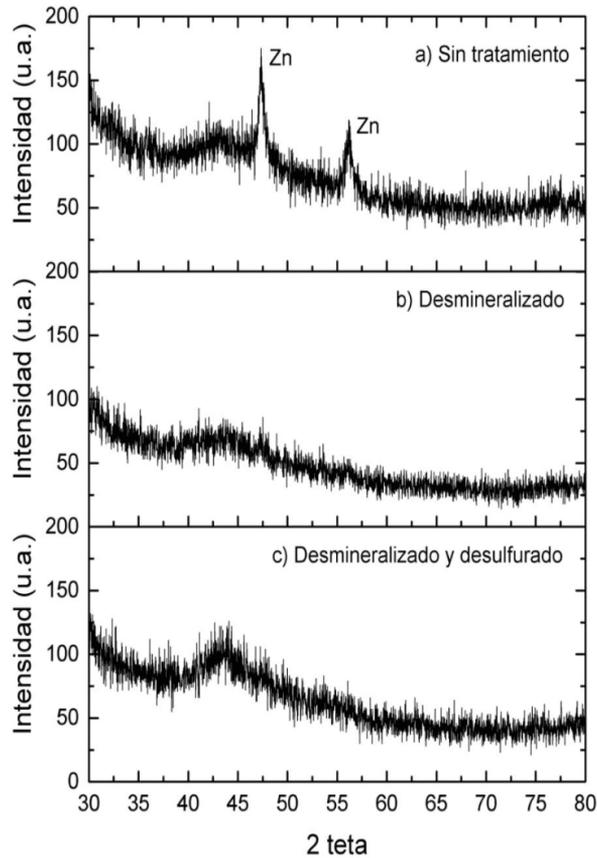


Figura 3.0 Patrones de difracción de rayos X antes y después del tratamiento.

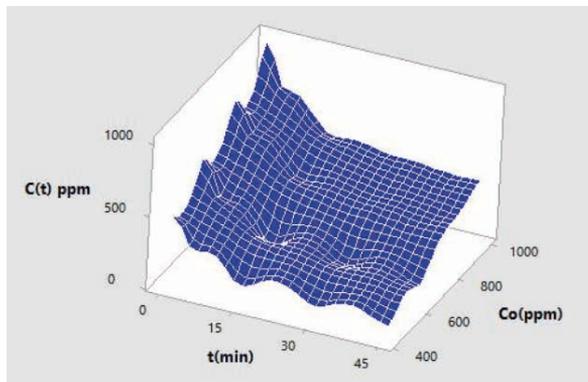


Figura 4. Efecto de la concentración inicial en la remoción de As (+3) en carbón de pirolisis (W=0.05 g).

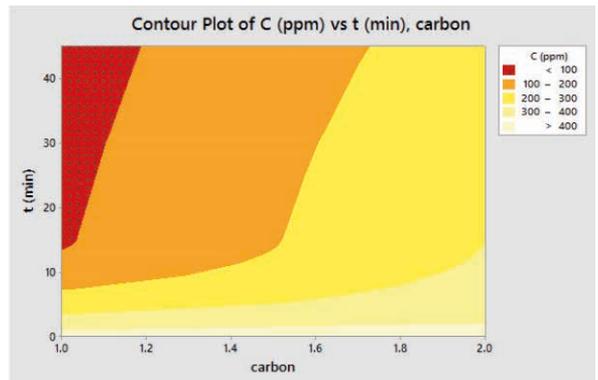


Figura 5. Efecto del tipo de carbón (1: carbón de pirolisis, 2: Carbón comercial Norit™) (Co=450 mg/L, W=0.05 g).

*Pruebas de adsorción con el carbón comercial y el de pirolisis.* En la figura 4 se puede observar el efecto de la concentración inicial de As(3+) sobre la remoción en el carbón de pirolisis, la concentración inicial afecta fuertemente la remoción, siendo mayor cuando se reduce la concentración inicial (1000<820<635<450 mg/L), a partir de los 15 minutos de contacto con el carbón se alcanzó un 81% de remoción para la menor concentración inicial estudiada, a partir de este tiempo la remoción permanece constante. En la figura 5 se muestra el efecto del tipo de carbón en la remoción de As(3+), el carbón 1 (carbón de pirolisis) tuvo un desempeño superior al comercial (2), para un tiempo de 15 minutos este alcanzó únicamente un 33.5% de remoción en comparación con el carbón de pirolisis que alcanzó un 81.0% para este mismo tiempo.

## CONCLUSIONES

El carbón de pirolisis representa una opción para el tratamiento sustentable del agua contaminada con elementos tóxicos como el arsénico, sin embargo este puede verse limitado por la presencia de otros elementos tóxicos como el azufre contenido en el carbón de pirolisis por lo que se tienen que realizar la ultra-desulfuración (no realizada en este estudio), para asegurar su

probable aplicación. El modelo de primer orden para las concentraciones en el equilibrio ( $n=0.996$ ) representó adecuadamente los datos experimentales y aseguró una adsorción favorable ( $k=45$  mg/mg).

## REFERENCIAS

1. Zhu, Ningyuan, Yan, Tingmei; Qiao, Jun, Cao, Honglei. Adsorption of arsenic, phosphorus and chromium by bismuth impregnated biochar: *Chemosphere*, 164(2016) 32-40.
2. Dong, Pengwei; Maneerung, Thawatchai; Ng, Wei Cheng; Zhen, Xu; Dai, Yanjun; Tong, Yen Wah. Chemically treated carbon black waste and its potential applications. *Journal of Hazardous Materials* 321(2017) 62-72.
3. Cheng, G., Sun, M., Yao, L., Wang, L., Sorial, G.A., Xu, X. and Lou, L. (2015). Investigation into the feasibility of black carbon for remediation of nonylphenol polluted sediment through desorption kinetics after different order spiking. *Chemosphere*, 138, pp. 568-575.
4. Cruz, N. X., Villers, R. L., Gay, G. C. (2014). Black carbon and organic carbon emissions from wildfires in Mexico. *Atmósfera*, 27 (2). México.
5. Satoda, H. (2016). The recovery of carbon black from scrap rubber by a continuous dry distillation system and its use for an asphalt pavement. *Carbon*, 104, pp. 263
6. Rice, E. W., Baird, R. B., Eaton, A. D. (1999). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, pp. 410-414.