

# EL SUELO, DONDE TODO COMIENZA

*Coordinadores*

Fernando Ramos Gourcy  
Luis Reyes Muro  
José Saúl Padilla Ramírez  
Catarino Perales Segovia  
Miguel Ángel Martínez Gamiño  
Víctor Manuel Rodríguez Moreno  
Esteban Salvador Osuna Ceja  
Mercedes Borja Bravo



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE AGUASCALIENTES

# EL SUELO, DONDE TODO COMIENZA

## *Coordinadores*

Fernando Ramos Gourcy  
Luis Reyes Muro  
José Saúl Padilla Ramírez  
Catarino Perales Segovia  
Miguel Ángel Martínez Gamiño  
Víctor Manuel Rodríguez Moreno  
Esteban Salvador Osuna Ceja  
Mercedes Borja Bravo



## Instituciones colaboradoras en el 44° Congreso Mexicano de la Ciencia del Suelo



Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo



International Union of Soil Sciences



Colegio de Postgraduados, Campus S.L.P.



Instituto Tecnológico El Llano  
Aguascalientes



Universidad Nacional Autónoma de México



Universidad Autónoma Chapingo



# EL SUELO, DONDE TODO COMIENZA

Primera edición 2019

D.R. © Universidad Autónoma de Aguascalientes  
Av. Universidad 940  
Ciudad Universitaria  
Aguascalientes, Ags., 20131  
[www.uaa.mx/direcciones/dgdv/editorial/](http://www.uaa.mx/direcciones/dgdv/editorial/)

## Coordinadores

D.R. © Fernando Ramos Gourcy  
Luis Reyes Muro  
José Saúl Padilla Ramírez  
Catarino Perales Segovia  
Miguel Ángel Martínez Gamiño  
Víctor Manuel Rodríguez Moreno  
Esteban Salvador Osuna Ceja  
Mercedes Borja Bravo

D.R. © Natividad Tlacotempa Avilés  
Fabián Fernández Luqueño  
Miriam Vega Hernández  
Mónica Alondra Flores Rivera  
Manuel Alexis Sánchez Castro  
Andrea Yakelin Pérez Moreno  
Pedro Rivera Ruiz  
Román Guadalupe Morales Marta  
Hermes Pérez Hernández  
César Roberto Sarabia Castillo  
Rolando Ávila Ayala  
Margarita Eugenia Gutiérrez-Ruiz  
Tarsicio Medina Saavedra  
David Cristóbal Acevedo  
María Dolores Guevara Espinosa  
Lenom Cajuste Bontemps  
Isabel del Rayo Estrada Herrera  
Óscar Valdivia Martínez  
Tania González Vargas  
Erika María López García  
Mario Francisco Santoyo de la Cruz  
Julia Amalia Hernández González  
Alejandra Guadalupe Villegas Pañeda  
Rufo Sánchez Hernández  
Gustavo Ortiz Ceballos  
Karla Varela Mata  
Luis Fernando Monfil Hernández

Sergio Dionisio Luévano Gurrola  
David Espinosa Victoria  
José Saúl Padilla Ramírez  
Juan Carlos Camacho Chab  
Griselda del Carmen León-Galván  
Karla Vanessa de Lira Ramos  
Blanca Estela Gómez Luna  
Gabriela Medina Pérez  
Judith Castellanos Moguel  
Jorge López Cárdenas  
Rubén Garza Lau  
Alejandro Moreno Reséndez  
Marco Antonio Bustamante García  
Angélica Cardiel Alanis  
Nayely Jazmín Gutiérrez Ruelas  
Ezequiel Muñoz Márquez  
Aracely Mena Echevarría  
Rosalinda Mendoza Villarreal  
Adalberto Benavides Mendoza  
Juan Carlos Velázquez Juárez  
José Osbaldo Ramos Méndez  
José Rafael Paredes Jácome  
Hugo Ernesto Flores López  
Alejandro Ismael Monterroso Rivas  
Nadia Hernández Tapia  
Mariana Miranda Arámbula  
Fidel Blanco Macías  
Tomás Moreno Gallegos  
Jesús López Guzmán  
Rebeca de Gortari Rabiela  
Nalleli Concepción Pérez Pérez  
María Inés Yáñez Díaz  
Rafael Delgado Martínez  
Leonel García Álvarez  
Victorino Gómez Valenzuela  
Karem Arely Aguirre Terrazas  
Jonatan Torres Pérez  
Ruby Azucena Sarabia Sánchez  
Elva Jessica García Celestín  
Claudia Tiscareño Villa  
Yuridia del Carmen Jiménez López  
Gildardo Pérez Mireles  
Miguel Ángel Martínez Gamiño

Héctor Ramírez Garduño  
Alfonso Serna Pérez  
Jonhson Fabricio Garcés Aguirre  
Marithza Guadalupe Ramírez Gerardo  
Martin Espinosa Ramirez  
Carlos Rojas Santillán  
Daniel Torres Nava  
Miguel Agustín Velásquez Valle  
Sergio Arellano Arciniega  
Edelvis Mónica Álvarez Cadena  
Esteban Salvador Osuna Ceja  
Francisco Guadalupe Echavarría Chairez  
Roberto García Marroquín  
Brenda Ponce Lira  
Abraham Díaz Romo  
Susana Ortega Lopez  
Leonardo Pulido Madrigal  
Arturo Erubiel Hernández Tirado  
Gilberto Vela Correa  
Dulce Flores Rentería  
Luis David Naranjo Espinoza  
Juan Manuel Covarrubias Ramírez  
Mónica Guadalupe Lozano Contreras  
Aurelio Báez Pérez  
Miguel Ángel Gallegos Robles  
Rubén Guerrero Medina  
Jaime Cruz Rodríguez Gómez  
Gabriela Vázquez Barenca  
Gustavo Mercado Mancera  
Cristian Alejandro Reyna Ramirez  
Rigoberto Castro Rivera  
José Antonio Hernández Herrera  
Alfredo Mondragón Sánchez  
Gisela Aguilar Benítez  
Sara Luz Vera García  
Erick Baltazar Brenes  
Alfonso de Luna Jiménez  
Juan Pedro Flores Margez  
Felipe De Jesús González Rodríguez  
Armando Lopez Santos  
Mercedes Borja Bravo  
Luis Reyes Muro

## Comité de Arbitraje Científico:

José Saúl Padilla Ramírez  
Catarino Perales Segovia  
Miguel Ángel Martínez Gamiño  
Víctor Manuel Rodríguez Moreno  
Esteban Salvador Osuna Ceja  
Mercedes Borja Bravo

## Para citar esta obra:

Ramos G. F., Reyes M. L., Padilla R. J. S., Perales S. C., Martínez G. M. A., Rodríguez M. V. M., Osuna C. E. S. y Borja B. M. (Coords.). 2019. *El suelo, donde todo comienza*. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, Ags. México. 972 p.

Diseño editorial:  
Genaro Ruiz Flores González  
[ldgnaro.myportfolio.com](http://ldgnaro.myportfolio.com)

ISBN 978-607-8652-94-5

Hecho en México  
*Made in Mexico*

El contenido y cuidado de los textos son responsabilidad de los autores

I  
Diagnóstico, metodología  
y evaluación del recurso suelo

II  
Relación suelo-clima-biota

III  
Aprovechamiento  
del recurso suelo

IV  
Educación  
y asistencia técnica

ÍNDICE GENERAL

# CARBÓN ACTIVADO DE CÁSCARA DE NUEZ PARA LA REMOCIÓN DE MOLÉCULAS ORGÁNICAS MEDIANTE UN PROCESO DE SORCIÓN CONTINUO

Karem Arely Aguirre Terrazas<sup>1</sup>  
Jonatan Torres-Pérez<sup>1</sup>

## RESUMEN

La Tartrazina es un colorante amarillo sintético azoico altamente soluble en agua que ha sido utilizado como un aditivo en alimentos, bebidas, medicamentos y cosméticos. Estos compuestos, conocidos como contaminantes emergentes, pueden tener efectos negativos en la salud y en los ecosistemas. Se ha encontrado que uno de los métodos más eficaces para la eliminación de contaminantes orgánicos en el agua es la adsorción y que el adsorbente más eficaz es el carbón activado. Este trabajo de investigación evaluó la capacidad de adsorción alternativa del material carbonoso activado para la remoción de un colorante azoico en un proceso de sorción en columna. Este proceso se realizó en un sistema en continuo usando columnas de vidrio empacadas en lecho fijo de carbón activado preparado con cáscara de nuez (*Carya illinoensis*). Para el proceso de sorción en continuo se empleó un flujo ascendente de 1.0 mL/min, de una solución de colorante Amarillo No. 5 con una concentración inicial de 5 mg/L. El proceso de adsorción en la columna se representó por medio de curvas de saturación donde se logró una remoción entre 90 y 100% de colorante. Así mismo, se determinó que el volumen total de agua que se puede obtener con porcentajes de eliminación aceptable de colorante usando este proceso fue de 500 mL. Se aplicó el modelo de

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Departamento de Ciencias Químico Biológicas. Cuerpo Académico de Contaminación en Recursos Naturales. jonatan.torres@uacj.mx

Thomas para entender el ajuste cinético. El proceso de adsorción en la columna fue muy eficiente para la remoción de Amarillo No. 5 en medio acuoso usando un carbón activado sustentable.

**Palabras clave:** carbón activado, colorantes azoicos, sorción en columna, Tartrazina.

## INTRODUCCIÓN

El creciente uso de colorantes por las industrias de papel, pulpa, textil, cuero, alimentos y medicamentos ha llevado a la liberación de efluentes que contienen sustancias coloridas en el ambiente, la mayoría de estas son resistentes a la luz, la temperatura y agentes oxidantes; estas suelen ser no biodegradables, bioacumulables en los organismos vivos y tóxicos en ciertos niveles. Los efluentes coloreados son muy visibles incluso en pequeñas concentraciones de colorantes y afectan seriamente la calidad estética y la transparencia de los cuerpos de agua, dañando el ecosistema acuático (Gupta *et al.*, 2011). La Tartrazina es un colorante amarillo sintético azoico altamente soluble en agua que ha sido utilizado como un aditivo en un sin número de productos, lo cual puede llegar a causar ciertos problemas (Abu Shawish *et al.*, 2013). Existe una necesidad urgente de eliminar los colorantes antes de que el efluente sea descargado en los cuerpos de agua receptores. Se ha encontrado que uno de los métodos más eficaces para la eliminación de contaminantes orgánicos en el agua es la adsorción y que el adsorbente más eficaz es el carbón activado. Sin embargo, el uso de carbón activado es costoso, lo que limita su uso generalizado, fomentando el uso de adsorbentes alternativos más baratos, tales como residuos agrícolas. Las cáscaras de nuez (*Carya illinoensis*) se están utilizando considerablemente debido a su alta disponibilidad y eficacia. Es por ello que en el presente trabajo se plantea la utilización de un carbón activado sustentable a partir de un residuo abundante en la región (cáscara de nuez) para la eliminación del colorante azoico (Tartrazina) mediante un proceso continuo y eficiente (columna de sorción). Los resultados de la presente investigación podrían ser de beneficio para la implementación de tratamientos de aguas con procesos más aproximados a condiciones reales usando adsorbentes alternativos obtenidos de residuos agrícolas.

I  
Diagnóstico, metodología  
y evaluación del recurso suelo

II  
Relación suelo-clima-biota

III  
Aprovechamiento  
del recurso suelo

IV  
Educación  
y asistencia técnica

ÍNDICE GENERAL

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Preparación del carbón activado

La materia prima para la fabricación del material carbonoso fue cáscara de nuez, la cual fue situada en una estufa de secado (Shell Lab®) a 105 °C por 24 horas, después se calentó desde 10 °C min<sup>-1</sup> hasta llegar a una temperatura de 850 °C durante 80 minutos bajo un caudal de nitrógeno de 0.5 L min<sup>-1</sup>. Se introdujo vapor en el horno acondicionado con un reactor de cuarzo (Carbolite®, HTR11/75), la activación del material carbonoso se llevó a cabo mediante la introducción de agua en la entrada del reactor de cuarzo con un flujo de 0.7 mL min<sup>-1</sup> durante 80 min; las gotas de agua fueron introducidas al reactor por el gas que se usó para mantener la atmósfera inerte (N<sub>2</sub>) durante el proceso. Las muestras se dejaron enfriar bajo la atmósfera de nitrógeno en el reactor. Estas condiciones se optimizaron a partir de un estudio previo (Torres-Pérez *et al.*, 2012). Una vez que el proceso de carbonización finalizó, el carbón activado resultante fue molido y tamizado con un Tamiz de 8 pulgadas de cobre (Fisherbrand®), el tamaño de partícula utilizado fue de 0.50 - 1.00 mm.

### Procesos de remoción de A5 en un sistema en continuo

Se probaron tres columnas para la determinación de las mejores condiciones para este estudio, para esto fueron empacadas con 0.5 g de carbón activado de cáscara de nuez pipetas de vidrio (Pasteur, Corning®) a las cuales se les colocó un tapón de algodón y de la misma forma fueron selladas. Estas columnas fueron sostenidas por un soporte y conectada a una bomba peristáltica (Control Company®, mod. 3384CC) en la cual se hizo pasar el contaminante (colorante A5) como se muestra en la Figura 1. Para lo cual, en un vaso de precipitado de 50 mL se colocó colorante amarillo no. 5 (Tartrazina) (Sensient colors®), en un extremo de la pipeta Pasteur previamente empacada con el carbón se conectó una manguera hacia la bomba peristáltica y el otro lado de la manguera se colocó en una probeta de 50 mL. El sistema de sorción en columna estuvo en contacto con el agua como se observa en la Figura 1, se encendió la bomba peristáltica con un flujo de 1.0 mL/min para que el agua corriera por la columna con un flujo inverso a la gravedad. Cada determinado tiempo se tomó una alícuota y se midió la concentración en un espectrofotómetro UV/Vis Jenway® a una longitud de onda de 425 nm.

I  
Diagnóstico, metodología  
y evaluación del recurso suelo

II  
Relación suelo-clima-biota

III  
Aprovechamiento  
del recurso suelo

IV  
Educación  
y asistencia técnica

ÍNDICE GENERAL

I  
Diagnóstico, metodología  
y evaluación del recurso suelo

II  
Relación suelo-clima-biota

III  
Aprovechamiento  
del recurso suelo

IV  
Educación  
y asistencia técnica

ÍNDICE GENERAL



Figura 1. Sistema de sorción en continuo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

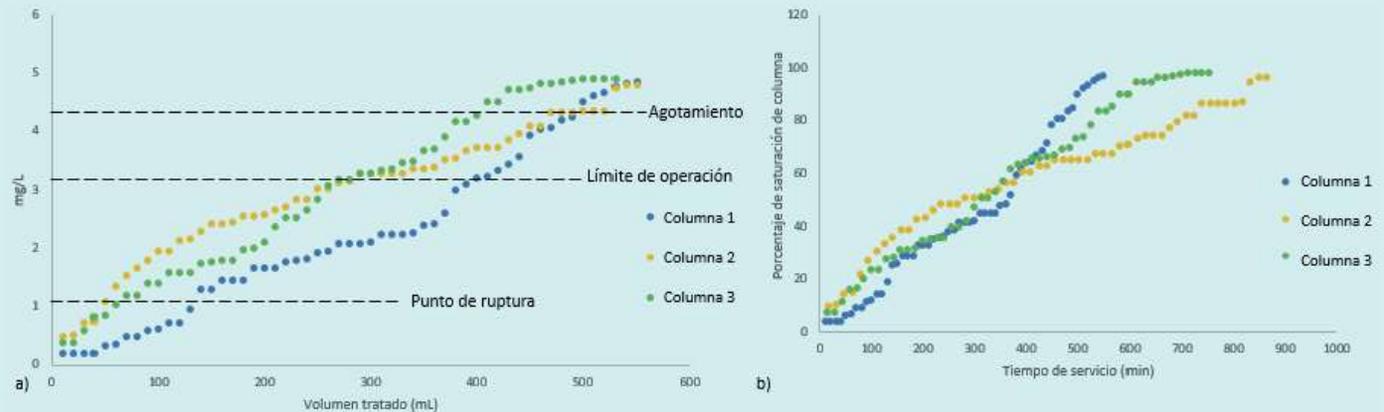
### Preparación de carbón activado

El peso del residuo agrícola (cáscara de nuez *Carya illinoensis*) total utilizado fue de 50.07 g de lo cual se obtuvieron 12.4834 g de material carbonoso (NAC) por lo que el rendimiento de este material fue de 24.9281 %. En un estudio comparativo entre macadamia carbonizada y cáscaras de coco demostró que las cáscaras de coco y las cáscaras de macadamia dieron rendimientos de conversión de 23% y 32% respectivamente con una activación química (Poinern *et al.*, 2011). Los resultados han demostrado que las cáscaras de nuez tienen un rendimiento aceptable ya que debido a que se hizo una activación física y no una química, lo cual reduce los costos de este carbón activado.

## Evaluación de columnas adsorbentes de lecho fijo

Normalmente los estudios para la evaluación de los procesos de sorción en lote son realizados para medir la efectividad de sorción en la remoción de sorbatos específicos, así como también para determinar la capacidad máxima de sorción del sorbato (Ramalho, 2003). El adsorbente no alcanza las condiciones del equilibrio pues el tiempo de contacto con el sorbato no es suficiente para alcanzarlo (Singh *et al.*, 2009 y Hasan *et al.*, 2010).

Los resultados de las curvas experimentales para la adsorción de colorante de Tartrazina en lecho fijo de carbón activado mostraron una remoción máxima del 96% a partir de una concentración inicial de 5 mg/L (Figura 2b). En base a los datos presentados, el rendimiento del lecho fijo se asemejó en las tres columnas, dando así un punto de ruptura y agotamiento semejante, al igual en la Figura 2a se observa que la línea de operación para las tres columnas fue semejante, obteniéndose que con estas condiciones solo se pueden tratar eficientemente 350 mL de solución con Tartrazina.



**Figura 2.** Sorción en continuo del colorante Amarillo no. 5 (Tartrazina) sobre carbón activado (NAC) en función del volumen y concentración inicial de 5 mg/L. a) Sorción en función del volumen y concentración inicial de 5 mg/L, b) Normalización en función del tiempo de servicio y el porcentaje de remoción.

I  
Diagnóstico, metodología  
y evaluación del recurso suelo

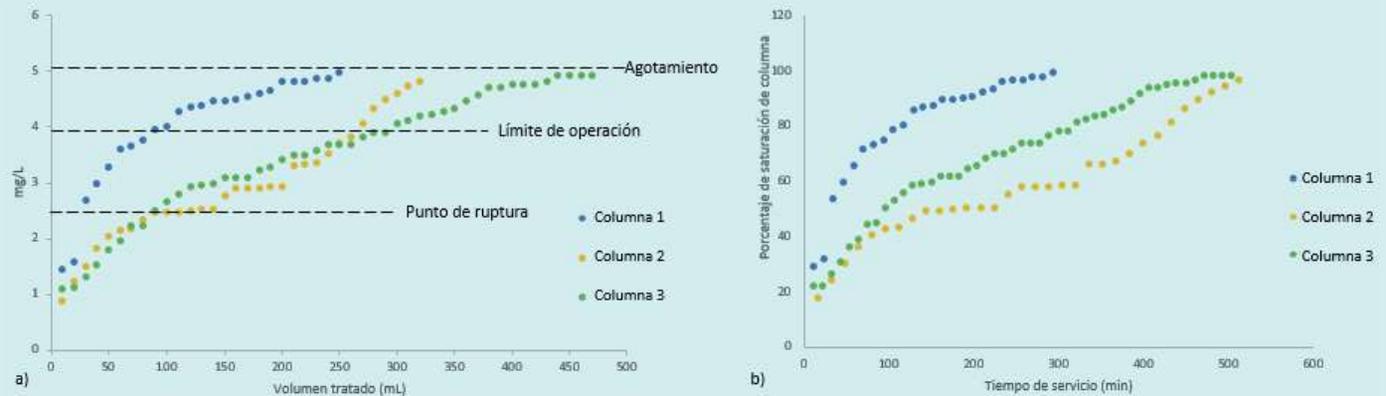
II  
Relación suelo-clima-biota

III  
Aprovechamiento  
del recurso suelo

IV  
Educación  
y asistencia técnica

## Procesos de sorción en continuo a pH básico

Para los resultados de las curvas de avance para la adsorción de colorante Tartrazina en lecho fijo con carbón activado, la máxima sorción fue de 95%, estos en una solución con una concentración inicial de 5 mg/L y un valor de pH=11 (Figura 3b). En base a los datos presentados, el rendimiento del lecho fijo a comparación del proceso de sorción, no fue igual en las tres columnas probadas, dando así un punto de ruptura, línea de operación y agotamiento diferentes, esta variación se debió a la temperatura y humedad ambiental, las cuales pueden interferir en la sorción del carbón activado debido a que las moléculas de agua se adhieren a los poros del mismo, evitando que el colorante se adhiera a los poros del NAC. Bajo dichas condiciones solo fue posible tratar eficientemente de 100 a 300 mL de solución de Tartrazina.



**Figura 3.** Sorción en continuo del colorante Amarillo no. 5 (Tartrazina) en solución básica sobre carbón activado (NAC) en función del volumen y concentración inicial de 5 mg/L. a) Sorción en función del volumen y concentración inicial de 5 mg/L, b) Normalización en función del tiempo de servicio y el porcentaje de remoción.

I  
Diagnóstico, metodología  
y evaluación del recurso suelo

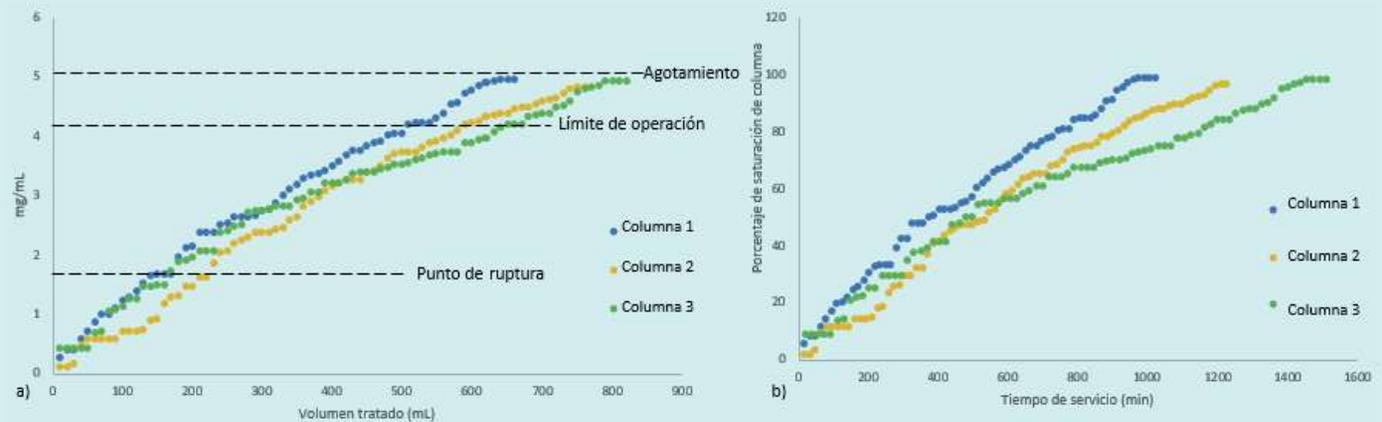
II  
Relación suelo-clima-biota

III  
Aprovechamiento  
del recurso suelo

IV  
Educación  
y asistencia técnica

## Procesos de sorción en continuo a pH ácido

Los resultados obtenidos de las curvas de avance para la adsorción de colorante Tartrazina en lecho fijo empacado con carbón activado mostraron una remoción de 98%. Dicho resultado fue usando una solución con una concentración de 5 mg/L y un pH=2 (Figura 4b).



**Figura 4.** Sorción en continuo del colorante Amarillo no. 5 (Tartrazina) en solución ácida sobre carbón activado (NAC) en función del volumen y concentración inicial de 5 mg/L. a) Sorción en función del volumen y concentración inicial de 5 mg/L, b) Normalización en función del tiempo de servicio y el porcentaje de remoción.

En base a los datos presentados, el rendimiento del lecho fijo a comparación del proceso de sorción y del proceso de sorción básico, las columnas tuvieron un comportamiento similar, dándonos así un punto de ruptura, línea de operación y agotamiento muy semejantes, obteniéndose así que con estas condiciones se pueden tratar eficientemente de 600 a 750 mL de solución de colorante; siendo así el proceso de sorción más eficaz. La eliminación del colorante azo se estudió en función del pH en los medios acuosos, como se muestra en la Figura 4. Los sitios adsorbentes mostraron una tendencia a la saturación mientras progresaba el tiempo de tratamiento. La diferencia entre las capacidades de adsorción de los materiales a diferentes valores de pH podría atribuirse a la diferencia en el número de sitios de adsorción de los diferentes adsorbentes que depende de las cargas en la superficie (Dionisio, 2012).

I  
Diagnóstico, metodología  
y evaluación del recurso suelo

II  
Relación suelo-clima-biota

III  
Aprovechamiento  
del recurso suelo

IV  
Educación  
y asistencia técnica

ÍNDICE GENERAL

I  
Diagnóstico, metodología  
y evaluación del recurso suelo

II  
Relación suelo-clima-biota

III  
Aprovechamiento  
del recurso suelo

IV  
Educación  
y asistencia técnica

ÍNDICE GENERAL

El valor de pH de los medios acuosos es un problema importante en el proceso de sorción sobre los materiales adsorbentes; también, la solubilidad de Tartrazina y el comportamiento de grupos funcionales en la superficie. Se encontró para los carbones activados preparados que la capacidad de sorción de Tartrazina era mayor cuando se disminuía el valor de pH ( $\text{pH} = 2$ ).

La Tartrazina se disolvió primero en agua y los grupos sulfonato de esta molécula se disociaron y se convirtieron en iones colorantes aniónicos. A un valor de pH inferior, la presencia de iones  $\text{H}_3\text{O}^+$  en la superficie de los materiales promueve una atracción de Tartrazina a los restos funcionales superficiales, lo que conduce a una mayor eliminación de Tartrazina por los carbones activados preparados, y facilita el proceso de difusión. Por otro lado, a valores de pH básicos, los grupos funcionales protonados disminuyeron y los radicales  $\text{OH}^-$  entran en competencia con los grupos sulfónicos aniónicos de Tartrazina disminuyendo la capacidad de adsorción de los carbones activados preparados a valores de pH elevados (Hasan *et al.*, 2010).

## CONCLUSIONES

La capacidad de sorción del carbón activado proveniente de *Carya illinoensis* empacado en columna fue eficiente para la eliminación de Tartrazina.

Al determinar el punto de ruptura, el límite de operación y agotamiento de las columnas empacadas con carbón activado se demostró que fue similar para cada grupo de columnas.

Con el modelo cinético de Thomas se observó que las columnas a un pH básico tuvieron un mejor coeficiente de correlación a comparación del proceso de sorción estándar o con un valor de pH ácido.

Es posible realizar un proceso de regeneración mediante reactivo de Fenton de columnas saturadas para su reutilización en procesos de sorción en continuo posteriores.

## AGRADECIMIENTOS

Al apoyo recibido por parte de los proyectos FOMIX-CONACY (Mexico), número CHIH-2012-C03-194671, y PROMEP-SEP (Mexico) No.103.5/12/3457.

## LITERATURA CITADA

- Dionisio, E. (2012). Aprovechamiento de Residuos vegetales para la eliminación de cobre presente en medios acuosos mediante biosorción. *Tesis Doctoral*, Universidad de Granada, Granada, España.
- Gupta, S.K., Singh, J., (2011). Evaluation of mollusc as sensitive indicator of heavy metal pollution in aquatic system: a review. *Spec. Issue Environ. Manag. Sustain. Dev.* 2 (1), 49–57.
- Hasan, S.H., Ranjan, D. Talat. M. (2010). Agro-industrial waste 'wheat bran' for the biosorptive remediation of selenium through continuous up-flow fixed-bed column. *Journal of Hazardous Materials* 181:1134–1142.
- Hasan, S.H.; Srivastava, P. y Talat M. (2010). Biosorption of lead using immobilized *Aeromonas hydrophila* biomass in up flow column system: Factorial design for process optimization, *Journal of Hazardous Materials*, 177(1-3), 312–322.
- Poinern, G.E. Senanayake, G., Shah, N., Thi-Le, X. N., Parkinson, G. M., Fawcett, D. (2011). Adsorption of the aurocyanide,  $Au(CN)_2^-$  complex on granular activated carbons derived from macadamia nut shells. *Minerals Engineering*. 24:1694-1702
- Ramallo R. (2003) *Tratamiento de Aguas Residuales*. Ed. Reverte. México.
- Singh, S., Srivastava, C. Indra D.M. (2009). Fixed-bed study for adsorptive removal of furfural by activated carbon. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 332, 50–56.
- Torres-Pérez, J., Soria-Serna, L.A., Solache-Rios, M. & McKay, G. 2012. One Step Carbonization/Activation Process for Carbonaceous Material Preparation from Pecan Shells for Tartrazine Removal and Regeneration after Saturation. *Adsorption Science & Technology*, Volume 33(10): 895-913.

I  
Diagnóstico, metodología  
y evaluación del recurso suelo

II  
Relación suelo-clima-biota

III  
Aprovechamiento  
del recurso suelo

IV  
Educación  
y asistencia técnica

ÍNDICE GENERAL