

## Remoción de Cromo VI de soluciones acuosas empleando biomasa de residuos de café

Rubio Campos Beatriz Eugenia<sup>1</sup>, Gamiño Arroyo Zeferino<sup>2</sup>, Murrieta Escoto Samantha<sup>2</sup>, Méndez Segoviano Pablo Alejandro<sup>2</sup>, Ibarra Rivera Brenda Marlene<sup>3</sup>, Jiménez Verver y Vargas Paulina<sup>1</sup>, López Chávez Fátima Yael<sup>1</sup>, Álvarez Torres Ximena<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Escuela de Nivel Medio Superior de Guanajuato, Colegio de Nivel Medio Superior, Universidad de Guanajuato.

be.rubiocampos@ugto.mx

<sup>2</sup> División de Ciencias Naturales y Exactas, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Guanajuato.

<sup>3</sup> División de Ciencias Naturales y Exactas, Departamento de Farmacia, Universidad de Guanajuato.

### Resumen

El presente trabajo presenta una alternativa para la remoción de cromo VI de soluciones acuosas sintéticas utilizando como material adsorbente residuos de café. Los resultados experimentales en sistemas batch demostraron que el equilibrio de adsorción se alcanza a un tiempo de 30 minutos y pH 4, para un tamaño de partícula de 0.25 mm de diámetro. Se analizaron las isotermas de adsorción y se determinó que el proceso se ajusta al modelo de Langmuir, logrando adsorber 0.827 mg de cromo VI por gramo de residuo de café a una concentración inicial de 150 ppm y pH 4.

**Palabras clave:** adsorción; Cr(VI), residuo de café, isoterma.

### Introducción

El agua es uno de los recursos primordiales y es uno de los cuatro recursos en que se apoya el desarrollo, junto con el aire, la tierra y la energía, pues resulta indispensable para el desarrollo de la vida. La importancia que ha cobrado la calidad del agua ha permitido evidenciar que entre los factores o agentes que causan la contaminación de ella están: agentes patógenos, desechos que requieren oxígeno, sustancias químicas orgánicas e inorgánicas, nutrientes vegetales que ocasionan crecimiento excesivo de plantas acuáticas, sedimentos o material suspendido, sustancias radioactivas y el calor.

Diversas fuentes de contaminación por metales pesados provienen de las industrias de la curtiduría, industria minera y la galvanoplastia, las cuales vierten a las fuentes hídricas en algunos casos sin ningún tratamiento efluentes ricas en metales pesados como: cromo, níquel, cobre, cadmio, mercurio, plomo, etc., (Igwe, 2006); los cuales son tóxicos a concentraciones altas.

El cromo presenta características beneficiosas, pero también perjudiciales. Posee dos estados de oxidación estables en el medio ambiente, Cr(III) y Cr(VI), que tienen toxicidades, movilidad y biodisponibilidad que se ponen en contraste (Higuera, 2000). El cromo en su forma hexavalente Cr(VI) se mueve fácilmente a través del agua y suelos; es un agente fuerte capaz de absorberse a través de la piel, por lo cual, es extremadamente tóxico (Igwe, 2006).

Los métodos tradicionales para la remoción de cromo que emplean las industrias son: precipitación, coagulación, precipitación química, electrodiálisis, ósmosis, intercambio iónico; por sólo mencionar algunos, sin embargo, algunos resultan ser muy costosos, presentan niveles considerables de lodos con metales pesados y largos tiempos para llevar a cabo el proceso (Higuera, 2000).

El proceso de adsorción es una alternativa económica que utiliza materiales conocidos como biomasa. El residuo de café (conocido como borra o cuncho del café) es un subproducto de la preparación de café, se separa por filtración en las preparaciones tanto hogareñas como industriales; este residuo generalmente no tiene un uso comercial y su disposición final es en rellenos sanitarios o son llevados a un proceso de quemado (Cubides, 2014).

En el presente trabajo, se pretende evaluar el residuo del café proveniente del filtrado de la preparación de café en una casa habitación, como material adsorbente de cromo VI de soluciones acuosas sintéticas en condiciones batch, como alternativa de bajo costo. Se plantea analizar el efecto del pH y la concentración del elemento, para obtener las mejores condiciones, para posteriormente determinar el modelo al que se ajusta la isoterma de adsorción.

### Mecanismo de adsorción

Se llama adsorción al fenómeno de acumulación de partículas sobre una superficie. La sustancia que se adsorbe es el adsorbato y el material sobre el cual lo hace es el adsorbente. Es altamente selectiva y la cantidad adsorbida depende en gran medida de la naturaleza y del tratamiento previo al que se haya sometido a la superficie del adsorbente, así como la naturaleza de la sustancia adsorbida. Al aumentar la superficie y la concentración de adsorbato, aumenta la cantidad adsorbida (Rivas, 2006).

A temperatura constante, la cantidad adsorbida aumenta con la concentración del adsorbato y la relación entre la cantidad adsorbida y la concentración de la solución en el equilibrio, se conoce como isoterma de adsorción. Han sido desarrollados varios modelos para describir las isotermas de adsorción, pero los que se discutirán en esta sección son los de Langmuir y Freundlich.

### Modelo de Langmuir

Este modelo fue desarrollado para describir la adsorción de gases en sólidos, bajo las suposiciones de que la entalpía de adsorción es constante e independiente a la superficie cubierta y que la adsorción ocurre cuando la superficie es cubierta por una monocapa de adsorbato. Su expresión matemática es:

$$q_e = q_{max} * \frac{C_e b}{1 + b C_e} \quad (1)$$

Donde  $q_e$  es la cantidad de soluto adsorbido por unidad de masa de adsorbente,  $q_{max}$  es la constante de Langmuir que denota la capacidad máxima de adsorción del adsorbente,  $b$  es la constante de Langmuir que indica la afinidad por sitios activos y con el calor de adsorción y  $C_e$  la concentración de la fase líquida en el equilibrio.

La forma lineal del modelo de Langmuir para sistema sólido-líquido se puede escribir como:

$$\frac{1}{q_e} = \left(\frac{1}{q_{max}}\right) + \left(\frac{1}{b q_{max}}\right) \left(\frac{1}{C_e}\right) \quad (2)$$

### Modelo de Freundlich

La expresión de Freundlich es un caso especial para energías superficiales heterogéneas donde el término  $b$  de la ecuación de Langmuir (1) varía en función de la superficie cubierta a causa de variaciones del calor de adsorción. La expresión empírica se describe por la expresión:

$$q_e = K C_e^{\frac{1}{n}} \quad (3)$$

Donde  $q_e$  es la cantidad de soluto adsorbido por unidad de masa de adsorbente,  $C_e$  es la concentración de la fase líquida en el equilibrio y  $n$  una constante referida a la energía de adsorción entre el soluto-adsorbente. La ecuación linealizada en forma logarítmica es:

$$\log q_e = \ln K + \frac{1}{n} \log C_e \quad (4)$$

## Materiales y métodos

### Recolección y preparación de la muestra

La materia prima se obtuvo de la recolección de residuos de café de una casa habitación de la ciudad de Guanajuato, a la cual se le realizó una adecuación por medio de un lavado con agua para retirar impurezas y disminuir el color en el filtrado. Una vez realizados los lavados el material se dejó secar en un horno a 60°C durante 24 h para su posterior clasificación en tamices de diferentes tamaños.

### Adsorción de Cr(VI) sobre residuos de café

Se utilizó el material tamizado y clasificado para dos tamaños de partícula y se llevaron a cabo pruebas batch para evaluar la capacidad de adsorción de Cr(VI), para lo cual se pusieron en contacto 1 g de material con 50 mL de solución sintética de Cr(VI) a pH 4 (Higuera, O. F., Flores, L. C., Arroyave, J. F., 2009), el sistema se agitó y se mantuvo el contacto por un tiempo para permitir el desarrollo del proceso de adsorción.

Se tomaron muestras periódicas cada diez minutos a fin de evaluar el proceso. Para la construcción de las curvas de eficiencia de adsorción, se definió el porcentaje de adsorción de acuerdo con la ecuación (Higuera, 2000):

$$\% \text{Adsorción} = \left( \frac{C_i - C_f}{C_i} \right) 100 \quad (5)$$

Donde

C<sub>i</sub>: es la concentración inicial de Cr(VI) en la solución en mg/L.

C<sub>f</sub>: es la concentración final de Cr(VI) en la solución en mg/L.

### Capacidad de saturación

Para esta prueba, se tomaron en consideración las condiciones óptimas obtenidas (tamaño de partícula y tiempo) en las pruebas anteriores. Se transfirieron 50 mL de solución sintética de Cr(VI) 50 ppm a pH 4 con 1 g de residuo de café, manteniéndose en agitación continua al tiempo óptimo. Simultáneamente, la misma cantidad de solución, pero sin material adsorbente se pusieron en las mismas condiciones como correspondiente control. Enseguida se interrumpió la reacción y la solución fue filtrada para su posterior análisis en un espectrofotómetro UV-visible Recording Spectrophotometer Shimodzu.

### Isoterma de adsorción

Para este estudio, se pusieron en contacto 1 g del material tamizado y clasificado con 50 mL de solución sintética de Cr(VI) a concentraciones crecientes en agitación durante 30 minutos y agitación continua a 25°C. Posteriormente se interrumpió la reacción y se filtró la solución la cual fue analizada para determinar el contenido de Cr(VI) en un espectrofotómetro UV-visible Recording Spectrophotometer Shimodzu. La diferencia del contenido de cromo con respecto a un control a las mismas condiciones sin adsorbente, se estimó como la cantidad de cromo que quedó adsorbido y la diferencia con respecto al control como la cantidad de cromo en el equilibrio. Los datos obtenidos fueron analizados matemáticamente para ser ajustadas a los modelos de Langmuir y Freundlich.

### Métodos de análisis

Para la determinación de la concentración de cromo VI se utilizó un espectrofotómetro UV-visible Recording Spectrophotometer Shimodzu, usando celdas en borosilicato ajustado a una longitud de onda de 540 nm, acoplado a una solución de difenilcarbazida la cual se prepara al momento de su uso, para su preparación se usaron 5 mL, por lo cual se pesaron 50 mg de 1.5-difenilcarbazida (difenilcarbohidrazida) y se disolvieron en 10 mL de acetona.



Figura 1. Determinación de Cr(VI) por espectrofotometría de UV-Visible.

## Resultados y discusión

Una vez molido y seco el material, se registró el peso obteniéndose un total de 134.66 g y que posteriormente fue tamizado. La curva granulométrica obtenida se muestra en la Figura 2.

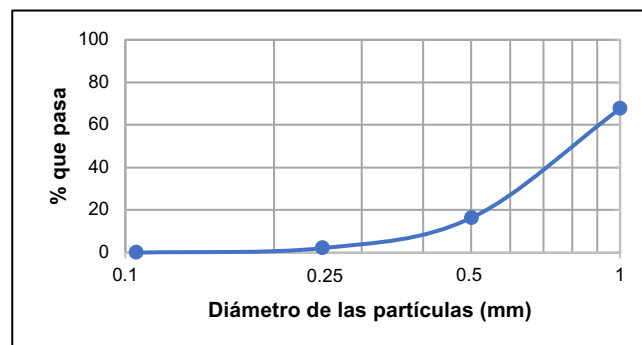


Figura 2. Curva granulométrica para la borra de café.

Como se puede apreciar en la Figura 2, la mayor parte del material se encuentra clasificado entre los diámetros 0.5 y 1 mm, correspondientes al 16.32% y 67.67% respectivamente. Sin embargo, se decidió trabajar con los tamaños de partículas de 0.25 y 0.5 mm para los experimentos posteriores, ya que a mayor área de contacto del adsorbente, se favorece el proceso de adsorción.

### Adsorción de Cr(VI) sobre residuos de café

Para la adsorción de Cr(VI) sobre residuos de café, se emplearon los materiales de tamaños de partículas de 0.25 y 0.5 mm a diferentes tiempos. Los resultados obtenidos para el porcentaje de adsorción se muestran en la Figura 3.

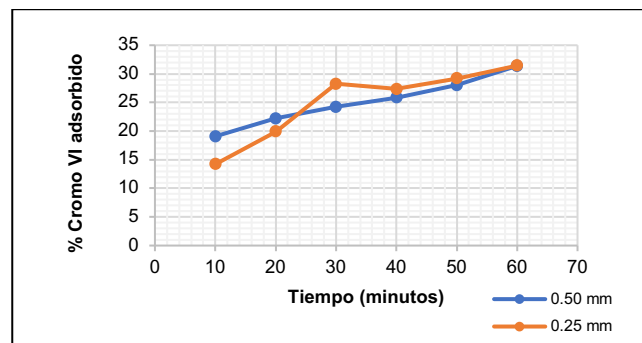


Figura 3. Porcentaje de adsorción de Cr(VI) sobre residuos de café.

A partir de los resultados de la Figura 3 se puede ver que para el tamaño de partícula de 0.25 mm tiene una mayor adsorción a partir de un tiempo de contacto de 30 minutos, tiempo considerado como el de operación para la experimentación posterior.

### Capacidad de saturación

En este experimento se determinó la cantidad máxima de adsorción de Cr(VI) sobre los residuos de café a pH 4 y el tiempo óptimo de adsorción determinado previamente. La Tabla 1, muestra la cantidad de Cr(VI) obtenida en el equilibrio ( $C_e$ ), así como, la cantidad de Cr(VI) adsorbida ( $C$ ) en diversas adiciones de una solución sintética de Cr(VI) a los residuos de café hasta alcanzar su saturación.

**Tabla 1.** Capacidad de saturación con Cr(VI) sobre los residuos de café.

ADICIÓN	$C_e$ (mg/L)	$C$ (mg/L)
1	35.475	17.325
2	34.15	18.65
3	34.225	18.57
4	33.3	19.5
5	32.175	20.625
6	31.825	20.975
7	30.425	22.375
8	29.85	22.95

Para cada adición se realizó el cálculo necesario para obtener la cantidad de Cr(VI) adsorbida por gramo de residuo de café, tomando en cuenta que se utilizaron 50 mL de solución de Cr(VI) 50 ppm durante cada adición, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\left( \frac{\text{mg Cr(VI)}}{\text{g residuo café}} \right)_{\text{Adición 1}} = \frac{17.325 \text{ mg Cr(VI)}}{\text{L solución}} \left( \frac{50 \text{ mL solución}}{1 \text{ g residuo café}} \right) \left( \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} \right) \quad (6)$$

Se obtuvo que el material adsorbente es capaz de adsorber 8.049 mg Cr(VI)/g residuo café. Con los valores calculados para cada adición, se construyó una gráfica que se muestra en la Figura 4. Esta Figura muestra la capacidad de Cr(VI) adsorbida durante cada adición de solución fresca, así mismo, se puede observar que durante cada adición el material adsorbe de manera creciente Cr(VI) y durante la adición 7 y 8 permanece a ser constante.

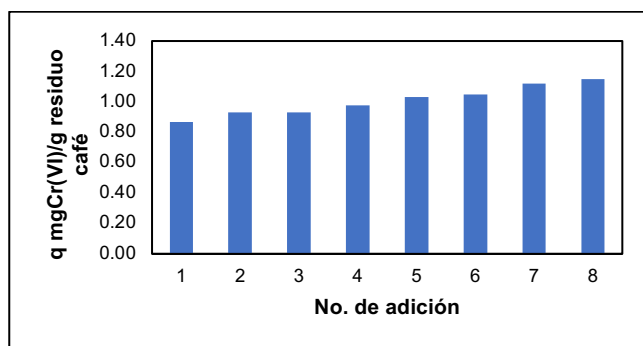


Figura 4. Saturación con Cr(VI) sobre residuos de café.

### Isoterma de adsorción

La isoterma de adsorción es la relación matemática entre la masa de soluto adsorbida por unidad de masa de adsorbente y la concentración de soluto cuando se ha alcanzado el equilibrio a temperatura constante. En la Figura 5 se muestra la isoterma de adsorción y la capacidad máxima alcanzada.

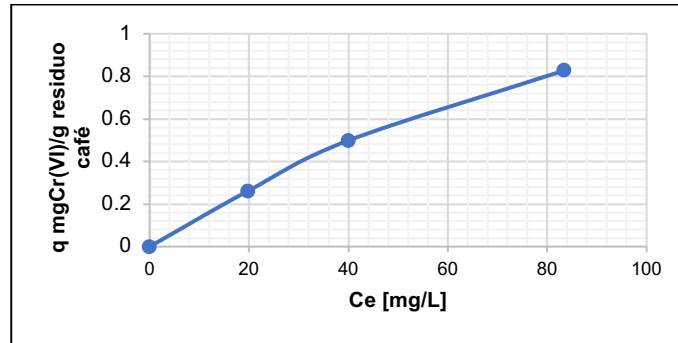


Figura 5. Isoterma de adsorción de Cr(VI) sobre residuos de café, a 25°C, pH 4 y 30 minutos de contacto.

De la meseta de esta Figura se puede observar que los residuos de café mostraron una mayor capacidad de saturación determinada gráficamente de la curva cuyo valor corresponde aproximadamente a 0.827 mg Cr(VI)/g residuo de café.

Con los resultados obtenidos para la isoterma de la Figura 5 se hizo un análisis matemático para determinar el modelo de adsorción que mejor se ajusta a los datos experimentales. Los modelos que se evaluaron fueron los de Langmuir y Freundlich.

Para el modelo de Langmuir, se graficó la forma lineal de la isoterma  $1/q$  vs  $1/C_e$  y para el modelo de Freundlich se graficó  $\log q$  vs  $\log C_e$ ; en ambos casos, por regresión lineal, se obtuvieron sus ecuaciones. Estos resultados se muestran en la Figuras 6 y 7.

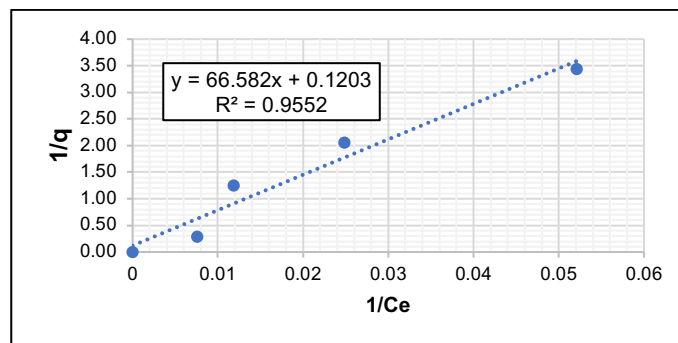


Figura 6. Modelo de Langmuir para la adsorción de Cr(VI) sobre residuo de café.

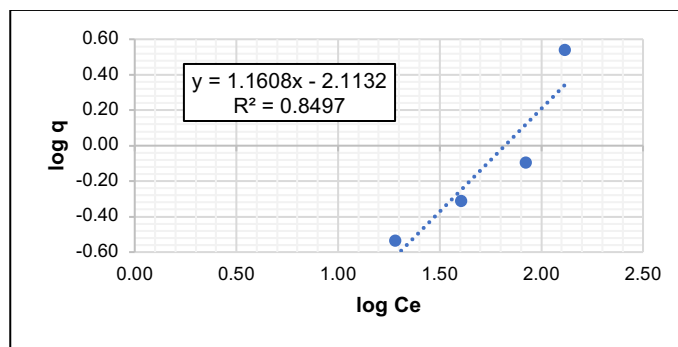


Figura 7. Modelo de Freundlich para la adsorción de Cr(VI) sobre residuo de café.

Como puede apreciarse en las Figuras 6 y 7, la isoterma obtenida experimentalmente se ajusta mejor al modelo de Langmuir. En la Tabla 2 se presentan las ecuaciones para los modelos de Langmuir y Freundlich, así como, los parámetros para los modelos de adsorción mencionados, el coeficiente de regresión lineal y error de ajuste.

Tabla 2. Modelos de Langmuir y Freundlich para la adsorción de Cr(VI) sobre residuos de café.

Modelo	Ecuación para el modelo ideal	Parámetros	R <sup>2</sup>	Error de ajuste
Langmuir	$q_L = \frac{0.0149C_e}{1 + 0.0018C_e}$	$q_{m\acute{a}x} = 8.312 \text{ mg/g}$ $b = 0.0018 \text{ mmol/dm}^3$	0.9552	0.0448
Freundlich	$q_F = 0.0077C_e^{1.1608}$	$K_f = 0.0077 \text{ L/mg}$ $n = 0.8614$	0.8497	0.1503

## Agradecimientos

Agradecemos el apoyo brindado para la realización de esta investigación a la M.C. Iris Violeta Hernández Cervantes Rodríguez del Laboratorio de Espectrometría de Absorción Atómica y Análisis Químicos y a la Dra. Rebeca Yasmín Pérez del Laboratorio de Servicios de Espectroscopía, Cromatografía y Calorimetría; ambas de la División de Ciencias Naturales y Exactas del Departamento de Química, así como, a la Q.F.B. Luz Aurora González Guerrero del Laboratorio Estatal de Salud Pública. A la directora de la ENMS Guanajuato Lic. Karina Alejandra Rodríguez Valdivia por las facilidades otorgadas para el desarrollo de este proyecto. Y en honor a la Q.F.B. Martha Oliva Gallaga Ortega por su apoyo incondicional.

## Conclusiones

Este estudio mostró que los residuos de café pueden ser utilizados para el tratamiento de efluentes ricos en Cr(VI).

Los resultados de los experimentos en sistemas batch sobre la adsorción de Cr(VI) sobre residuos de café, demostraron que el equilibrio de adsorción se alcanza a un tiempo de 30 minutos y para un tamaño de partícula de 0.25 mm.

El análisis de la isoterma de adsorción llevada a cabo a 25°C y 30 minutos de tiempo de contacto, mostró que los residuos de café son capaces de adsorber 0.827 mg de cromo por gramo de residuo de café a una concentración inicial de 150 ppm y pH 4.

La adsorción de cromo sobre residuos de café se ajustó al modelo de Langmuir, lo cual indica que ésta se

lleva a cabo cuando la superficie es cubierta por una monocapa de residuo de café.

## Referencias

- Cubides, P. R. (2014). Adsorción de Cr VI sobre residuos de café. *Journal of the Faculty of Sciences and Engineering*, 4(2), 18-25.
- Higuera, O. F. (2000). Reducción del cromo contenido en efluentes líquidos de la industria del cuero, mediante un proceso de adsorción-desorción con algas marinas. Bucaramangara: Universidad de Santander.
- Higuera, O. F., Flores, L. C., Arroyave, J. F. (2009). Estudio de la biosorción de cromo con hoja de café. *Ingeniería e Investigación*, 29(2), 59-64.
- Igwe, J. C. (June de 2006). A bioseparation process for removing heavy metales from waste water using biosorbents. *African Journal of Biotechnology*, 5(12), 1167-1179.
- Rivas, G. (2006). Caracterización de la biosorción de cromo con hueso de aceituna. Universidad de Granada, España. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=72702>
- Singanán, M. A. (2007). Studies on the removal of hexavalent chromium from industrial wastewater by using biomaterials. *EJEAFChe*, 6(11), 2557-2564.