

Valoración del residuo de café para la remoción de níquel

Assessment of spent coffee ground for nickel removal

Orfelina Haydeé Cabello Meza¹, Miguel Ángel Ruiz Torres², Samantha Murrieta Escoto³, Alexa Guadalupe Madrigal Vargas³, Carlos Alberto Jorge Ramírez Luna⁴, Romel Ontiveros Mota¹, Mayte Fernanda Regalado Hernández¹, Paolo Bernardo Nicolás Carrillo Castro¹.

¹ Escuela de Nivel Medio Superior de Pénjamo, Colegio de Nivel Medio Superior, Universidad de Guanajuato. orfelina.meza@ugto.mx

² Escuela de Nivel Medio Superior Centro Histórico, Colegio de Nivel Medio Superior, Universidad de Guanajuato.

³ División de Ciencias Naturales y Exactas, Licenciatura en Ingeniería Química, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato.

⁴ División de Derecho, Política y Gobierno. Licenciatura en Derecho Campus Guanajuato. Universidad de Guanajuato.

Resumen

El aumento del consumo mundial de café ha dado lugar a que se descarten grandes cantidades de café. El café molido gastado es un residuo de biomasa que puede usarse en diversas aplicaciones. El presente estudio tiene como objetivo evaluar la posibilidad de utilizar residuo de café como material adsorbente alternativo para remover níquel de soluciones acuosas. Se realizaron experimentos de adsorción en sistemas batch a temperatura ambiente. Los datos experimentales mostraron que la mayor eficiencia de remoción de níquel se produjo a un tiempo de contacto de 50 minutos, pH 4 y 20 ppm de adsorbato. El material fue capaz de adsorber 5.1 mg de níquel por grado de residuo de café con tres adiciones de solución de níquel de 20 ppm. Un tratamiento con ácido cítrico al 10% indicó que se puede recuperar el 50.2% de níquel que se encontraba adsorbido en el material. Los resultados mostraron que el residuo de café podría ser empleado como un adsorbente para remover iones níquel de soluciones acuosas, como alternativa económica y altamente disponible.

Palabras clave: níquel; residuo de café, adsorción

Abstract

The increase global coffee consumption has resulted in large quantities of used spent coffee ground are discarded. Spent coffee ground are biomass waste that can be used in various applications. This study aim assessment the possibility of using spent coffee ground as an alternative adsorbent material to remove nickel from aqueous solutions. Adsorption experiments were realized in batch systems at room temperature. The experimental data showed that the highest nickel removal efficiency occurred at a contact time of 50 minutes, pH 4 and 20 ppm of adsorbate. The material adsorbed 5.1 mg of nickel per gram of spent coffee ground with three additions of 20 ppm nickel solution. A treatment with 10% citric acid indicated that 50.2% of nickel was recovered. The results showed that coffee could be used as an adsorbent to remove nickel ions from aqueous solutions, as an economical available and highly available alternative.

Introducción

La contaminación ambiental es actualmente uno de los problemas más importantes a los que se enfrenta la humanidad. Los metales pesados tóxicos se consideran uno de los contaminantes que tienen efecto directo sobre los seres vivos y pueden estar presentes contaminando las aguas subterráneas. Los seres humanos requieren agua de alta calidad, pero las actividades a las que ellos mismos se dedican como son las actividades comerciales, industriales, agrícolas e incluso domésticas también contaminan al ser arrojadas a cuerpos de agua dulce [1].

La demanda de agua va en aumento y los recursos hídricos se están volviendo no aptos para nuestro consumo, por lo que el proporcionar instalaciones de tratamiento adecuadas para todas las fuentes contaminantes es difícil y caro, aumentando así la demanda de tecnologías innovadoras a bajo costo, bajo mantenimiento y energéticamente eficientes. La técnica de adsorción es la favorita de los investigadores y es económicamente viable para la eliminación de metales pesados utilizando materiales como cáscara de coco,



aserrín, hojas de mango, cáscara de huevo y otros adsorbentes que tienen alta capacidad de adsorción y que están disponibles localmente como desperdicios, demostrando tener excelente capacidad de eliminación de ciertos iones metálicos, mientras que el carbón activado por su parte es un material caro [2].

Los metales pesados como níquel, el cobre y el zinc, son los principales contaminantes de las aguas residuales procedentes de procesos como la galvanoplastia, la minería, la fundición, entre otros., sin embargo, algunos investigadores han utilizado desechos agrícolas como materiales de bajo costo para eliminar estos metales [3].

En particular, el níquel es un elemento tóxico cuya concentración máxima en el medio ambiente está limitada de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano y municipal, por lo cual, es necesario realizar el tratamiento de estos efluentes sobre todo si el contenido de este contaminante es alto [4]. El proceso de adsorción de níquel con residuo de café se presenta como una alternativa competitiva desde punto de vista económica, ya que este tipo de material es abundante y de bajo costo, ya que en nuestro país la agroindustria es la actividad que más genera subproductos que no son aprovechados. El propósito de este trabajo es evaluar la factibilidad de utilizar residuos de café (RC) para adsorber o remover iones níquel presentes en soluciones acuosas en sistemas por batch, así como determinar las condiciones para hacer más eficiente el proceso y su desorción.

Metodología

Preparación de la muestra

- 1) La materia prima se obtuvo de la recolección de residuos de café de una casa habitación de la ciudad de Guanajuato. El residuo fue sometido a varios ciclos de lavado con agua hasta obtener una solución incolora y se secó en un horno a 60°C durante 24 h. Posteriormente, el material se guardó en un recipiente cerrado y seco.

Adsorción de níquel en sistemas batch

- 1) Se preparó una solución de níquel 4 ppm y se ajustó a pH 4 con ácido nítrico (HNO_3) a 1 M y 0.1 M usando un pHmetro HANNA instruments HI 253 y por medio de agitación continua.
- 2) Se tomaron 50 mL de esta solución y se pusieron en contacto con 0.25 g de material previamente tamizado y clasificado en un vaso de precipitados de 100 mL. El sistema se agitó a 380 rpm a temperatura ambiente usando una parrilla eléctrica marca CORNING PC-420D y se mantuvo en contacto a los tiempos: 15, 30, 45, 60, 75 y 90 minutos para permitir el desarrollo del proceso de adsorción. Simultáneamente, la misma cantidad de solución, pero sin RC se pusieron a las mismas condiciones, como correspondiente control (Figura 1).



Figura 1. Sistemas batch para la remoción de níquel de soluciones acuosas.



- 3) Una vez concluido el tiempo, se filtró la solución empleando papel filtro y un embudo de separación. Las muestras fueron almacenadas en tubos CORNING de 50 mL para su posterior análisis. Se repitieron los pasos anteriores para concentraciones iniciales de adsorbato de 20 y 40 ppm (Figura 2).



Figura 2. Filtración de las muestras después de la adsorción con RC.

Capacidad de saturación del adsorbente

- 1) Se transfirieron 50 mL de solución de níquel de 20 ppm, a pH 4 en un vaso de precipitados de 100 mL y se pusieron en contacto con 0.25 g de adsorbente durante 50 minutos, con agitación continua. Simultáneamente, la misma cantidad de solución, pero sin material adsorbente, se pusieron en las mismas condiciones como correspondientes controles.
- 2) Se filtró la solución y se cuantificó el níquel mediante Espectrometría de Absorción Atómica (EAA). La diferencia del contenido de níquel con respecto al control a las mismas condiciones sin adsorbente se estimó como la cantidad de níquel adsorbido.
- 3) Estos pasos se repitieron adicionando varias veces una solución fresca del metal al mismo material adsorbente hasta que la concentración de níquel permaneciera constante en solución, indicando así que el material adsorbente ya no fue capaz de adsorber más níquel y que la suma de la cantidad de níquel adsorbido en cada adición representa dicha capacidad (Figura 3).



Figura 3. Capacidad de saturación del RC mediante adiciones de solución de níquel, 20 ppm y pH 4.



Regeneración del adsorbente

Para evaluar la posible reutilización del adsorbente se realizaron pruebas experimentales de desorción en sistemas batch.

- 1) Se pusieron en contacto por 50 minutos y agitación continua, 50 mL de una solución de ácido cítrico al 10% en peso con 0.25 g de material saturado, en varias adiciones.
- 2) Los dos pasos anteriores se repitieron hasta que el contenido de níquel fuera constante en la solución.
- 3) Las concentraciones de níquel recuperadas en cada adición y determinadas por EAA, se sumaron a fin de determinar la cantidad total de níquel desorbido.

Determinación de níquel por Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA)

- 1) De una solución estándar de 1000 ppm de níquel se tomaron alícuotas en matraces aforados para obtener soluciones de concentración: 1, 5 y 8 ppm con la finalidad de obtener la curva de calibración.
- 2) Se leyeron las muestras en un Espectrómetro de Absorción Atómica, modelo AAnalyst 200 Perkin Elmer a 341.48 nm, realizando las diluciones necesarias para que fuera posible la lectura en la zona de la curva de calibración (Figura 4).
- 3) La concentración obtenida en cada muestra representa la cantidad de níquel que el material no logró adsorber.

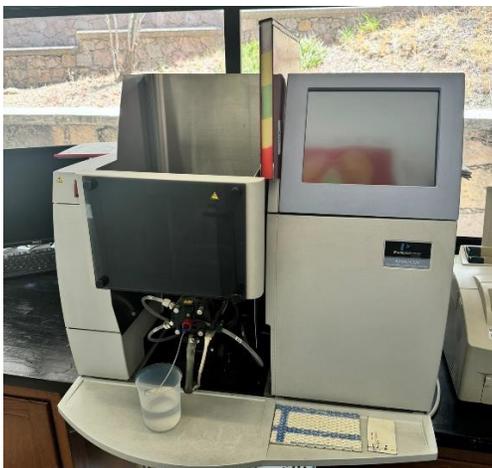


Figura 4. Espectrometría de Absorción Atómica para el análisis de níquel en solución.

Resultados y discusión

Adsorción de níquel en sistemas batch

Para evaluar la capacidad de adsorción de níquel sobre el material adsorbente se llevaron a cabo sistemas batch a diferentes tiempos y concentraciones iniciales de adsorbato, a pH 4, temperatura y agitación constante. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 5.

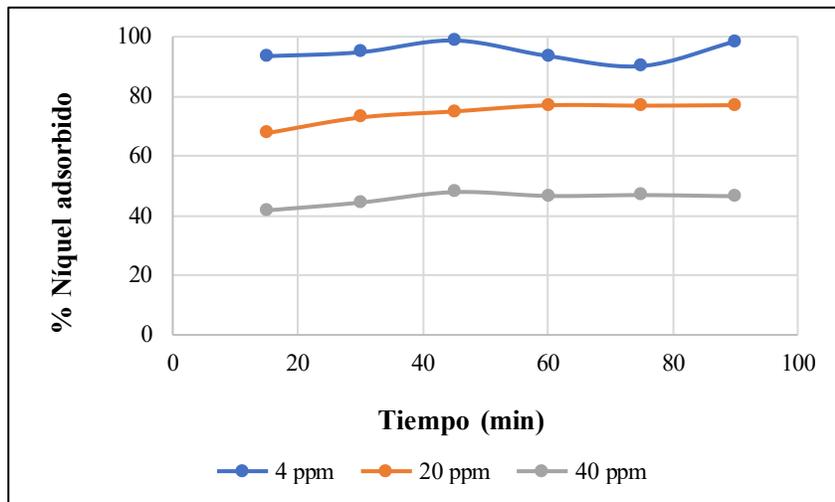


Figura 5. Porcentaje de níquel adsorbido en función del tiempo.

Como puede apreciarse en el gráfico de la Figura 5, conforme disminuye la concentración inicial de solución de níquel, se alcanzan los porcentajes más altos del metal adsorbido en el RC y tiempo de 45 minutos de contacto, 98.7% para el caso de 4 ppm, sin embargo, en un lapso de 60 a 75 minutos se presenta un decremento y después se vuelve a incrementar.

Para el caso 20 ppm, a 45 minutos el porcentaje de níquel adsorbido es de 74.5% y en un rango de tiempo de 60 a 90 minutos, permaneciendo constante, aproximado al 77%. A 40 ppm se presentan menores porcentajes de adsorción oscilando entre 46.5 y 47.9% en un tiempo de 45 a 90 minutos.

Por lo que, para experimentos posteriores, se eligió un tiempo de contacto de 50 minutos entre el adsorbente y adsorbato.

Capacidad de saturación del adsorbente

La Tabla 1 muestra la cantidad de níquel obtenida en el equilibrio (níquel no adsorbido), así como la cantidad de níquel adsorbido en diversas adiciones de una solución del metal 20 ppm al RC hasta alcanzar su saturación.

Tabla 1. Níquel adsorbido en diversas adiciones en el material adsorbente.

ADICIÓN	Ce (mg/L)	C (mg/L)
1	5.31	15.79
2	13.55	7.55
3	18.94	2.16
4	21.10	0
5	21.10	0

Para cada adición se realizó el cálculo necesario para obtener la cantidad de níquel adsorbido por gramo de material adsorbente, tomando en cuenta que se utilizaron 50 mL de solución de níquel durante cada adición, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\left(\frac{\text{mg níquel}}{\text{solución}} \right) = 20 \text{ mg níquel} \left(\frac{50 \text{ mL}}{0.25 \text{ g residuo de café}} \right) \left(\frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL solución}} \right) \quad (1)$$

Por ejemplo, para la primera adición, aplicando la ecuación (1) se obtiene que:

$$\left(\frac{\text{mg níquel}}{\text{g residuo de café}}\right) = \frac{15.79 \text{ mg níquel}}{\text{L solución}} \left(\frac{50 \text{ mL solución}}{0.25 \text{ g residuo de café}}\right) \left(\frac{1 \text{ L solución}}{1000 \text{ mL solución}}\right) \quad (2)$$

$$= 3.16 \text{ mg níquel/g residuo de café}$$

Se obtuvo que el material es capaz de adsorber 5.1 mg níquel/g residuo de café. Con los valores de la Tabla 1, se construyó la gráfica que se muestra en la Figura 6. Donde se observa la cantidad de níquel adsorbida en cada adición de solución fresca, así mismo, podemos observar que, durante las tres primeras adiciones, el material adsorbe la mayor cantidad del contaminante.

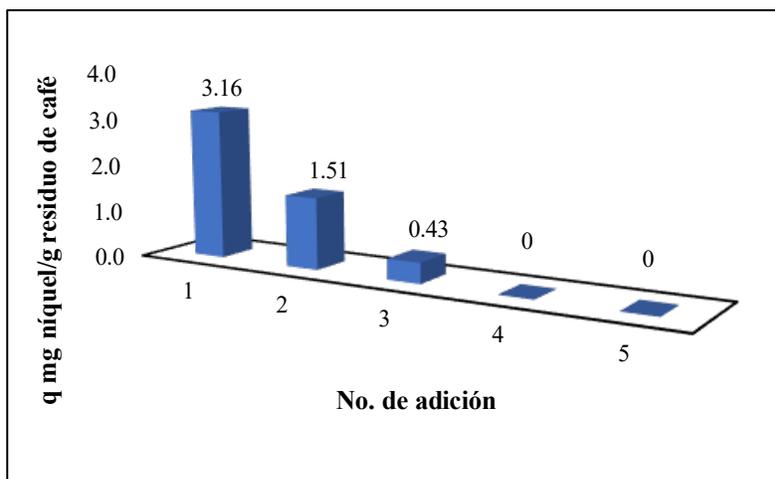


Figura 6. Saturación del RC mediante adiciones de solución de níquel 20 ppm, pH 4 y tiempo de agitación de 50 min.

Regeneración del adsorbente

En este estudio el material fue regenerado a temperatura ambiente, utilizando como eluyente una solución de ácido cítrico al 10% w/w. La desorción del Ni (II) fue del 50.3% con tres adiciones.

Conclusiones

Los resultados en sistemas batch sobre la adsorción de níquel sobre residuos de café como material adsorbente, mostraron que el equilibrio se alcanza a 50 minutos, a pH 4, temperatura ambiente y una concentración inicial de níquel de 20 ppm.

La capacidad de adsorción de los residuos de café fue de 5.1 mg Ni/g, alcanzando la saturación durante las tres primeras adiciones de níquel.

Un tratamiento con ácido cítrico al 10% sobre el residuo de café saturado con níquel, logró desorber en un 50.2%, sin cambiar su estado de oxidación. Con esta característica, el níquel recuperado es posible reintegrarlo a un proceso donde sea empleado como materia prima de bajo costo y alta disponibilidad. Sin embargo, se sugiere realizar pruebas experimentales con otros ácidos orgánicos con el fin de evaluar si es posible obtener una mejor eficiencia de desorción. Adicionalmente, es necesario efectuar ciclos de adsorción-desorción con el fin de conocer el efecto del efluente sobre las capacidades de adsorción y evaluar la factibilidad de utilizar industrialmente el material adsorbente.

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 Yasmin Pérez del Laboratorio de Servicios de Espectroscopía, Cromatografía y Calorimetría; ambas de la División de Ciencias Naturales y Exactas del Departamento de Química, por facilidades otorgadas para el desarrollo de este proyecto.

Bibliografía/Referencias

- [1] Nagham, A. (2010). The use of local sawdust as an adsorbent for the removal of copper ion from wastewater using fixed bed adsorption. *Journal.*, 28(2), 859-860.
- [2] Renge, V., Khedkar, SV y Shraddha V, P. (2012). Eliminación de metales pesados de aguas residuales utilizando adsorbentes de bajo costo: una revisión. *Revista de la comunidad de ciencia Química*, 2(4), 580-584.
- [3] Tran, TD y Tran, ML (2020). Eliminación de iones níquel, cobre y zinc de solución acuosa utilizando cáscara de grano de café (CFH). *Revista de Ciencia y Tecnología de Vietnam/Ciencia y Tecnología*, 58(3A), 68.
- [4] NOM-001-SEMARNA T-2021, Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.