

DESARROLLO DE MATERIALES ADSORBENTES DE ALTO IMPACTO Y BAJO COSTO PARA LA REMOCIÓN DE COMPONENTES TÓXICOS DE FUENTES NATURALES Y AGUAS RESIDUALES

Godínez Ramírez Ana Karen (1), Martínez Rosales Merced (2), Del Ángel Soto Julio (3)

1 [Licenciatura en Ingeniería Ambiental] | Universidad de Guanajuato | ak.godinezramirez@ugto.mx

2 [Departamento de Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [mercedj@ugto.mx]

3 [Departamento de Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [jasoto@ugto.mx]

Resumen

Los efectos a la salud por exposición al arsénico varían desde las irritaciones en la piel y ojos, hasta problemas cancerígenos graves que pueden llevar a la muerte, las principales fuentes de exposición al Arsénico se dan por ingesta de agua contaminada con este elemento, causando serios problemas ambientales y a la salud pública. En este trabajo se realizó la síntesis, caracterización y evaluación del material adsorbente Fumarato de Aluminio para la remoción del Arsénico (III) presente en aguas contaminadas y en pozos de agua de consumo humano. El material se caracterizó por fisisorción de nitrógeno y difracción de Rayos X. Los resultados arrojan que el material sintetizado es un material microporoso con un área superficial de 970 m²/g. El porcentaje de remoción de arsénico utilizando una concentración de 0.1 ppm de As (III) a pH de 6.5 y un tiempo de contacto de 120 min fue del 92%. Los datos de adsorción de AS (III) en el equilibrio se ajustan a una isoterma de Langmuir obteniendo una máxima capacidad de adsorción de 6 mg/g. La adsorción en muestras reales da una eficiencia de entre 92 y 97% aproximadamente utilizando una concentración de adsorbente de 2g/L.

Abstract

The health effects of exposure to arsenic in humans vary from the serious irritations of the eyes and the skin, until serious carcinogenic problems that could lead to death, the main sources of exposure to arsenic are ingestion water contaminated with this element, causing serious environmental problems and public health. In this work, the synthesis, characterization and evaluation of the adsorbent material Aluminum Fumarate for the removal of Arsenic (III) present in contaminated waters and water wells for human consumption was carried out. The material was characterized by means of nitrogen physisorption and X-ray power diffraction. The results show that the synthesized material is a microporous material with a BET surface area of 970 m²/g. The percentage of As (III) removal using an initial concentration of 0.1 ppm of As (III) at pH 6.5 and a contact time of 120 min was 92%. The adsorption equilibrium data of AS (III) were best represented by the Langmuir isotherm obtaining a maximum adsorption capacity of Aluminium Fumarate of 6 mg/g. The adsorption in real water samples gives an efficiency of between 92 and 97% approximately using an adsorbent concentration of 2g / L.

Palabras Clave

Fumarato de Aluminio; arsénico; adsorción; Aguas contaminadas; isothermas.

INTRODUCCIÓN

El arsénico es un elemento que se encuentra de manera natural en el suelo en las formaciones geológicas, también puede estar presente de forma antropogénica como por actividad minera o actividades relacionadas con la agricultura por el uso de plaguicidas que contengan arsénico [1]. El arsénico se introduce al organismo por tres vías principales; inhalación de polvos en el aire contaminado, ingestión por el sistema gastrointestinal y por absorción a través de la piel. [2] Este puede distribuirse por todo el cuerpo a través de la sangre, los efectos nocivos varían en el organismo de acuerdo con su tiempo de exposición y a las concentraciones en las que se encuentre presente. Los efectos que pueden observarse por el arsenicismo (consumo de agua con arsénico) son tipo crónicos, debido a que se ingieren cantidades pequeñas de arsénico en el agua durante un largo plazo. [3] Los efectos nocivos que se pueden presentar por ingerir agua contaminada por arsénico van desde irritaciones en la piel como su oscurecimiento (melanosis), manchas oscuras en el pecho, espalda, etc. También pueden presentarse endurecimiento de la piel, según la OMS, la presencia de estos efectos indica una exposición al arsénico mayor a 5 años. Pueden presentarse complicaciones en los órganos internos, algunos estudios han reportado dilatación del hígado, los efectos más graves que pueden presentar por exposiciones prolongadas al arsénico son el desarrollo de tumores o cáncer en la piel y/o otros órganos (pulmón, vejiga). [2] [3]

En México existen casos de mantos freáticos contaminados con arsénico debido a que el suelo contiene cantidades significantes de este metal, la otra fuente de contaminación es por el uso excesivo de plaguicidas que contienen arsénico. De este modo las personas sufren intoxicación por arsénico. La normativa vigente (NOM-127-SSA1-1994) establece que la concentración máxima permisible de arsénico en el agua potable es de 0.025mg/L [4]. En la República Mexicana se encuentran varios lugares contaminados por arsénico, lugares como Zimapán Hidalgo, Santa María SLP, y Villa de la Paz SLP, reportan valores de arsénico en agua de 1.09 mg/L superando la normativa correspondiente [4]. En Guanajuato se tienen problemas de pozos contaminados con arsénico, esto debido a la sobreexplotación de mantos acuíferos que se ha estado generando con el paso de los años, esto hace que se tengan que excavar mayores profundidades en los pozos para agua de consumo humano y así encontrar mayores concentraciones de este metal para luego ser transmitidos al cuerpo humano, los municipios que tienen problemas por la presencia de arsénico son; León, Silao, Guanajuato, Dolores Hidalgo, San Luis de la Paz.

Las concentraciones reportadas presentan efectos nocivos en la salud, los pozos que se encuentran contaminados por este metal son de importancia ambiental ya que afectan a las poblaciones más vulnerables, por este motivo se han desarrollado distintos materiales adsorbentes para poder eliminar estos contaminantes, uno de los reportados es el hidróxido férrico granulado.

Los MOF's también son conocidos como polímeros de coordinación porosa y son una clase emergente de materiales porosos contruidos a partir de nodos que contienen metal, se componen básicamente de dos componentes principales: un ion metálico o un grupo de iones metálicos y una molécula orgánica llamada enlazador. Estos materiales han sido muy prometedores en los últimos años en la adsorción y separación de diversos líquidos y gases debido a sus características únicas, dándoles una óptima aplicación en los problemas de contaminación actuales como es el agua. [5] El objetivo de este trabajo es sintetizar, caracterizar y evaluar fumarato de aluminio para adsorber arsénico de agua potable.

MATERIALES Y MÉTODOS

A partir de una solución estándar de As (III) de 1000pm (KARAL), se preparó una solución madre de 100 ppm. Se obtuvieron soluciones estándar de As a partir de la solución madre de 0.1ppm a 100 ppm para estudiar la cinética de adsorción a 20°C. El tiempo de contacto fue estudiado utilizando una solución de 0.1 ppm de As y de 2 g/L de fumarato de aluminio a diferentes tiempos a 20 °C con una velocidad de agitación de 220 rpm. Después de la adsorción la muestra tratada se filtraba y se almacenaba a 4°C para su análisis posterior.

La cantidad de As total presente en la muestra fue determinada utilizando un espectrómetro de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP- MS) Perkin Elmer. Muestras de aguas de pozos que abastecen la ciudad de León, Gto., fueron tratadas para estudiar la eficiencia del fumarato de aluminio en aguas reales. Las muestras de agua que se tienen provienen de los pozos; Muralla 16, Muralla 17, Poniente 22, Turbio 15, todos localizados en la ciudad de León, Guanajuato, México.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Área superficial

Las propiedades texturales del fumarato de aluminio (FuAl) se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades texturales

	Fumarato de aluminio
Área (m ² /g)	970
Volumen de poro (cm ³ /g)	0.48
Diámetro de poro (Å)	20

El área superficial obtenida del material sintetizado es de 970 m²/g, con un volumen de poro de 0.48 cm³/g y 20 Angstroms, lo que nos indica que el material sintetizado es microporoso. En la Imagen 1 se muestran las isothermas de adsorción-desorción del FuAl. La isoterma del Fu-Al presenta una isoterma tipo I, la cual es característica de un material sólido microporoso con área superficial externa pequeña.

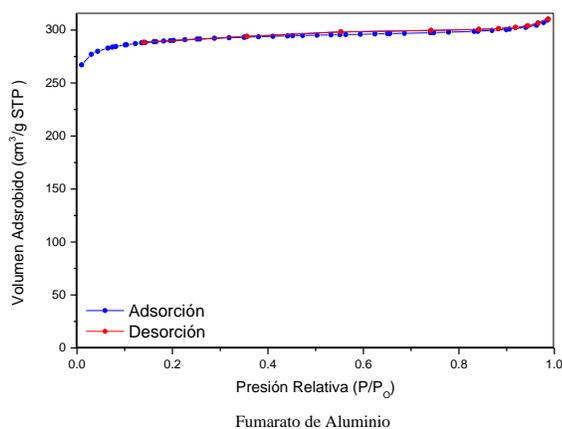


Imagen 1. Isotherma de Adsorción-desorción del fumarato de aluminio.

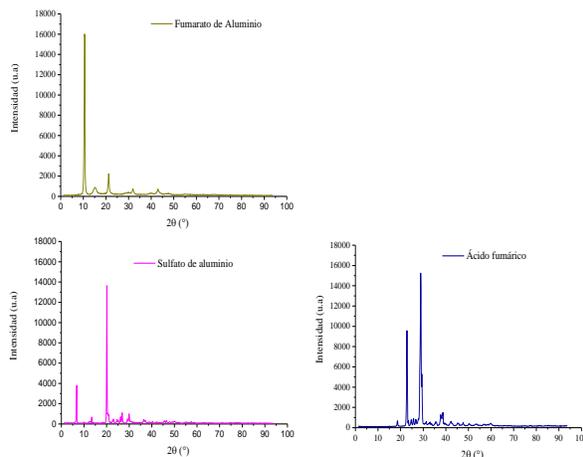


Imagen 2. Patrones de DRX del Fumarato de Aluminio y sus precursores.

En la Imagen 2 se muestran los patrones de DRX (polvos) del fumarato de aluminio (FuAl) sintetizado y sus precursores. Se puede observar que el fumarato de aluminio es un material cristalino.

En la Imagen 3 se muestran los porcentajes de remoción del Arsénico en los diferentes tiempos establecidos, el mayor porcentaje de remoción se obtiene 120 min de contacto, siendo este porcentaje del 92% aproximadamente.

En la Imagen 4 se muestra la curva de decaimiento para la adsorción de As (III) con fumarato de aluminio con el tiempo. Puede observarse que el tiempo de equilibrio se alcanza a los 180 min de contacto.

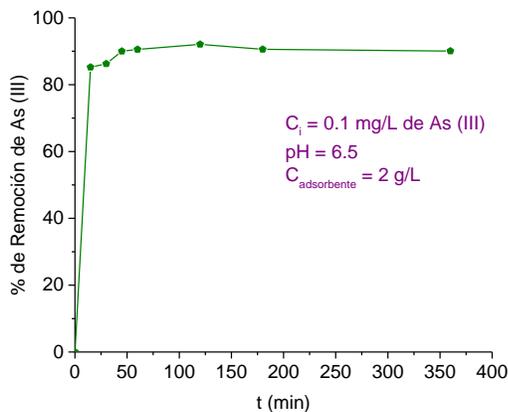


Imagen 3. Porcentaje de remoción de As (III)

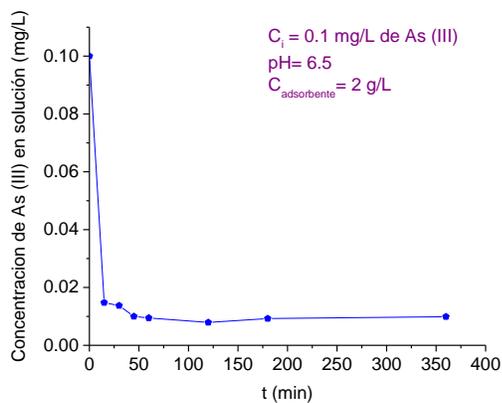


Imagen 4. Efecto del tiempo de contacto en la adsorción.

Los estudios de equilibrio entre el adsorbente y adsorbato son descritos mediante las isotermas de adsorción, las cuales relacionan la cantidad de adsorbato adsorbido y la cantidad residual que permanece en solución a cierta temperatura. Las Imágenes 5 y 6 muestran las isotermas de Langmuir y Freundlich obtenidas en este estudio a 20°C.

El análisis de error nos indica que las isotermas de Langmuir son el modelo más adecuado en la representación del equilibrio del proceso de adsorción ya que se ajustan mejor a los datos experimentales ($R^2 \sim 0.997$) que las isotermas de Freundlich ($R^2 \sim 0.976$) a una temperatura de 20°C.

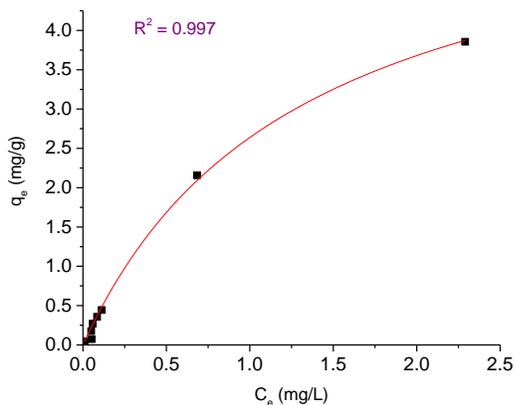


Imagen 5. Isoterma de Langmuir a 20°C. $Q_m = 6.08$ mg/g, $K_L = 0.767$

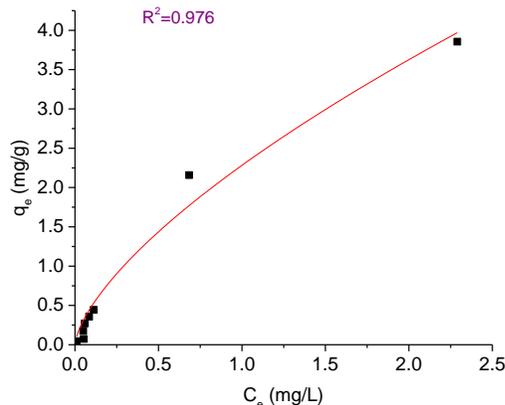


Imagen 6. Isoterma de Freundlich a 20°C. $K_F = 2.282$, $n = 1.497$

En la Tabla 2 se muestran los valores de concentraciones de arsénico en muestras reales de pozos de la ciudad de León, Gto. obtenidas antes y después de ser tratadas, los porcentajes de remoción de Arsénico total oscilan entre 92 – 97%, siendo estos muy eficientes.

Tabla 2. Concentraciones de Arsénico Total en muestras reales sin tratar y tratadas.

Pozo	pH	Concentración Inicial (ppm)	Concentración Final (ppm)	% de Remoción
Muralla 16	7.9	0.0114	0.000927	92
Muralla 17	7.5	0.015	0.000914	94
Poniente 22	8.2	0.0321	0.000994	97
Turbio 15	8.1	0.0471	0.001192	97

Tabla 3 Constante de las isotermas de Langmuir y Freundlich para la adsorción de As(III).

Temperatura (°C)	Langmuir		
	KL(L/mg)	Qm	R2
20	0.767	6.08	0.997
20	Freundlich		
	KF	N	R2
20	2.282	1.497	0.976

CONCLUSIONES

Los datos de adsorción de As (III) en el equilibrio con Fumarato de Aluminio se ajustan a una isoterma de Langmuir mostrando una máxima capacidad de adsorción de 6 mg/g a 20 °C y pH 6.5. En muestras reales de pozos cuyas concentraciones de As están entre 0.01 mg/L (ppm) y 0.047 mg/L el Fumarato de Aluminio muestra porcentajes de remoción del 92 al 97% cuando se utiliza una concentración de 2 g/L, quedando el contenido de As en las muestras tratadas muy por debajo de lo que marca la OMS (< 0.01 mg/L). Los resultados obtenidos nos indican que el Fumarato de aluminio es buen material adsorbente que se puede implementar para el tratamiento de aguas subterráneas contaminadas con arsénico.

AGRADECIMIENTOS

Ana Karen Godínez agradece al Ing. Arnulfo García Delgado Gerente de Tratamiento y Reúso del Agua del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León (SAPAL) por su apoyo en el análisis de las muestras. A la Universidad de Guanajuato por el apoyo para realizar la estancia durante el verano de investigación y a mis asesores, por su valioso conocimiento y aportaciones a este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] M.L. Castro de Esparza (2006). Presencia de arsénico en el agua de bebida en América Latina y su efecto en la salud pública. International Congress, Lima, Perú., 20-24.
- [2] Corey Germán, Galvaño Luiz (2000). Arsénico. Ciudad de México: Editorial Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud OMS.
- [3] M.L. Castro de Esparza (2006). Presencia de arsénico en el agua de bebida en América Latina y su efecto en la salud pública. International Congress, Lima, Perú., 20-24.
- [4] Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. Sergio Abraham Covarrubias y Juan José Peña Cabriales. Departamento de Biotecnología y Bioquímica, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, IPN Unidad Irapuato. 2-15.
- [5] Nazmul Abedin Khan, Zubair Hasan, Sung Hwa Jung (2013). Adsorptive removal of hazardous materials using metal-organic frameworks (MOF's): a review. Journal of hazardous Materials. Volumen (244-245), 444-456.