

Evaluación de la adsorción del mercurio presente en solución acuosa empleando pellets modificados provenientes de residuos lignocelulósicos provenientes de regiones agrícolas del Estado de Guanajuato.

Salvador Trejo Corral¹, Mayela Janeth Zavala Sánchez¹, Alma Hortensia Serafín Muñoz^{1*}.

¹División de Ingenierías, Universidad de Guanajuato.

Universidad de Guanajuato. Av. Juárez núm. 77, Col. Centro, Guanajuato, Gto., México, C.P. 36000.

*sermuah@ugto.mx

Resumen

Actualmente existen varios cuerpos de agua contaminados por metales en el México. Uno de los principales metales cuantificados es el mercurio. Este metal representa una amenaza para la salud humana y el medio ambiente debido a su presencia en cuerpos de agua en diferentes formas químicas. Se establece que el límite máximo permisible de mercurio en agua según la Organización Mundial de la Salud (OMS) es de 1 µg/l. En el presente trabajo se llevo a cabo el diseño de pellets modificados de origen lignocelulósico para analizar la capacidad de remoción del mercurio en medios acuosos. Los resultados observados demostraron la eficiencia del material adsorbente utilizado, por arriba del 50 ± 1.8 % dentro de las primeras cuatro horas. Este trabajo contribuye las bases futuras para el diseño e implementación de técnicas asequibles en el tratamiento de aguas contaminadas con metales.

Palabras clave: tratamiento de aguas, contaminación por metales, material adsorbente, cebada, esquilmo, paja.

Abstract

There are currently several water bodies contaminated by metals in Mexico. One of the main metals quantified is mercury. This metal represents a threat to human health and the environment due to its presence in water bodies in different chemical forms. The maximum permissible limit of mercury in water according to the World Health Organisation (WHO) is 1 µg/l. In the present work, the design of modified pellets of lignocellulosic origin was carried out to analyse the mercury removal capacity in aqueous media. The observed results demonstrated the efficiency of the adsorbent material used, above 50 ± 1.8 % within the first four hours. This work contributes to the future basis for the design and implementation of affordable techniques for the treatment of metal-contaminated water.

Key words: water treatment, metal contamination, adsorbent material, barley, straw.

1. Introducción

Dentro de los recursos hídricos del país y del estado de Guanajuato se encuentran una enorme problemática por contaminación de metales pesados (Serafín Muñoz, 2022). Como reservorio natural el mercurio circula libremente en cuerpos de agua en diferentes formas o presentaciones químicas. Como límite máximo permisible por la Organización Mundial de la Salud es de $1 \mu\text{g/l}$ (OMS, 2020). La ingesta de mercurio afecta las actividades y desarrollo neuronal, puede generar hemorragias digestivas en caso de ingesta, hipertensión arterial, neumonitis química (Gaioli Marisa, 2012). El dopaje de Fe^{+3} demostró una eficiencia de remoción del 98% de As (Serafín 2017), usualmente en las soluciones acuosas contaminadas con metales pesados se encuentra de 2 a más metales pesados, por lo tanto este factor de remoción se consideró para llevar a cabo este estudio. La cinética de adsorción de mercurio con pellets ha sido objeto de estudio en la búsqueda de métodos eficientes para la remoción de este contaminante ambiental. La investigación de Johnson et al. (2020) exploró la velocidad y eficiencia con la que los pellets adsorben el mercurio en sistemas acuosos, proporcionando información relevante para el desarrollo de tecnologías de tratamiento de aguas contaminadas. Estas comunidades a menudo se enfrentan a desafíos relacionados con la contaminación del agua debido a la actividad industrial, la minería y otros factores. Los pellets hechos a base de residuos de cebada ofrecen una solución potencialmente viable y de bajo costo para la remoción de mercurio en el agua. La adsorción es un proceso en el cual las partículas de mercurio se adhieren a la superficie de los pellets, permitiendo así su eliminación del agua contaminada. Este se centra en el estudio de la velocidad y el mecanismo con el que ocurre este proceso de adsorción. Comprender la cinética de adsorción de mercurio con pellets es esencial para determinar el tiempo de contacto óptimo necesario para una remoción eficiente del mercurio en el agua. Se tiene como objetivo desarrollar una solución eficaz, accesible y de bajo costo para tratar el agua contaminada con mercurio. Estas investigaciones pueden proporcionar información importante para el diseño de sistemas de tratamiento de agua adaptados a las necesidades y recursos disponibles en estas comunidades, contribuyendo así a mejorar la calidad del agua y proteger la salud de la población. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la capacidad de adsorción de un material adsorbente en la remoción de mercurio (Hg) de soluciones acuosas a diferentes concentraciones y tiempos de contacto.

2. Metodología

2.1 Materiales y reactivos.

Se utilizaron pellets elaborados a partir de cebada proveniente de los municipios de Irapuato y Salamanca. Se activaron con ácido acético (Fermont) y un dopaje de solución de Fe (estándar solución, Sigma Aldrich). Mercurio estandar (*Golden Bell*), hidróxido de sodio (*Alta Pureza*), ácido nítrico (*Fermont*), cloruro férrico (*Fermont*), ácido fosfórico (*Fermont*), ácido acético (*Fermont*), agua destilada (*Ecopura*), borohidruro de sodio alta pureza (Sigma Aldrich), ácido clorhídrico (J. T. Baker), ácido acético diluido al 5% marca comercial y peróxido de hidrógeno (J.T. Baker).

2.2 Equipo.

2.3 Los equipos utilizados fueron los siguientes: Vortex (*Scientific Industries*), Balanza analítica (*Ohaus mod. AX224*), Mufla (*Arsa*), Incubadora (*Felisa*), Baño seco (*Felisa, mod. FE-400*), Potenciometro (*Ohaus, mod. ST-3100*), Adsorción Atómica con generador de hidruros (*Perkin Elmer PinAAcle 900Z*), Agitador rotativo (*ATR RKVSD*).

2.4 Evaluación en batch de adsorción.

Se pesó 1g de material adsorbente y se colocó en un tubo Falcon de 14mL, el material adsorbente se puso en contacto con una solución de Hg preparada a diferentes concentraciones (6, 17, 24 ppb) y tiempos de contacto (4, 8, 12, 24, 48 horas) bajo una agitación constante de 85rpm. Este procedimiento se repitió para cada concentración y tiempo de contacto. Al finalizar el tiempo de contacto, las muestras se filtraron para separar el material adsorbente de la solución. A continuación, se llevaron las muestras filtradas a centrifugación a 5500rpm durante 20 minutos para asegurar una separación completa del sobrenadante. Luego, se filtraron nuevamente usando papel Whatman #6 para obtener el sobrenadante libre de partículas sólidas. El sobrenadante, que contiene el mercurio no adsorbido, se almacenó en tubos Falcon para su posterior análisis. Mientras tanto, el material adsorbente se sometió a un proceso de secado a 50°C durante 24 horas para eliminar cualquier exceso de humedad. El material adsorbente se colocó en un desecador para enfriarse a temperatura ambiente antes de su análisis. Por otro lado, el sobrenadante se aforó a 10mL y se le agregó una gota de KMnO_4 para estabilizar el mercurio presente en forma de ión mercurioso (Hg^{2+}). Las soluciones acuosas estabilizadas con KMnO_4 fueron analizadas mediante el equipo Perkin Elmer PinAAcle 900Z utilizando la técnica de generador de hidruros. Esta técnica permite la determinación cuantitativa de mercurio mediante la generación de hidruros volátiles que son arrastrados hasta la cámara de absorción atómica, donde se mide la absorbancia de la radiación electromagnética. Los datos experimentales obtenidos se evaluaron mediante la construcción de una curva de calibración utilizando la ecuación de la recta, lo que permitió relacionar la concentración de mercurio en la muestra con la absorbancia medida en el equipo. Con esta metodología, se logró evaluar de manera eficiente la capacidad de adsorción del material adsorbente para eliminar mercurio en soluciones acuosas. En la Figura 1, podemos observar el esquema general metodológico llevado a cabo.



Preparación de los pellets.



Dopaje de Fe a los pellets



Preparación de soluciones de mercurio.



Adsorción del mercurio en los pellets.



Interpretación de resultados

Figura 1. Esquema metodológico resumido.

3. Resultados y discusión

En la Figura 2 se observa la curva de calibración obtenida, con un $R^2 = 0.9997$ y con la ecuación:

$$y = 0.0003x + 0.0068$$

Como se muestra en la Figura 3, se observó que a medida que aumentaba la concentración inicial de mercurio en la solución acuosa, la concentración real de Hg remanente después de la adsorción también aumentaba, indicando una menor capacidad de adsorción del material adsorbente. Este comportamiento se evidencia en todas las muestras evaluadas a lo largo de las diferentes horas de contacto (4h, 8h, 12h, 24h y 48h). Los porcentajes de remoción del mercurio, en su mayoría, disminuyeron a medida que la concentración inicial de Hg aumentaba, lo que sugiere que la adsorción del mercurio fue más efectiva a bajas concentraciones.

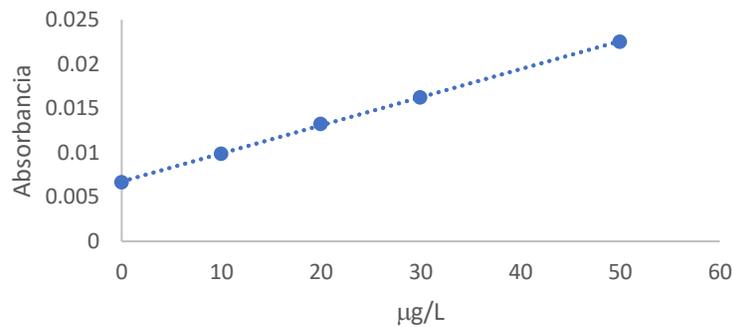


Figura 2. Curva de calibración para la cuantificación del mercurio total obtenida en AAS-HG.

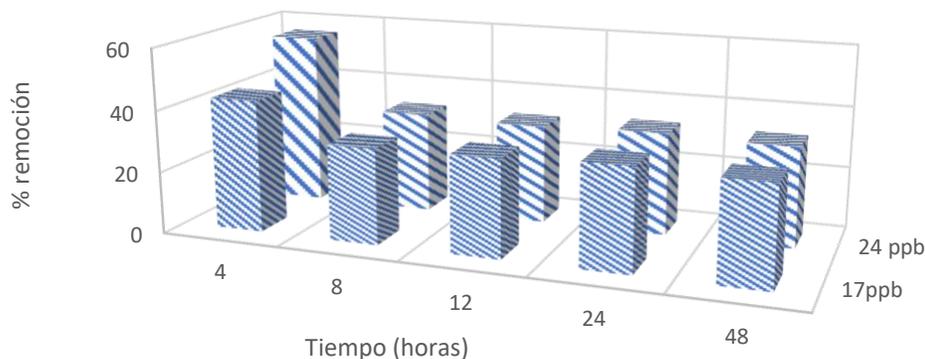


Figura 3. Porcentaje de remoción de mercurio por pellets modificados, por tiempos. Se utilizaron dos soluciones con 2 concentraciones diferentes (17 y 24 µg/L).

Otro aspecto importante observado en los resultados es el efecto del tiempo de contacto en la capacidad de adsorción del material. En general, a medida que aumentaba el tiempo de contacto entre el material adsorbente y la solución de Hg, se observó una mejora en la remoción del mercurio en todas las concentraciones evaluadas. Por ejemplo, para la concentración inicial de 6 ppb de Hg, la remoción aumentó desde el 50.62% a las 4 horas, después de las 4 horas el material llega a saturarse y no ocurre más adsorción como se muestra en la figura 3. Cabe mencionarse que se incluyó un "control" que representa la concentración de mercurio en la solución acuosa sin el uso del material adsorbente. Como era de esperarse, la concentración real de Hg en el control no sufrió cambios significativos con respecto a la concentración inicial, ya que no hubo adsorción del mercurio en ausencia del material adsorbente.

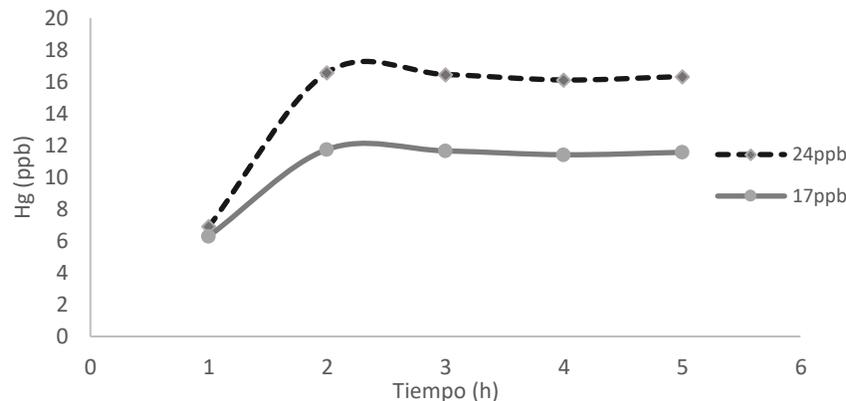


Figura 3. Tendencia de la adsorción de mercurio por el material modificado en diferentes tiempos.

Es importante mencionar algunas limitaciones del estudio que pueden haber influido en los resultados. Una posible limitación podría estar relacionada con la homogeneidad del material adsorbente y la eficiencia de la agitación durante el proceso de adsorción. Además, las interacciones entre el material adsorbente y otras especies presentes en la solución acuosa podrían haber afectado los resultados. Para futuros estudios, se recomienda realizar análisis complementarios, como isotermas de adsorción, para obtener una descripción más detallada del comportamiento del material adsorbente.

Conclusiones. Los resultados obtenidos proporcionan información relevante para aplicaciones en el tratamiento de efluentes y aguas contaminadas con mercurio, lo que contribuye a la protección del medio ambiente y la salud pública. La concentración inicial de Hg y el tiempo de contacto entre el material y la solución son factores determinantes en la eficiencia de la adsorción. A medida que aumenta la concentración inicial de Hg, la capacidad de adsorción del material disminuye, mientras que el tiempo de contacto prolongado mejora la remoción del mercurio. Este estudio contribuye al conocimiento sobre el uso de materiales adsorbentes para la eliminación de mercurio en soluciones acuosas, lo que podría tener aplicaciones importantes en el tratamiento de aguas contaminadas y la protección del medio ambiente. Sin embargo, es fundamental realizar más investigaciones y optimizar las condiciones experimentales para mejorar la eficiencia de la adsorción y abordar las limitaciones encontradas en este estudio.

Referencias

- 1.- Gaiolia, M., Amoedo, D., & González, D. (11-01-2012). Impacto del mercurio sobre la salud humana y el ambiente [Impact of mercury on human health and the environment]. *Pediatría Práctica*, Volumen 110 (no. 3), páginas. doi: <http://dx.doi.org/10.5546/aap.2012.259>
- 2.- Hernández-Silva, G., Schárek, P., Bartha, A., & Solorio-Munguía, G., (2009). Aspectos preliminares de mercurio y gas radón en la zona mineralizada del municipio de San Joaquín, Qro. *Mercurio: impacto en el hombre y la naturaleza al sur de la Sierra Gorda de Querétaro* (pp. 41-48).

- 3.- Jahan, M. I., Motin, M. A., Moniuzzaman, M., & Asadullah, M. (2008). Arsenic re-moval from water using carbon obtained from chemical activation from yute stick. *Indian Journal of Chemical Technology*, 15(4), 413-416.
- 4.- Johnson, T. J., Diaz, E., Hughey, K. D., Myers, T. L., Blake, T. A., Dohnalkova, A. C., & Burton, S. D. (2020). Infrared optical constants from pressed pellets of powders: I. improved n and k values of (NH₄)₂SO₄ from single-angle reflectance. *Applied Spectroscopy*, 74(8), 851-867.
- 5.- Mathew, B. B., Jaishankar, M., Biju, V. G., & Krishnamurthy Nideghatta Beeregowda. (2016). Role of Bioadsorbents in Reducing Toxic Metals. In *Journal of Toxicology* (Vol. 2016). <https://doi.org/10.1155/2016/4369604>
- 6.- Menéndez Díaz, J. A. (2008). Residuos de biomasa para la producción de carbo-nes activos y otros materiales de interés tecnológico. España: Universidad de Oviedo.
- 7.- Shang, Y., Wu, X., Wei, Q., Dou, H., Wang, X., Chen, J., . . . Ma, S. (2020). Total Arsenic, pH, and Sulfate Are the Main Environmental Factors Affecting the Microbial Ecology of the Water and Sediments in Hulun Lake, China. *Front Microbiol*, 11, 548607. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.548607>
- 8.- Serafín Muñoz, A. H., Medina García, M. G., Vido García, F. A., Noriega Luna, B., Zamorategui Molina, A., Li, Y., & Rodríguez Castrejón, U. E. (2017). Uso potencial de pellets para el tratamiento de aguas contaminadas con arsénico en comunidades de Xichú, Gto., México. *Acta Universitaria*, 26. <https://doi.org/10.15174/au.2016.1502>
- 9- Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortiz, A., & Garcés-Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*, 18(34), 109-123.
- 10.- Yu, H., Wang, T., Dai, W., Yu, L., & Ma, N. (2018). Competitive Adsorption of Dye Species onto Biomass Nanoporous Carbon in Single and Bicomponent Systems. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 35(1). <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20180351s20160578>.