

Derivado magnético de azul de Prusia como adsorbente para remoción eficiente de talio(I)

Magnetic Prussian Blue derivative like absorbent cages for an efficient thallium removal

Yeisy C. López^{a,b}, Greter A. Ortega^a, Miguel A. Martínez^a, Edilso Reguera^a

^a Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación Avanzada y Tecnología Aplicada, Calz Legaria 694, Col. Irrigación, 11500 Ciudad de México, México

^b Universidad de La Habana, Facultad de Química, Laboratorio de Química Bioinorgánica, Zapata and G, Vedado, Plaza de la Revolución, CP: 10400, La Habana, Cuba

Palabras clave: nanopartículas de magnetita, hexacianuroferratos, composite, remoción de Tl(I)

Key words: magnetite nanoparticles, metal hexacyanoferrates, composite, thallium(I) removal

Introducción

Se estima que para el 2030 la disponibilidad de agua renovable experimentará una reducción de unos 408 m³/hab/año en la nación mexicana. Por lo cual se hace indispensable el diseño puesta en marcha de nuevas estrategias para el tratamiento de las aguas contaminadas. La contaminación del agua se encuentra mayormente asociada a efluentes de la industria textil, la alimenticia y la minera. De acuerdo a la Cámara de Minería de México (Camimex), el país ocupó el primer lugar en producción de plata, el quinto en plomo y el sexto en zinc, en todo el mundo. Por lo general, los residuos de dicha industria no reciben un tratamiento adecuado siendo responsables de la incorporación a aguas superficiales y subterráneas de un elevado número de contaminantes, entre ellos iones metálicos.

Recientemente el talio, uno de los metales más tóxicos ha incrementado su concentración en niveles que sobrepasan los límites establecidos por la USEPA (“United States Environmental Protection Agency (USEPA),” 2019) y el gobierno chino (Belzile and Chen, 2017). Publicaciones recientes han demostrado el incremento de la concentración de este peligroso metal en zonas mineras del norte-centro del país (Aguilar-Carrillo et al., 2018; Cruz-Hernández et al., 2018). El talio(I) es considerado uno de los metales más tóxicos para la salud humana, incluso en comparación con otros metales pesados como el mercurio, el plomo

y el cadmio. El principal efecto del talio se debe a su capacidad para sustituir cationes monovalentes, especialmente potasio, en reacciones enzimáticas, pero con una afinidad diez veces mayor que las enzimas para K. Además, los iones Tl(I) poseen una alta afinidad por los ligandos con grupos sulfhidrilo de las proteínas y otras biomoléculas dentro de la célula. La intoxicación por talio puede causar gastroenteritis, náuseas, vómitos, dolor abdominal, pérdida definitiva de cabello y daño al sistema nervioso, y la muerte, según el grado de intoxicación (Galva and Santamarí, 1998; Zitko, 1975). Con el objetivo de lograr una remoción eficiente de este peligroso contaminante, el presente trabajo propone el desarrollo de un análogo de Azul de Prusia, hexacianuroferrato(II) de zinc y potasio, modificado con nanopartículas de magnetita para la remoción magnética de Tl(I), como se muestra en la Figura 1.

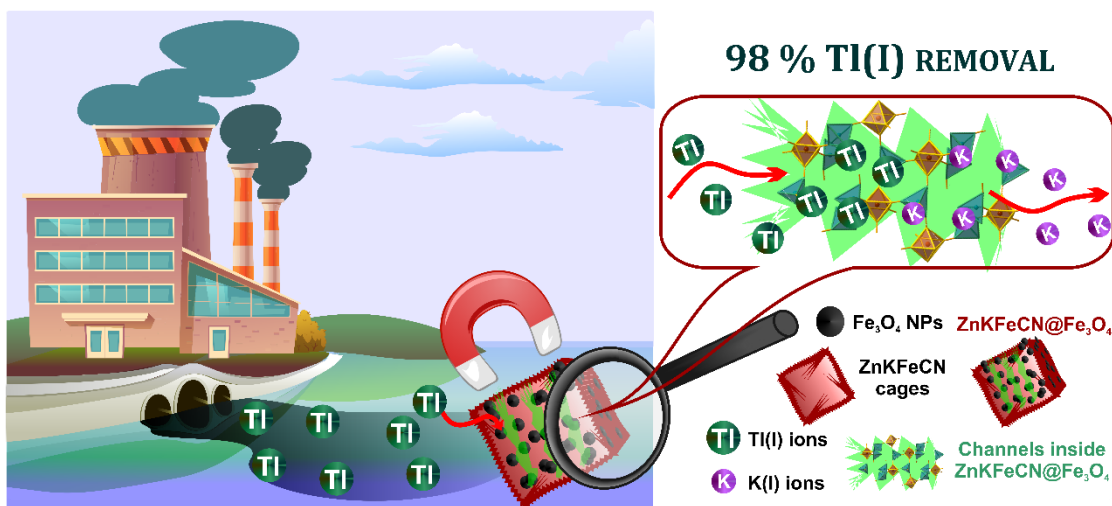


Figura 1: Resumen gráfico del trabajo

Metodologías

Las metodologías de síntesis seguidas para cada material han sido previamente reportadas en la literatura. El derivado de Azul de Prusia se obtuvo por un método de precipitación química (Vlasselaer et al., 1977) mientras que las nanopartículas de magnetita se obtuvieron mediante una reacción de descomposición térmica (Cai and Wan, 2007). El composite magnético se preparó mezclando disoluciones del derivado de Azul de Prusia y de las nanopartículas magnéticas, previamente sintetizados. Los materiales obtenidos fueron caracterizados mediante FTIR-ATR, TGA, XRD, TEM/SEM, XPS, BET, y magnetización. La capacidad de remoción del material obtenido se realizó bajo diferentes condiciones de masa, tiempo, concentración inicial de iones talio, pH y presencia de iones interferentes comunes en la industria minera.

Resultados y Discusión

Mediante las técnicas de caracterización mencionadas se confirmó la obtención del análogo de Azul de Prusia y de las nanopartículas magnéticas. Así mismo se demostró la modificación efectiva del derivado de Azul de Prusia con las nanopartículas de magnetita. Seguidamente, se evaluó la capacidad de remoción experimental de talio de agua residual simulada para

todos los materiales preparados. Como se observa en la Figura 2, el composite magnético mostró la mayor capacidad de remoción de los materiales evaluados.

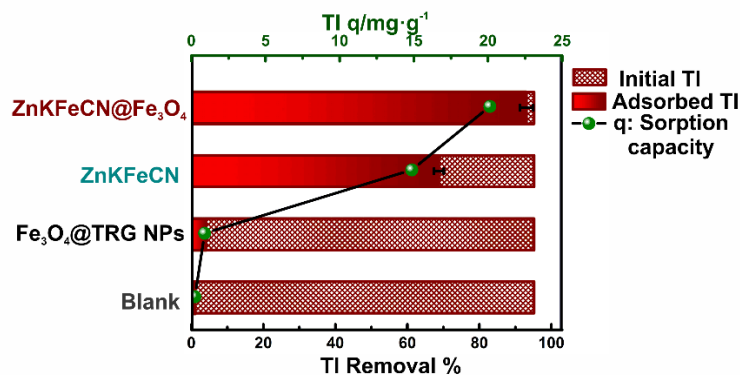


Figura 2. Capacidad y por ciento de remoción de talio para los materiales preparados

La máxima capacidad de adsorción fue de 117 mg de Tl(I) por gramo de composite magnético, luego de 21 horas de interacción para una concentración inicial de 200 ppm de Tl. El composite magnético con talio fue separado del medio utilizando un imán. La concentración final de Tl en los sobrenadantes analizados resultó ser 28 veces menor que el límite permitido para aguas residuales. El proceso de remoción es independiente del pH del medio, y las interferencias de otros metales, fueron mínimas, con la excepción de los iones amonio. Además, el composite mostró su capacidad de reutilización reteniendo un 95 % de su capacidad de remoción de Tl, y el 97 % del Tl removido fue recuperado bajo tratamiento del adsorbente con una disolución de KCl. La cinética del proceso de adsorción puede ser descrita mediante los modelos de pseudo-segundo orden y difusión intra-partícula. El principal mecanismo involucrado en la remoción del Tl(I) fue el intercambio iónico

Conclusiones

El composite magnético formado a partir del derivado de Azul de Prusia y de las nanopartículas de magnetita demostró su eficiencia como adsorbente de iones talio. Como ventaja adicional, exhibió potencialidades para la remoción de otros iones metálicos como el Cu y el Pb. El material propuesto es de fácil preparación, bajo costo, reutilizable y con grandes potencialidades para remoción de iones talio(I) de aguas residuales de industria minera.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar-Carrillo, J., Herrera, L., Gutiérrez, E.J., Reyes-Domínguez, I.A., 2018. Solid-phase distribution and mobility of thallium in mining-metallurgical residues: Environmental hazard

implications. *Environ. Pollut.* 243, 1833–1845. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.014>

Belzile, N., Chen, Y.W., 2017. Thallium in the environment: A critical review focused on natural waters, soils, sediments and airborne particles. *Appl. Geochemistry* 84, 218–243. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.06.013>

Cai, W., Wan, J., 2007. Facile synthesis of superparamagnetic magnetite nanoparticles in liquid polyols. *J. Colloid Interface Sci.* 305, 366–370. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2006.10.023>

Cruz-Hernández, Y., Ruiz-García, M., Villalobos, M., Romero, F.M., Meza-Figueroa, D., Garrido, F., Hernández-Alvarez, E., Pi-Puig, T., 2018. Fractionation and mobility of thallium in areas impacted by mining-metallurgical activities: Identification of a water-soluble Tl(I) fraction. *Environ. Pollut.* 237, 154–165. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.031>

Galva, S., Santamarí, A., 1998. Thallium toxicity. *Toxicol. Lett.* 99, 1–13.

United States Environmental Protection Agency (USEPA) [WWW Document], 2019. . Gr. Water Drink. Water. URL https://19january2017snapshot.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulation-table_.html

Vlasselaer, S., D'olieslager, W., D'hont, M., 1977. Caesium ion exchange equilibrium on potassium-zinc-hexacyanoferrate(II), $K_2Zn_3[Fe(CN)_6]_2$. Selectivity for alkali ions. *J. Radioanal. Chem.* 35, 211–222. <https://doi.org/10.1007/BF02518228>

Zitko, V., 1975. Toxicity and pollution potential of thallium. *Sci. Total Environ.* 4, 185–192. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(75\)90039-X](https://doi.org/10.1016/0048-9697(75)90039-X)