

Aplicaciones de la nanoadsorción y nanofiltración en el tratamiento de drenaje ácido de mina

Proyecto Conacyt - Ciencia de Frontera No. 304320

Responsables Técnicos: Dra. Ruth Robles y Dr. Guillermo Foladori

Unidad Académica en Ciencias de la Tierra (UACT) y Unidad Académica en Estudios del Desarrollo (UAED).
Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), México

Noviembre 2022

Antecedentes

El drenaje ácido de mina (DAM) es uno de los impactos ambientales más importantes en las operaciones mineras. Generalmente, este contaminante es tratado a través de métodos convencionales que generan grandes cantidades de residuos. Pocas veces, el DAM ha sido visto como una fuente de recursos donde se pudiera extraer ácido sulfúrico, diversos metales, elementos pertenecientes a las tierras raras y agua.

Los tratamientos emergentes basados en nanoadsorción y nanofiltración podrían ayudar a acrecentar esta concepción en conjunto con otros tratamientos convencionales. No obstante, a pesar de que la nanotecnología en la actualidad presenta grandes avances, estos métodos, aún se encuentran en vías de desarrollo muy por debajo de las tecnologías de explotación de minerales. Su oferta en los mercados es limitada debido a sus altos costos, algunas fallas técnicas y a que la minería se encuentra enfocada en reducir sus costos operacionales más que remediar sus impactos.

Además de que, las legislaciones ambientales aún no impulsan la aplicación de estas nuevas tecnologías que prometen grandes beneficios para el ambiente, dadas las incertidumbres en el ambiente y en la salud humana que se pudieran presentar durante su aplicación.

Objetivo

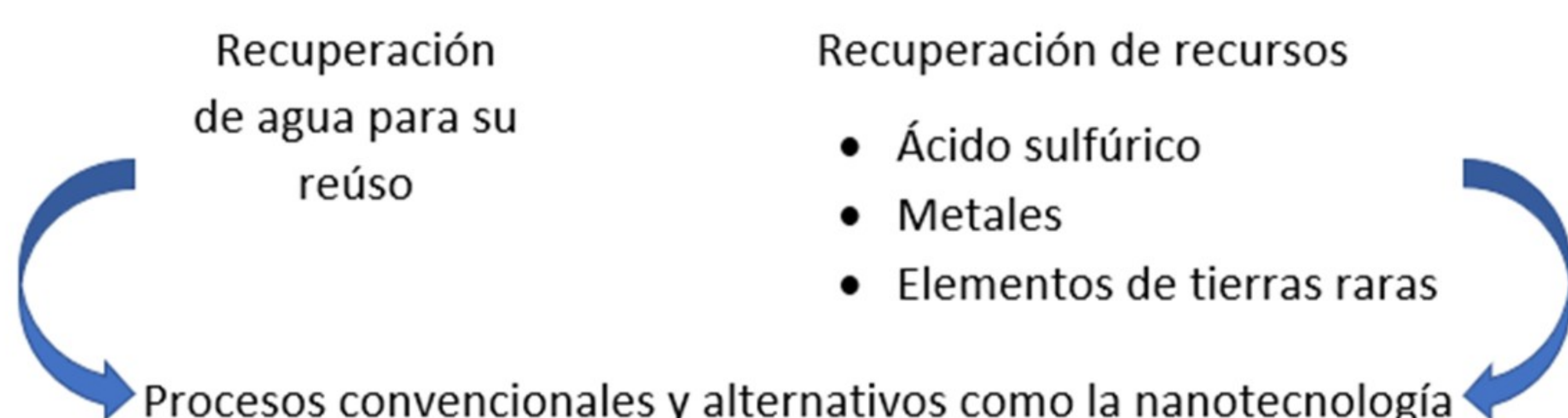
La presente investigación realiza una revisión del estatus actual de la nanoadsorción y la nanofiltración en el tratamiento de DAM; tecnologías que remueven contaminantes y que requieren ser acompañadas de otras técnicas convencionales para la recuperación total de los recursos inmersos en este contaminante.

Palabras clave: minería; drenaje ácido de mina; tratamiento; nanotecnología; nanoadsorción; nanofiltración; fuente de recursos.

Desarrollo y temas clave [visite www.relans.org]

El DAM es un residuo frecuente en las operaciones mineras, se produce por la disolución oxidativa de minerales de sulfuro (Simate & Ndlovu, 2014). Este contaminante puede solubilizar metales tóxicos en niveles que pueden afectar los ecosistemas y, con ello, la salud de los seres humanos (Taylor et al., 2005). El DAM contiene concentraciones moderadas de ácido sulfúrico, concentraciones altas de metales de transición como el hierro, el aluminio, el cobre y el zinc y, a veces, cantidades pequeñas de elementos pertenecientes a las tierras raras (López et al., 2019, p. 180). La utilización de la nanoadsorción y nanofiltración en conjunto con otros tratamientos convencionales pudieran facilitar la recuperación de estos constituyentes y llevar el manejo del DAM a un nivel más sustentable. La figura siguiente presenta un esquema general de los constituyentes del DAM susceptibles de recuperarse.

Minería en tránsito hacia la sustentabilidad



Fuente: adaptado de Naidu et al. (2019).

Desarrollo y temas clave [visite www.relans.org]

Los nanomateriales con propiedades adsorbentes comienzan a ser una de las tecnologías más novedosas y efectivas para eliminar diversos tipos de contaminantes debido a su amplia área superficial y a sus propiedades fisicoquímicas (Sarma et al., 2019). Los metales pesados más comunes que pueden ser eliminados de soluciones acuosas por este método incluyen As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg y Ni. Sb, Pd, Pt, U y Th (Dubey et al., 2017, p. 656).

Por su parte, la nanofiltración es un tratamiento que puede mejorar el manejo del DAM, debido a que recupera ácido sulfúrico y, simultáneamente, concentra elementos valiosos que pueden ser valorados después de la eliminación adecuada de hierro (López et al., 2019, p. 180). La nanofiltración no es una técnica óptima para la recuperación selectiva de metales, para ello, es necesario integrar otros procesos convencionales (Naidu et al., 2019). Existe una tendencia reciente, que es el desarrollo de un sistema que combina procesos de separación de membrana, intercambio iónico y extracción por solvente para la recuperación de subproductos del DAM, con lo cual se logran procesos mineros más amigables con el ambiente (Moreira et al., 2021).

El cuadro siguiente muestra algunos estudios desarrollados en DAM que involucran las tecnologías en estudio.

| Estudio | Resultado | Referencia |
|--|--|--------------------------|
| Uso de dos compuestos a base de silicato de calcio hidratado y modificado con Fe(III) como adsorbentes para eliminar iones arseniato, fosfato, Cu(II), Zn(II) y Cd(II) | En el rango de pH entre 2 y 4, se midió una capacidad máxima de carga cercana a 55 mg As(V)/g y 81 mg de fosfato/g de adsorbente. Se determinaron eficiencias de adsorción superiores al 99,94% para Cu(II), Zn(II) y Cd(II). | (Barrera et al., 2017) |
| Recuperación y fraccionamiento de elementos de tierras raras (Sc, Y y La-Lu) | Se obtuvo la mayor capacidad de adsorción reportada en la literatura para Yb y La, 410 y 61 mg/g respectivamente (para una solución inicial de 1000 mg/L de LaCl ₃ y YbCl ₃ , pH 4.5 y una temperatura de 294 K). | (Crane & Sapsford, 2018) |
| Exploración de la selectividad iónica (Ca ²⁺ , Na ⁺ y elementos de tierras raras con valencias +3 y +4) de tres membranas de nanofiltración: NF5, NF270 y NF90 | La membrana NF90 tuvo una eficiencia de separación baja, en tanto que, las membranas NF270 y NF5 mostraron buenos resultados en la separación de Na ⁺ /Ca ²⁺ y Ca ²⁺ /Nd ³⁺ respectivamente. | (Zhao et al., 2022) |
| Integración de microfiltración, nanofiltración (MPF-34) y osmosis inversa (TFC-HR) para recuperar ácido sulfúrico, metales y agua | Se recuperó una corriente de ácido purificado con una concentración 99 % mayor que la alimentación; una corriente enriquecida con metales (retención cercana al 95%); y una corriente de agua de reúso de alta calidad. | (Ricci et al., 2015) |

Referencias

- Barrera, K., Briso, A., Ide, V., Martorana, L., Montes, G., Basualto, C., ... Valenzuela, F. (2017). Treatment of acidic mine drainage in an adsorption process using calcium silicate modified with Fe(III). *Hydrometallurgy*, 172, 19–29. doi: 10.1016/j.hydromet.2017.06.016
- Crane, R. A., y Sapsford, D. J. (2018). Sorption and fractionation of rare earth element ions onto nanoscale zerovalent iron particles. *Chemical Engineering Journal*, 345, 126–137. doi: 10.1016/j.cej.2018.03.148
- Dubey, S., Banerjee, S., Upadhyay, S. N., y Sharma, Y. C. (2017). Application of common nano-materials for removal of selected metallic species from water and wastewaters: A critical review. *Journal of Molecular Liquids*, 240, 656–677. doi: 10.1016/j.molliq.2017.05.107
- López, J., Reig, M., Gilbert, O., y Cortina, J. L. (2019). Recovery of sulphuric acid and added value metals (Zn, Cu and rare earths) from acidic mine waters using nanofiltration membranes. *Separation and Purification Technology*, 212, 180–190. doi: 10.1016/j.seppur.2018.11.022
- Moreira, V. R., Lebron, Y. A. R., Foureaux, A. F. S., Santos, L. V. de S., y Amaral, M. C. S. (2021). Acid and metal reclamation from mining effluents: Current practices and future perspectives towards sustainability. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(3), 105169. doi: 10.1016/j.jece.2021.105169
- Naidu, G., Ryu, S., Thiruvengatchari, R., Choi, Y., Jeong, S., y Vigneswaran, S. (2019). A critical review on remediation, reuse, and resource recovery from acid mine drainage. *Environmental Pollution*, 247, 1110–1124. doi: 10.1016/j.envpol.2019.01.085
- Ricci, B. C., Ferreira, C. D., Aguiar, A. O., y Amaral, M. C. S. (2015). Integration of nanofiltration and reverse osmosis for metal separation and sulfuric acid recovery from gold mining effluent. *Separation and Purification Technology*, 154, 11–21. doi: 10.1016/j.seppur.2015.08.040
- Sarma, G. K., Sen Gupta, S., y Bhattacharyya, K. G. (2019). Nanomaterials as versatile adsorbents for heavy metal ions in water: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(7), 6245–6278. doi: 10.1007/s11356-018-04093-y
- Simate, G. S., y Ndlovu, S. (2014). Acid mine drainage: Challenges and opportunities. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(3), 1785–1803. doi: 10.1016/j.jece.2014.07.021
- Taylor, J., Pape, S., y Murphy, N. (2005, agosto 29). *A summary of passive and active treatment technologies for acid and metalliferous drainage (AMD)*. Presentado en Fifth Australian Workshop on Acid Drainage, Fremantle, Western Australia. Recuperado de <https://www.acidmetalliferousdrainage.com/wp-content/uploads/2019/03/ES-2005-A-Summary-of-Passive-and-Active-Treatment-Technologies-for-Acid-and-Metalliferous-Drainage-AMD.pdf>
- Zhao, Z., Feng, S., Xiao, C., Luo, J., Song, W., Wan, Y., y Li, S. (2022). Exploring ions selectivity of nanofiltration membranes for rare earth wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 289, 120748. doi: 10.1016/j.seppur.2022.120748

Agradecimientos



www.relans.org
relans2010@gmail.com