

Desarrollo de hidrogeles de goma de angico con arcilla incorporada para la adsorción de ciprofloxacino

Albert Santos Silva (1,4), Ariane Maria da Silva Santos (1), Idglan Sá de Lima (1), Rodrigo Prado Feitosa (1), Edvani Curti Muniz (2), Josy Antevelli Osajima Furtini (1), Santiago Carrasco Medina (3) Maria Del Mar Orta Cuevas (4*) and Edson Cavalcanti da Silva Filho (1)

- (1) LIMAv, Laboratorio Interdisciplinar de Materiales Avanzados, Universidad Federal de Piauí, Campus Universitario Ministro Petrônio Portella, Teresina, Piauí 64049-550, Brasil;
(2) Departamento de Química, Universidad Estadual de Maringá, Maringá - 87039-400, Paraná, Brasil
(3) SGI Laboratorio de Rayos X - Centro de Investigación, Tecnología e Innovación de la Universidad de Sevilla (CITIUS), 41012, Sevilla, Spain.
(4) Departamento de Química Analítica, Facultad de Farmacia, Universidad de Sevilla, Sevilla, 41012, España * corresponding author: enmaorta@us.es

Palabras clave: Remedación ambiental, Adsorción de fármacos, Materiales híbridos. **Key Words:** Environmental remediation, Drug adsorption, Hybrid materials

INTRODUCCIÓN

Los contaminantes emergentes representan un desafío ambiental significativo debido a su amplia utilización y persistencia en los ambientes acuáticos, lo que constituye una amenaza creciente. La adsorción destaca como una técnica eficiente para la remoción de estos contaminantes ambientales (Carvalho et al., 2021). Entre los materiales adsorbentes prometedores, los hidrogeles con arcilla incorporada han ganado atención debido a su alta capacidad de hinchamiento y superficie de adsorción ampliada (Sayyar et al., 2024). En este contexto, el presente estudio desarrolló hidrogeles a base de goma de angico (*Anadenanthera colubrina*) (HGA) y HGA con una mezcla de montmorillonita, sepiolita y carbón activado (HGA-MIN) proporcionada por Tolsa, S.A. Espanha para la adsorción del fármaco ciprofloxacino.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para la obtención del HGA se utilizaron una solución de goma de angico (7%) bajo agitación y en presencia de gas nitrógeno. A continuación, se agregó el monómero de acrilamida al medio de reacción en una proporción de 1:1 durante un período de cinco minutos. Después de la disolución completa, se añadieron los reactivos de iniciación, reticulación y el catalizador con intervalos de dos minutos. Después de la adición del catalizador, el sistema se mantuvo bajo atmósfera de nitrógeno durante 24,0 horas para completar la reacción de polimerización. Posteriormente, tras la formación del HGA, el material fue lavado con agua en exceso y secado en estufa a 70 °C durante 24,0 horas (Rodrigues et al., 2021). Después del secado, los hidrogeles fueron sometidos a una reacción de hidrólisis alcalina para favorecer la hidrofiliidad del material. La hidrólisis se realizó mezclando 1,0 g de hidrogel en 40,0 mL de una solución de hidróxido de sodio (0,5 mol L⁻¹) durante dos horas a una temperatura de 50 °C. Al finalizar la reacción, los hidrogeles fueron lavados con agua destilada y liofilizados. El HGA-MIN se sintetizó siguiendo la misma metodología utilizada en el HGA, con la adición de la mezcla de montmorillonita, sepiolita y carbón activo (MIN-NS) proporcionada por Tolsa, S.A. Espanha después del proceso de hidrólisis. El MIN-NS se utilizó en la síntesis sin un proceso de modificación adicional.

El proceso de adsorción se evaluó mediante espectroscopia UV-Vis, variando el pH, el tiempo y la concentración, además de mediante técnicas de termogravimetría (TG) y tomografía computarizada (TC).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados indican que la incorporación de la mezcla de arcillas en el hidrogel a base de goma de angico aumentó significativamente la capacidad de adsorción del fármaco ciprofloxacino en comparación con el hidrogel sin arcilla. Esta mejora en la capacidad de adsorción, que aumentó de 36,97 mg g⁻¹ a 178,67 mg g⁻¹, se atribuye a la presencia del MIN-NS, que contribuyó a una mayor área superficial y sitios activos adicionales, favoreciendo la interacción con el ciprofloxacino, especialmente en condiciones de pH 4. Este pH específico potencia la adsorción debido a la protonación de los grupos funcionales tanto en la superficie del adsorbente como en la molécula del fármaco, promoviendo interacciones electrostáticas más fuertes. El análisis cinético, ajustado al modelo de pseudo-segundo orden, sugiere que el proceso de adsorción está controlado, en gran parte, por interacciones químicas específicas entre el HGA-MIN y el ciprofloxacino, indicando que existe una afinidad considerable entre el material adsorbente y el contaminante. Este ajuste, junto con el buen desempeño en el modelo de Langmuir, refuerza la hipótesis de que el proceso de adsorción ocurre en sitios homogéneos. La TG evidenció la incorporación del compuesto inorgánico, con un aumento en el residuo del HGA-MIN en comparación con el HGA. Este comportamiento térmico sugiere que la mezcla de arcillas confiere mayor estabilidad térmica al hidrogel. Además, la TC reveló una reducción del 58% en la porosidad del HGA-MIN, evidenciando que la ocupación de los poros por la arcilla resulta en un material con una estructura más densa. Esta característica, aunque reduce la porosidad aparente, parece haber favorecido la formación de una matriz adsorbente más eficaz, posiblemente mejorando el acceso del ciprofloxacino a los sitios activos en las superficies internas de la estructura densa.

CONCLUSIONES

Los datos indican que el HGA-MIN es un material prometedor para la adsorción de ciprofloxacino, mostrando una capacidad de adsorción considerablemente superior al HGA. La incorporación de la mezcla de arcilla mejoró el rendimiento del hidrogel, convirtiéndolo en una alternativa eficiente para reducir los impactos ambientales causados por contaminantes emergentes.

REFERENCIAS

- Carvalho, I. C., Medeiros Borsagli, F. G. L., Mansur, A. A. P., Caldeira, C. L., Haas, D. J., Lage, A. P., Ciminelli, V. S. T., Mansur, H. S. (2021): 3D sponges of chemically functionalized chitosan for potential environmental pollution remediation: biosorbents for anionic dye adsorption and 'antibiotic-free' antibacterial activity. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 42(13), 2046–2066. <https://doi.org/10.1080/09593330.2019.1689302>
- Rodrigues, H., Lima, I. S., Neris, L. M. L., Silva, A. S., Santos Nascimento, A. M. S., Araújo, F. P., Ratke, R. F., Silva, D. A., Osajima, J. A., Bezerra, L. R., & Silva-Filho, E. C. (2021): Superabsorbent Hydrogels Based to Polyacrylamide/Cashew Tree Gum for the Controlled Release of Water and Plant Nutrients. *Molecules*, 2680. <https://doi.org/10.3390/molecules26092680>
- Sayyar, Z., Hosseini, Z., Mohammadzadeh Pakdel, P., & Hassani, A. (2024): Preparation of novel and low-cost chitosan modified with montmorillonite/ZnO hydrogel nanocomposite for adsorption of ciprofloxacin from water. *Journal of Water Process Engineering*, 63. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105449>