

Residuos agrícolas: El carbón activado, una solución para el tratamiento de aguas residuales

Alejandro David Ortiz-Marin¹, Oscar Joaquín Solís-Marcial², Leonel E. Amabilis-Sosa³

Introducción

25

Debido a la alta demanda de alimentos y agua en todo el mundo, hoy se generan grandes cantidades de residuos orgánicos y aguas residuales en el sector agropecuario, especialmente después de la cosecha y durante el procesamiento de los productos agrícolas. Estos residuos pueden ser cáscaras, rastrojo, mazorca de maíz, bagazo, entre otros. Muchos de estos residuos no se aprovechan, aunque tienen un gran potencial para ser transformados en materiales útiles como el carbón activado. Gracias a sus características lignocelulósicas, estos residuos pueden convertirse en poderosos materiales adsorbentes o catalíticos que ayudan a limpiar el agua contaminada. Así, lo que antes se consideraba basura puede convertirse en una solución sostenible para el tratamiento de aguas residuales.

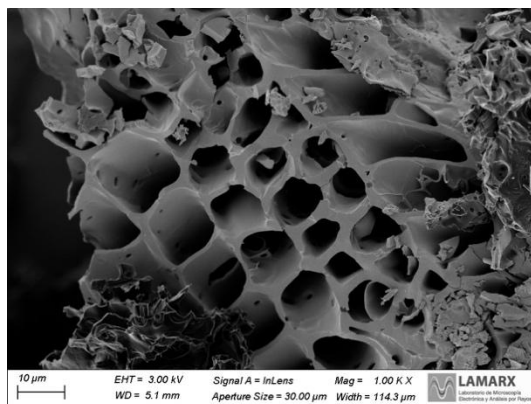


Figura 1. Micrografía de carbón activado producido a partir de la cáscara de cacahuete tomada por un microscopio electrónico de barrido de alta resolución.

Residuos lignocelulósicos

Estos residuos contienen celulosa, hemicelulosa y lignina como sus componentes principales, lo que les confiere propiedades especiales para ser transformados en materiales útiles, como el carbón activado. Al someter estos residuos a procesos de carbonización en ausencia de oxígeno (pirólisis), lo que ayuda a generar el biocarbón y posteriormente la activación mediante agentes activantes (compuestos que ayudan a que el biocarbón sea más activo químicamente) como el hidróxido de potasio (KOH) (Fermanelli y col. 2022). En este proceso de activación se forma una estructura altamente porosa que les confiere una gran capacidad de adsorción (retención de compuestos en la superficie del material). Además, esta porosidad (forma de panal de abejas) los hace ideales para usarse como soporte de compuestos en la fabricación de catalizadores (Cano y col. 2025). En la Figura 1 muestra una micrografía de un carbón activado derivado de la cáscara de cacahuete.

Propiedades adsorbentes del carbón activado

El carbón activado tiene una increíble capacidad para atrapar y retener sustancias en su superficie, gracias a su estructura altamente porosa. Estas diminutas cavidades actúan como una esponja, atrapando contaminantes, colorantes, metales pesados y otras impurezas presentes en el agua. Su gran área superficial y su composición química lo convierten en un material muy eficiente para limpiar líquidos y gases. Un solo gramo de carbón activado puede tener entre 500 y 1500 m² de superficie interna (área superficial), lo que permite retener una gran cantidad de compuestos, incluso a bajas concentraciones. Por ello, se usa ampliamente en el tratamiento de aguas residuales, filtros de aire, medicamentos y productos de consumo diario como los filtros de carbón para agua potable. La superficie del carbón contiene grupos funcionales (como carboxilos, hidroxilos, etc.) que pueden atraer o interactuar con distintos tipos de contaminantes, como metales pesados, colorantes, plaguicidas o compuestos orgánicos. En la Figura 2 se muestran las principales características del carbón activado (Amabilis-Sosa y col., 2022).



Figura 2. Principales propiedades del carbón activado como adsorbente.

Un material poroso clave para catalizadores más eficientes.

El carbón activado no solo sirve para atrapar metales pesados, también puede ayudar a eliminar contaminantes actuando como catalizador. Esto significa que, si se combina con ciertas sustancias, puede provocar reacciones químicas que transforman los contaminantes en compuestos menos dañinos. En el caso del tratamiento de aguas residuales, suceden reacciones de oxidación-reducción y son muy útiles porque permiten limpiar el agua de muchas sustancias peligrosas. Así, el carbón activado no solo retiene lo que contamina, sino que también ayuda a descomponerlo. En algunas ocasiones estos materiales se usan para impregnarse de metales de transición (p.ej. Cobre, Hierro, Níquel, entre otros) para que actúen como especies catalizadoras en combinación con algún agente oxidante p.ej. H₂O₂ (agua oxigenada) y se generen especies altamente oxidantes como lo son los radicales hidroxilos y actúen en la eliminación de la materia orgánica y compuestos inorgánicos. En la Figura 3 se muestra una microfotografía de carbón activado tomada con un microscopio electrónico de barrido (SEM) a un aumento de 5000 veces. Se observa una superficie con una estructura porosa y rugosa, característica de este material. Sobre esta superficie se encuentran distribuidas pequeñas partículas de cobre (Cu). Estas partículas se incorporaron al carbón activado para mejorar sus propiedades, ya que el cobre puede actuar como catalizador en reacciones químicas. Esta modificación permite que el material no solo atrape contaminantes, sino que también ayude a descomponerlos, lo que es especialmente útil en el tratamiento de aguas residuales (Shi y col., 2022).

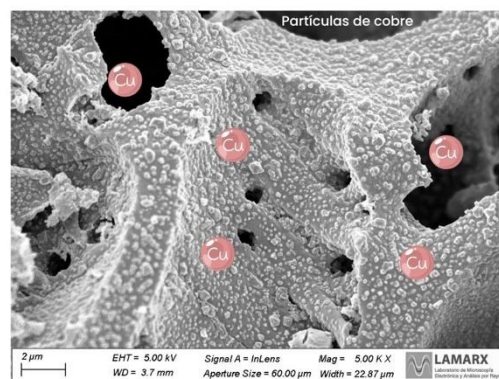


Figura 3. Micrografía de carbón activado tomada por un microscopio electrónico de barrido con partículas de cobre.

Por otro lado, los compuestos inorgánicos pueden ser oxidados a moléculas menos dañinas, por ejemplo, el nitrógeno y fósforo que estén combinados con los compuestos orgánicos se convierten en nitratos y fosfatos, moléculas asequibles a microorganismos y plantas sin causar algún daño.

Eficiencia en el tratamiento de aguas residuales industriales y agropecuarias

Hoy en día, muchos contaminantes nuevos y peligrosos están llegando al agua, como medicamentos, colorantes, plaguicidas, hormonas y antibióticos. Estos compuestos son difíciles de eliminar con los métodos tradicionales de tratamiento, que ya no son lo suficientemente efectivos. Por eso, se han desarrollado nuevas tecnologías que permiten limpiar el agua de forma más eficiente. Además, estas soluciones buscan ser sostenibles, ayudando a cuidar el medio ambiente y formando parte de una economía más responsable, en la que se aprovechan mejor los recursos y se reducen los impactos negativos. La aplicación de residuos orgánicos para producir carbón activado y posteriormente catalizadores que ayuden a eliminar contaminantes de mucha estabilidad química en el agua residual ha generado mucho interés en los últimos años. Sin embargo, la aplicación de estas tecnologías aún sigue en investigación para estudiar su viabilidad económica e industrial en entornos reales.

Conclusiones

La valorización de residuos lignocelulósicos como cáscaras, rastrojo o bagazos permite producir materiales innovadores para eliminar contaminantes persistentes de aguas residuales, especialmente en sectores industrial y agropecuario. El carbón activado, especialmente cuando se modifica con metales de

transición, combina propiedades adsorbentes y catalíticas, ofreciendo una solución sostenible para el cuidado del agua, la protección ambiental y el impulso de la economía circular.

Palabras clave: residuos agrícolas; carbón activado; catalizador; tratamiento de aguas residuales.

¹ **Alejandro David Ortiz Marín:** Doctor en Ciencias de la Ingeniería, con experiencia internacionales y un posdoctorado en el CITEQ-CONICET-UTN, Argentina. Miembro del SNII nivel I. Su investigación se centra en el tratamiento de aguas residuales mediante procesos de oxidación avanzada y en la valorización de residuos agrícolas para el tratamiento de aguas residuales. Adscrito a la SECIHTI. Contacto: d19171356@itculiacan.edu.mx

² **Oscar Joaquín Solís Marcial:** Doctor en Ciencias y docente de la carrera de Ingeniería Metalúrgica en la UPIIZ-IPN, Campus Zacatecas. Su línea de investigación se centra en hidrometalurgia y electrocoagulación. Adscrito a la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Zacatecas, IPN. Contacto: oisolis@ipn.mx

³ **Leonel E. Amábilis Sosa:** Sus líneas de investigación incluyen: Optimización de procesos biológicos para el tratamiento de aguas residuales con compuestos recalcitrantes, Movilidad y transporte de contaminantes en cuencas hidrológicas y Evaluación de procesos para la recuperación de nutrientes. Adscrito al TecM-IT Culiacán y SECIHTI. Contacto: leonel.as.@culiacan.tecnm.mx

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo recibido a través de la beca de posdoctorado otorgada por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (CVU: 774443), así como el respaldo del programa Investigadores por México (7057).

Lecturas recomendadas

Amabilis-Sosa, L. E., Valenzuela, E. I., Quezada-Renteria, J. A. y Pat-Espadas, A. M., 2022. Biochar-Assisted Bioengineered Strategies for Metal Removal: Mechanisms, Key Considerations, and Perspectives for the Treatment of Solid and Liquid Matrixes. *Sustainability*, 14(24), p. 17049. [en línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su142417049>

Cano, F. J., Reyes Vallejo, O. y Adhikari, A., 2025. Nanoadsorbentes al rescate del agua. *Revista Divulgación de Ciencia y Educación*, 2(3), pp. 47-49.

Fermanelli, C. S., Chiappori, A., Pierella, L. B. y Saux, C., 2022. Transformación de residuos agrícolas en productos de valor añadido mediante pirolisis catalítica. *Sustainable Environment Research*, 32(3). [en línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s42834-021-00112-9>

Shi, Q., Deng, S., Zheng, Y., Du, Y., Li, L., Yang, S., Zhang, G., Du, L., Wang, G., Cheng, M. y Liu, Y., 2022. The application of transition metal-modified biochar in sulfate radical-based advanced oxidation processes. *Environmental Research*, 212, 113340. [en línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113340>

vera Raza, B. B., Mero Intriago, R. A., Burgos Briones, G. A. y Cevallos Cedeño, R. E., 2022. Lignocellulosic waste and activated carbon production method. *Minerva*, 1(Special), pp. 122-130. [en línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.47460/minerva.v1iSpecial.87>