

MATERIALES ADSORBENTES DERIVADOS DEL CARBÓN PARA LA REMOCIÓN DE COLORANTES DE MEDIOS ACUOSOS

CARBON-DERIVED ADSORBENT MATERIALS FOR THE REMOVAL
OF DYES OF AQUEOUS MEDIA

DE LA PEÑA AGUIRRE, Daniel¹

MÚZQUIZ RAMOS, Elia Martha¹

COVARRUBIAS GORDILLO, Carlos
Andrés²

CRUZ ORTIZ, Brenda Rogelina¹

CANO SALAZAR, Lucía Fabiola¹

RESUMEN

La escasez de agua limpia es una problemática prioritaria, ya que los seres vivos no pueden subsistir sin ella. El agua se encuentra contaminada, principalmente, por metales pesados, compuestos inorgánicos y orgánicos, así como por colorantes, proviene en su mayoría de diversas industrias como lo son la textil, la alimenticia, entre otras. Existen diversas técnicas para remover estos contaminantes, entre ellas, el método de adsorción que, por ser flexible, de bajo costo y de fácil operación, destaca sobre las demás. Existen diversos materiales adsorbentes, no obstante, los materiales derivados del carbón tienen ciertas características idóneas para esta aplicación, como una amplia área superficial específica, distinto tamaño de poro, diversos grupos funcionales en el material, entre otros. El objetivo de esta revisión bibliográfica es presentar diferentes materiales adsorbentes derivados del carbón, obtenidos de diversas fuentes y con características fisicoquímicas distintas, utilizados en la remoción de colorantes, así como su capacidad de adsorción y las condiciones óptimas de trabajo.

Palabras clave: colorantes; carbón; adsorción; contaminación; agua.

ABSTRACT

The shortage of clean water is a priority problem since living beings cannot survive without it. The water is mainly contaminated by heavy metals, inorganic and organic compounds, and organic dyes from various industries, such as textiles and food. There are various techniques to remove these contaminants,

Correspondencia
emuzquiz@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0001-8626-678X>
Fecha de recepción
14 de noviembre de 2025.
Fecha de aceptación
14 de enero de 2026.

among them, the adsorption method, which, because it is flexible, low-cost, and easy to operate, stands out above the rest. There are various adsorbent materials; however, materials derived from carbon have certain characteristics ideal for this application, such as a large specific surface area, different pore sizes, various functional groups in the material, among others. The objective of this review is to show different adsorbent materials derived from carbon obtained from different sources and with various physicochemical characteristics, used in the removal of dyes, as well as their adsorption capacities and optimal working conditions.

Keywords: dyes; carbon; adsorption; pollution; water.

INTRODUCCIÓN

El medio ambiente está deteriorándose por los avances de la industria, la vida doméstica y la tecnología que carecen de compromiso y conciencia ambiental (Thara & Mathew, 2024). La contaminación del agua se ha convertido en un importante desafío impulsado principalmente por el uso generalizado de productos químicos en diversas industrias y prácticas agrícolas (Dwivedi y Pandey, 2024).

De entre las múltiples industrias, la industria textil es una de las más antiguas y populares, y junto con el uso excesivo de colorantes (actualmente, se utilizan más de 10.000 colorantes en todo el mundo), ha generado una problemática importante: el desecho de tintes en aguas residuales, contribuyendo significativamente a la contaminación del medio ambiente y efectos perjudiciales en la salud. Cuando estos químicos nocivos se acumulan en los cuerpos de agua, ponen en peligro los ecosistemas acuáticos (Fadhila y col., 2024). Al reducir la penetración de la luz, disminuye significativamente la actividad fotosintética de la vida acuática.

El proceso de adsorción con materiales derivados del carbón ha demostrado ser una alternativa viable para tratar la problemática, por su alto rendimiento, selectividad, flexibilidad y diseño simple de operación sin producir residuos peligrosos, esto gracias a la gran área superficial, diferente tamaño de poro, y grupos funcionales que presentan (Neolaka y col., 2021).

CONTAMINACIÓN DEL AGUA

El agua es uno de los recursos naturales más importantes a los que los seres vivos tienen acceso. Esta proviene de una variedad de cuerpos de agua, como ríos, lagos, pozos y manantiales naturales. Lamentablemente, pueden contaminarse fácilmente con residuos procedentes de diversas fuentes de origen antropogénico. Algunos de estos problemas se deben a la falta de medidas de seguridad asociadas a la producción, uso y eliminación de muchos compuestos orgánicos e inorgánicos.

Las aguas residuales de diferentes industrias, como la de la fabricación de textiles, fibras y plásticos, la curtiduría, las baterías y la de pinturas, están altamente cargadas de pigmentos, colorantes y metales pesados. Estos contaminantes son bioacumulables y presentan una toxicidad grave en el medio ambiente, por lo que la descarga de estas aguas residuales sin ningún tratamiento causa graves daños a los recursos hídricos y acuáticos (Choudhary y col., 2020).

TIPOS DE CONTAMINANTES

Los iones de metales pesados, como contaminantes inorgánicos del agua, tienen un gran impacto y riesgo para la salud. Algunas de sus propiedades son la alta toxicidad y su capacidad de acumularse dentro de los tejidos de los organismos vivos, provocando la destrucción tanto de las células sanguíneas como las del sistema nervioso central (Abukhadra y col., 2020).

Por su parte, la amplia presencia de colorantes orgánicos en las aguas residuales de industrias como la textil, ~~te~~ del papel y de la moda causan contaminación ambiental. Los efluentes de colorantes contienen sustancias nocivas y compuestos cancerígenos que suponen graves riesgos para la salud (Lanjwani y col., 2024).

Hay muchos colorantes comerciales disponibles en el mercado global, que se pueden clasificar según su estructura química, como colorantes aniónicos o catiónicos, y también según el método de aplicación al que están sujetos en la industria (Esteban y col., 2018). Los colorantes son compuestos que se utilizan para impartir color a diferentes sustancias o materiales. Estos son utilizados en diversos procesos a través de industrias como la automotriz, farmacéutica, plástica, imprenta, curtiduría de cuero y textil, entre otras. En promedio, en una fábrica de teñido y acabado se consumen cien litros de

agua por cada tonelada de tela procesada (Carvallho y col., 2016). A continuación, en la Figura 1, se muestran las estructuras químicas de distintos colorantes.

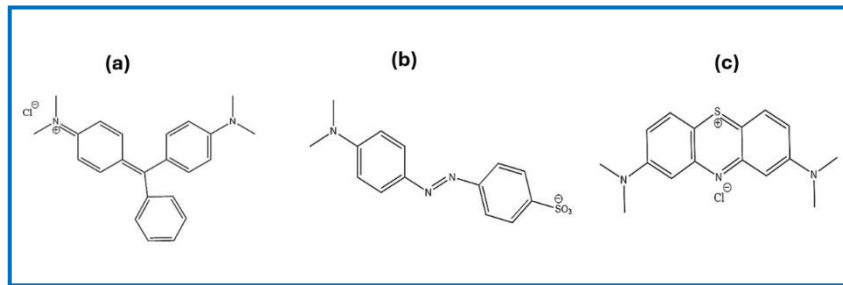


Figura 1. Estructuras de los colorantes (a): Verde Malaquita, (b): Naranja de Metilo, (c): Azul de Metileno (elaboración propia).

MÉTODOS DE ELIMINACIÓN

Actualmente, una serie de tecnologías que incluyen, filtración por membrana, electrocoagulación, intercambio iónico, oxidación avanzada y adsorción, se encuentran en uso para tratar aguas residuales cargadas de contaminantes orgánicos e inorgánicos (Choudhary y col., 2020).

La técnica en la que se basa esta revisión es la adsorción, ya que es un método que no requiere muchos pasos y el costo de operación es bajo. La adsorción es la atracción y/o unión en la superficie del adsorbente, la absorción es el proceso por el cual el soluto pasa a través de una membrana o es absorbido en una estructura (Musah y col., 2022).

Las interacciones que se tienen en la adsorción son dos: química y física. Si la adsorción se lleva a cabo de forma física, es por medio de fuerzas electrostáticas o de van der Waals; por el contrario, si se lleva a cabo de forma química, se forman enlaces covalentes entre el adsorbente y el adsorbato.

MATERIALES ADSORBENTES

La fuente de materiales adsorbentes puede variar de materiales naturales a materiales sintéticos; pueden ser crudos, física y/o químicamente modificados, estructuras y materiales compuestos. Algunos de los materiales que se utilizan con frecuencia son los materiales silíceos, arcillosos (caolinita, bentonita, zeolitas), biomasa/biocarbón, estructuras organometálicas (MOF), polímeros (biopolímeros, fibras sintéticas, geopolímeros, hidrogeles, aerogeles), carbón activado, nanomateriales de carbono (nanotubos, nanofibras, grafeno), entre

otros (Pellenz y col., 2023), Un buen adsorbente debe tener alta área superficial, porosidad accesible, afinidad y selectividad por el contaminante, estabilidad físico-química, capacidad de regeneración, buena conductividad térmica para manejar el calor del proceso, bajo costo y no tóxico.

MATERIALES ADSORBENTES DERIVADOS DEL CARBÓN

El carbón se ha utilizado desde hace tiempo para eliminar contaminantes del agua. Uno de los principales derivados de este material es el carbón activado, proveniente de un sinfín de materias primas como la madera, las cáscaras de frutos, brotes de bambú, entre otras (Li y col., 2022). No obstante, se ha identificado el reciente uso y desarrollo de alótropos de carbono (formas puras del mismo elemento que difieren en la estructura) como materiales adsorbentes; entre ellos se encuentran el grafito, los fullerenos, los nanotubos de carbono, el grafeno, el óxido de grafeno y las nanoplaquetas de grafeno, que difieren en geometría: esféricas, fibrilares y laminares. Dichas diferencias, les proporcionan propiedades únicas y diferentes, entre las que destacan su alta resistencia mecánica, conductividad térmica y eléctrica, elevada área superficial, actividad antimicrobiana, entre otras. A continuación, se detallan brevemente los alótropos utilizados/estudiados con más frecuencia para la adsorción de contaminantes en agua:

- El grafeno (G) es un material biocompatible, no tóxico, constituido por una hoja de un solo átomo de carbono de espesor. Está constituido por átomos de carbono unidos por enlaces sp^2 , que forman una red cristalina hexagonal (Reina y col., 2017). Su gran área superficial específica de $\sim 2630 \text{ m}^2/\text{g}$, lo hace un material idóneo para la adsorción de metales o colorantes catiónicos (D. Zhang y col., 2018).
- El óxido de grafeno es un derivado del grafeno producido por oxidación térmica y exfoliación del grafito (He Kai y col., 2018). Este material está constituido por una monocapa de carbono con un alto contenido de oxígeno en forma de grupos funcionales activos caracterizados por sus enlaces C-O. Algunos de los grupos funcionales son hidroxilo (-OH); éteres (-O-); ácidos carboxílicos (-COOH); dióles, etc. (Eltaweil et al., 2020).
- Las nanoplaquetas de grafeno son un material con una estructura tridimensional de carbono con múltiples capas de grafeno apiladas, con un espesor inferior a 100 nm, la gran disponibilidad de sitios de defectos (-grupos funcionales), flexibilidad, tamaño de poro, resistencia mecánica y conductividad lo hacen un material con



propiedades de adsorción ideal para la remoción de colorantes orgánicos catiónicos.

MATERIALES DERIVADOS DEL CARBÓN PARA LA REMOCIÓN DE COLORANTES

En 2020 Choudhary y col. reporta el uso de biocarbón proveniente de *opuntia ficus-indica*, así como este mismo activado con hidróxido de sodio (NaOH) para la adsorción del colorante verde malaquita y otros metales. Los autores reportaron una capacidad de adsorción de 49 mg/g de Cu^{+2} y de 1341 mg/g para el colorante verde malaquita a una temperatura de 30°C (Choudhary y col., 2020).

Qu y col. en 2019 hicieron un estudio de propiedades de adsorción de verde malaquita con carbón activado. Los autores concluyeron que se pueden adsorber hasta 91 mg/g con las siguientes condiciones T de 45 °C, un pH cercano a 7 y tiempo de 24 h (Qu y col., 2019).

En 2019 Zhang y colaboradores. Reportan el uso de una espuma de carbono cargada con óxido de magnesio para remover verde malaquita, obteniendo que este material puede adsorber hasta el 85% de este contaminante con las siguientes condiciones: temperatura de 20 °C, un pH cercanos a 6 y con una capacidad máxima de adsorción de 1874 mg/g (Chen y col., 2019).

Rabita Mohd Firdaus y colaboradores en 2019 reportan que el uso de nanoplaquetas de grafeno modificadas, es un material viable para la remoción de azul de metileno a una temperatura de 60 °C con un pH de 3.5 y un tiempo de contacto de 45 minutos, logrando remover hasta un 88% del colorante (Firdaus y col., 2019).

En 2018 Adisak Siyasukh y colaboradores reportan el uso de esferas de carbono porosa jerárquica magnética para la eliminación del colorante naranja de metilo con una eficiencia del 95% de eliminación a 30 °C y un tiempo de contacto de 48 h (Adisak Siyasukh y col., 2018).

Ye Xiao y Hill, en 2017, reportan el uso de carbón mesoporoso con óxido de hierro (Fe_2O_3) para la sustracción de metilo de naranja, con una eficiencia del 80%. Las condiciones experimentales fueron de 25 °C, un pH 3 y 30 min de contacto (Xiao & Hill, 2017).

En la Tabla 1, se muestran diferentes trabajos con materiales derivados del carbón, además de las condiciones óptimas de temperatura, pH, y tiempo de contacto, así como la capacidad de adsorción en el equilibrio y máxima de los distintos materiales con los colorantes.

Tabla 1. Ejemplos de distintos materiales adsorbentes

Material adsorbente	Condiciones de operación T (°C) pH Tc (min)	Adsorción en el equilibrio (mg/g)	Cap. máx. de adsorción (mg/g)	Colorante	Referencia
Óxido de grafeno reducido	- 6 600	190	476	VM	(Gupta & Khatri, 2017)
Nanocompositos de polihidroqui-nona y grafeno	- - 57	688	948	VM	(Mkrtychyan y col., 2019)
Espuma de car-bono con MgO	20 6 -	1874	2301	VM	(Zhang y col., 2017)
Carbón activado	45 7 1440	91	-	VM	(Qu y col., 2019)
Biocarbón activado	30 6 -	49	1341	VM	(Choudhary y col., 2020)
Nanoplaquetas de grafeno modificadas	60 3.5 55	155	-	AM	(Firdaus y col., 2019)
Esfera de carbono porosa jerárquica magnética	30 - 2880	16	1523	NM	(Siyasukh y col., 2018)
Carbón mesoporoso con Fe ₂ O ₃	25 3 30	362	-	NM	(Xiao & Hill, 2017)
Nanoplaquetas de grafeno	40 7 600	540	1000	VM	(de la Peña-Aguirre y col., 2025)

Tc: Tiempo de contacto, VM: Verde Malaquita, AM: Azul de Metileno, NM: Naranja de Metilo

Como se observa en la Tabla 1, el mejor material derivado del carbono para la eliminación de colorante VM es una espuma de carbono con MgO eliminando más de 1.8 g del contaminante con una temperatura ambiente a comparación de otros donde es necesario aumentar la temperatura, o modificando el pH.

CONCLUSIONES

La adsorción es un proceso prometedor para la remoción de colorantes provenientes de diversas industrias, ya que es una técnica amigable, económica y de fácil operación. Dentro de los diversos materiales que se han

utilizado para la adsorción de colorantes, se ha demostrado por medio de la literatura que, los materiales a base de carbono por sus excelentes características fisicoquímicas son prospectos interesantes y viables para la eliminación de colorantes del agua.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Maestría en Ciencia y Tecnología de los Materiales de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila por proporcionar un entorno académico que fomenta el aprendizaje y la investigación. Daniel de la Peña Aguirre agradece a la SECIHTI por la beca otorgada para sus estudios del posgrado. Los autores agradecen a la Universidad Autónoma de Coahuila por el apoyo financiero otorgado a través del proyecto DIP-UADEC C01-2024-9.

REFERENCIAS

- Abukhadra, M. R., Adlii, A., El-Sherbeeney, A. M., Ahmed Soliman, A. T., & Abd Elgawad, A. E. (2020). Promoting the decontamination of different types of water pollutants (Cd²⁺, safranin dye, and phosphate) using a novel structure of exfoliated bentonite admixed with cellulose nanofiber. *Journal of Environmental Management*, 273: 111130. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111130>
- Carvallho, M. N., Da Silva, K. S., Sales, D. C. S., Freire, E. M. P. L., Sobrinho, M. A. M., & Ghislandi, M. G. (2016). Dye removal from textile industrial effluents by adsorption on exfoliated graphite nanoplatelets: Kinetic and equilibrium studies. *Water Science and Technology*, 73(9): 2189–2198. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.073>
- Chen, Y., Jing, C., Zhang, X., Jiang, D., Liu, X., Dong, B., Feng, L., Li, S., & Zhang, Y. (2019). Acid-salt treated CoAl layered double hydroxide nanosheets with enhanced adsorption capacity of methyl orange dye. *Journal of Colloid and Interface Science*, 548: 100–109. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2019.03.107>
- Choudhary, M., Kumar, R., & Neogi, S. (2020). Activated biochar derived from *Opuntia ficus-indica* for the efficient adsorption of malachite green dye, Cu⁺² and Ni⁺² from water. *Journal of Hazardous Materials*, 392: 122441. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122441>
- de la Peña-Aguirre, D., Cano-Salazar, L. F., Covarrubias-Gordillo, C. A., Flores-Guía, T. E., Claudio-Rizo, J. A., Cabrera-Munguía, D. A., Ávila-Orta, C. A., & Cruz-Delgado, V. J. (2025). Kinetic and Thermodynamic Study of the Adsorption of Malachite Green Dye



Using Graphene Nanoplatelets. *Green Energy and Environmental Technology*, 4: 5772. <https://doi.org/10.5772/geet.20250022>

Dwivedi, S., Pandey, G. (2024). Modulation of Photoactive Nanocomposite Cu Doped SnO₂ Anchored on G-C₃N₄ Polymeric Sheets by Green Synthesis and Degradation of Dye Malachite Green Modulation of Photoactive. *Article in International Journal on Engineering Science and Technology*, 6 (1): 18-39. <https://doi.org/10.46328/ijonest.201>

Eltaweil, A. S., Elgarhy, G. S., El-Subruiti, G. M., & Omer, A. M. (2020). Carboxymethyl cellulose/carboxylated graphene oxide composite microbeads for efficient adsorption of cationic methylene blue dye. *International Journal of Biological Macromolecules*, 154: 307–318. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.122>

Fadhila, F. R., Umar, A., Chandren, S., Apriandanu, D. O. B., & Yulizar, Y. (2024). Biosynthesis of CoCr₂O₄/ZnO nanocomposites using Basella alba L. leaves extracts with enhanced photocatalytic degradation of malachite green in aqueous media. *Chemosphere*, 352: 141215. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141215>

Firdaus, R. M., Rosli, N. I. M., Ghanbaja, J., Vigolo, B., & Mohamed, A. R. (2019). Enhanced adsorption of methylene blue on chemically modified graphene nanoplatelets thanks to favorable interactions. *Journal of Nanoparticle Research*, 21(12): 257. <https://doi.org/10.1007/s11051-019-4701-4>

Gupta, K., & Khatri, O. P. (2017). Reduced graphene oxide as an effective adsorbent for removal of malachite green dye: Plausible adsorption pathways. *Journal of Colloid and Interface Science*, 501: 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.04.035>

Lanjwani, M. F., Tuzen, M., Khuhawar, M. Y., & Saleh, T. A. (2024). Trends in photocatalytic degradation of organic dye pollutants using nanoparticles: A review. In *Inorganic Chemistry Communications* (Vol. 159). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2023.111613>

Li, Z., Luo, X., & Li, Y. (2022). Reed Rhizome Residue-Based Activated Carbon Adsorption Ultrafiltration Membranes for Enhanced MB Removal. *ACS Omega*, 7(48): 43829–43838. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c04968>

Mkrtchyan, E., Burakov, A., & Burakova, I. (2019). The Adsorption of Malachite Green on Graphene Nanocomposites: A Study on Kinetics Under Dynamic Conditions. In *Materials Today: Proceedings* (Vol. 11). www.sciencedirect.com/www.materialstoday.com/proceedings2214-7853

Musah, M., Azeh, Y., Mathew, J., Umar, M., Abdulhamid, Z., & Muhammad, A. (2022). Adsorption Kinetics and Isotherm Models: A Review. *Caliphate Journal of Science and Technology*, 4(1): 20–26. <https://doi.org/10.4314/cajost.v4i1.3>

Neolaka, Y. A. B., Lawa, Y., Naat, J., Riwu, A. A. P., Darmokoesoemo, H., Widyaningrum, B. A., Iqbal, M., & Kusuma, H. S. (2021). Indonesian Kesambi wood (*Schleichera oleosa*) activated with pyrolysis and H₂SO₄ combination methods to produce mesoporous



activated carbon for Pb(II) adsorption from aqueous solution. *Environmental Technology and Innovation*, 24: 101997. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101997>

Pellenz, L., de Oliveira, C. R. S., da Silva Júnior, A. H., da Silva, L. J. S., da Silva, L., Ulson de Souza, A. A., de Souza, S. M. de A. G. U., Borba, F. H., & da Silva, A. (2023). A comprehensive guide for characterization of adsorbent materials. In *Separation and Purification Technology* (Vol. 305). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.122435>

Qu, W., Yuan, T., Yin, G., Xu, S., Zhang, Q., & Su, H. (2019). Effect of properties of activated carbon on malachite green adsorption. *Fuel*, 249: 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.03.058>

Reina, G., González-Domínguez, J. M., Criado, A., Vázquez, E., Bianco, A., & Prato, M. (2017). Promises, facts and challenges for graphene in biomedical applications. *Chemical Society Reviews*, 46(15): 4400–4416. <https://doi.org/10.1039/c7cs00363c>

Siyasukh, A., Chimupala, Y., & Tonanon, N. (2018). Preparation of magnetic hierarchical porous carbon spheres with graphitic features for high methyl orange adsorption capacity. *Carbon*, 134: 207–221. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2018.03.093>

Thara, C. R., & Mathew, B. (2024). Microwave synthesized N-doped carbon dots for dual mode detection of Hg(II) ion and degradation of malachite green dye. *Talanta*, 268: 125278. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2023.125278>

Xiao, Y., & Hill, J. M. (2017). Impact of Pore Size on Fenton Oxidation of Methyl Orange Adsorbed on Magnetic Carbon Materials: Trade-Off between Capacity and Regenerability. *Environmental Science and Technology*, 51(8): 4567–4575. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00089>

Zhang, D., Wu, X., Chen, J., & Lin, K. (2018). The development of collagen based composite scaffolds for bone regeneration. *Bioactive Materials*, 3(1): 129–138. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2017.08.004>

Zhang, L., Zhang, Y., Cheng, J., Wang, L., Wang, X., Zhang, M., Gao, Y., Hu, J., Zhang, X., Lü, J., Li, G., Tai, R., & Fang, H. (2017). Inert Gas Deactivates Protein Activity by Aggregation. *Scientific Reports*, 7(1): 10176. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-10678-3>