

## CAPÍTULO 1

# Marco Teórico

### *Theoretical Framework*

**Yhors Alexander Ciro Monsalve**

Universidad Santiago de Cali. Colombia

© <https://orcid.org/0000-0003-4093-8696>

✉ [yhors.ciro00@usc.edu.co](mailto:yhors.ciro00@usc.edu.co)

## **Contaminantes Emergentes**

El término “contaminantes emergentes” se refiere principalmente a los contaminantes para los cuales no existe actualmente ninguna reglamentación que exija la vigilancia o la notificación pública de su presencia en nuestro suministro de agua o aguas residuales. La Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) de los Estados Unidos define un contaminante emergente como una sustancia química o material que, debido a su origen reciente o a una nueva vía que se ha desarrollado y para el cual no existen normas sanitarias publicadas, es una amenaza potencial o real para la salud humana o el medio ambiente (Gogoi et al., 2018; Deviller, Lundy & Fatta-Kassinou, 2020).

Una clasificación de estos compuestos se presenta a continuación:

### **Cita este capítulo / Cite this chapter**

Ciro Monsalve, Y. A. (2026). Marco teórico. En: Ciro Monsalve, Y. A. (ed. científico). *Aprovechamiento de residuos agroindustriales para la biorremediación de fármacos en fuentes hídricas*. (pp. 19-28). Cali, Colombia: Universidad Santiago de Cali.

<b>Clase</b>	<b>Ejemplos</b>
Compuestos farmacéuticos	Antibióticos, antiinflamatorios, hormonas, fármacos psiquiátricos, drogas ilícitas, medicamentos de uso veterinario.
Cosméticos y productos de cuidado personal	Ingredientes cosméticos (parabenos, triclosán, bisfenol), filtros UV, desinfectantes, biocidas.
Compuestos industriales	Surfactantes, alquilfenoles, compuestos perfluorados, nanopartículas.
Otras sustancias	Elementos raros de la tierra, metaloides, microplásticos, radionúclido, envases para alimentos, inhibidores de corrosión.
Pesticidas	Fungicidas (Triazoles), herbicidas, insecticidas (Neonicotinoides) bactericidas, rodenticidas, nematicidas.
Agentes biológicos	Bacterias patógenas, microorganismos resistentes a múltiples fármacos, genes de resistencia a los antibióticos y de resistencia antifúngica.
Contaminantes orgánicos persistentes no intencionales	Dioxinas, dioxinas bromadas, hidrocarburos aromáticos policíclicos halogenados, naftalenos policlorados, radicales libres medioambientalmente persistentes.

### **Tabla 1.**

*Clasificación de los contaminantes emergentes, Adaptado de (Morin-Crini et al., 2022).*

La presencia de estos contaminantes en el medio ambiente es el resultado de la urbanización incontrolada, el desarrollo de la industria, las actividades de atención de la salud esenciales para apoyar el bienestar humano, la agricultura y el transporte. Estos se pueden encontrar en el agua en una amplia gama de concentraciones, del orden de ng/L a g/L, y sus efectos sobre los organismos vivos están asociados con efectos toxicológicos, disrupción endocrina, toxicidad aguda y crónica, resistencia de microorganismos a los antibióticos y amenazas para la salud humana (Gavrilescu et al., 2015; Geissen et al., 2015; Vasilachi et al., 2021).

## **Residuos Agroindustriales en Colombia**

Colombia es el séptimo país en el mundo con mayor disponibilidad de áreas para la agricultura (González, 2024), ya que cuenta con 114 millones de hectáreas de las cuales 39.2 millones pueden ser aprovechadas para prácticas agrícolas (Econexia, 2025).

Con esto, no es raro que Colombia sea uno de los mayores productores y exportadores de diferentes alimentos como el café, banano, aguacate, entre otros. Sin embargo, no todo lo que se cosecha se puede aprovechar ya que, se pueden generar desechos agrícolas e industriales. Los residuos agrícolas pueden ser residuos de campo, es decir, durante la cosecha como tallos, vainas de semillas, hojas, o pueden ser residuos de proceso que son los obtenidos luego de la transformación del cultivo en productos de valor (Morales & Arrieta, 2023).

Además, durante el transporte y el almacenamiento, algunos productos sufren daños mecánicos que los hacen no aptos para el consumo; asimismo, debido a los procesos de maduración, pueden alcanzar un estado de deterioro total. Esto sumado a que son insumos de diferentes industrias donde no aprovechan por completo el material generando desechos como cáscaras, semillas y pulpas (Gonzalez et al., 2017).

Hay reportes que en el país se producen alrededor de 71 millones de toneladas de residuos anuales derivados de las actividades de cultivos agrícolas como el plátano, caña de azúcar, banano, caña panelera, arroz, café, maíz o palma de aceite. A modo de ejemplo, se estima que para la producción de 1000 kg de azúcar se generan entre 30 a 65 toneladas de residuos (Romero-Sáez, 2022).

Además, estos residuos generan diversos problemas ambientales, ya que, al ser quemados o dispuestos en basureros, producen contaminación del suelo, del agua y de otros entornos naturales, afectando la flora y la fauna. Asimismo, pueden atraer roedores y otros vectores de enfermedades que impactan la salud humana y la economía (Aguilar et al., 2022).

No obstante, para mitigar los efectos de estos residuos, se han implementado diversas estrategias orientadas a su aprovechamiento, otorgándoles un segundo uso y convirtiéndolos en productos de valor agregado, lo que a su vez genera nuevas fuentes de empleo. Entre estas aplicaciones, se destaca su uso como insumos en la alimentación de distintas especies animales, como materias primas ricas en metabolitos secundarios con propiedades antioxidantes, como aditivos en materiales de construcción, en la producción de bioplásticos, como biomasa para la obtención de biocombustibles y en la generación de materiales adsorbentes con diversos enfoques, desde su aplicación en sistemas de tratamiento de aguas hasta su uso como materia prima en la industria farmacéutica y cosmética (Escobar & Almario, 2023).

De esta forma, en este libro se presenta la producción y caracterización de diferentes materiales adsorbentes, tipo carbones activados, a partir de desechos agroindustriales comunes en el país, para la evaluación de su potencial en la remoción de diferentes fármacos en fuentes hídricas.

## **Carbón Activado**

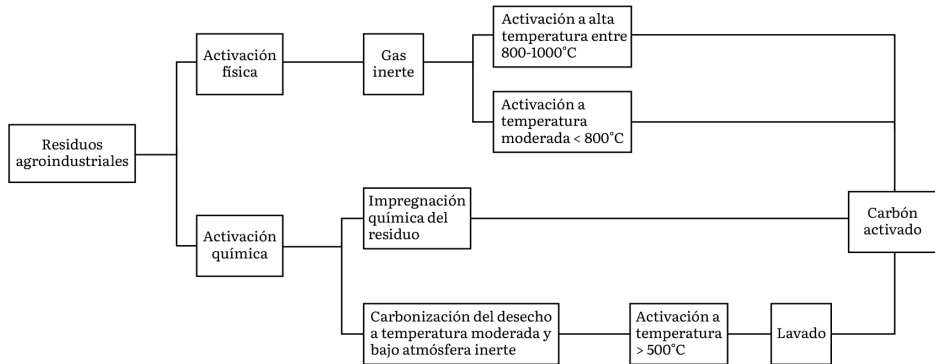
Los carbones activados son bien conocidos por su uso como adsorbentes a pesar de varias otras aplicaciones, principalmente debido a su naturaleza altamente porosa con una gran superficie para facilitar la adsorción (Ilomuanya et al., 2017; Sivanandan et al., 2018).

Hoy en día, se prefiere como material de partida diversos residuos agroindustriales debido a su bajo costo y a su reutilización en el ciclo productivo siguiendo los lineamientos de la economía circular. Además, los desechos de biomasa tienen varias propiedades que contribuyen a producir carbón activado con características eficientes, debido a las diferencias en la composición química de la biomasa lignocelulósica.

La síntesis de carbón activado se divide generalmente en dos vías principales: (1) activación física y (2) química. Las etapas de estos procesos se presentan a continuación:

**Figura 1.1**

Proceso de obtención del carbón activado.



Adaptado de (Gayathiri, Pulingam, Lee & Sudesh, 2022).

La carbonización elimina la humedad y las materias volátiles de los residuos de biomasa desarrollando poros por gasificación (Jjagwe et al., 2021). Durante la carbonización a alta temperatura de activación, se encontró que hubo una disminución de materia volátil y un aumento de carbono fijo (Aworn et al., 2008), por lo tanto, el material de partida con un alto contenido de cenizas y menos carbono fijo no es adecuado para generar carbón activado.

En contraste con la activación física, la activación química se lleva a cabo generalmente realizando de manera simultánea la carbonización y la activación mezclando agentes activadores químicos como el cloruro de cinc, el ácido fosfórico y el hidróxido de potasio, con los residuos agroindustriales. Este procedimiento presenta ventajas como la capacidad de completarse en un solo proceso a temperaturas más bajas, lo que resulta en la producción de un mejor carbón activado, con un mayor número de poros y los reactivos químicos utilizados en esta etapa se pueden recuperar para minimizar los efectos perjudiciales para el medio ambiente (Alzaydien, 2016). La etapa de activación química se lleva a cabo a temperaturas superiores a 500 °C seguida de la etapa de lavado para eliminar los restos de productos químicos de los residuos de biomasa carbonizados.

Además, factores como el tipo de activador químico utilizado durante la producción, tiempo de impregnación, temperatura y duración de carbonización, composición química de la materia prima y varios otros factores van a condicionar el desempeño del material obtenido.

## **Economía Circular**

En los últimos años diferentes crisis económicas, sociales y ambientales han golpeado a la humanidad (Persis et al., 2021), conllevando a una reflexión profunda de los modelos económicos que se tienen en la actualidad donde se utilizan recursos finitos para la producción de un bien, generando en el acto diferentes residuos (Ellen MacArthur Foundation, 2015). Con esto, surge la economía circular como una opción donde se reduce, reutiliza, repara, renueva, reutiliza y recicla en cada etapa de la cadena productiva, para así generar un circuito cerrado que minimice la generación de residuos y reduzca los costos productivos (Echefaj et al., 2024).

En un principio, en el ámbito de la gestión de residuos, se contemplaban las tres R: reducir, reutilizar y reciclar. Sin embargo, para abarcar una visión más amplia de la economía, se incorporaron tres principios adicionales, dando lugar al modelo de las seis R, que incluye el rediseño, la recuperación y la refabricación (Illankoon & Vithanage, 2023).

De esta forma, las cadenas de residuos circulares se resumen por (Yang et al. 2018) como: 1) Los ciclos internos se priorizan sobre los externos, como ejemplo: se prioriza la reutilización y la recuperación sobre el reciclaje; 2) Se ralentizan los ciclos utilizando los recursos durante el mayor tiempo posible; 3) Hay una reducción de los residuos en todas las etapas; y 4) Reducir, reutilizar, reciclar y recuperar recursos. Además, una cadena de suministro circular también se refiere al flujo de residuos y subproductos, creando un uso en cascada de los recursos (Loomba & Nakashima, 2012, Ellen MacArthur Foundation, 2015), afectando las etapas de adquisición,

producción y logística (Bag et al., 2022), reduciendo los costos mediante la optimización de recursos y la participación del cliente (Ortner et al., 2022).

De esta manera, se pueden generar nuevas fuentes de empleo a partir del aprovechamiento de recursos alternativos y la creación de nuevos productos, que incrementa la sensibilización de la comunidad frente a las consecuencias negativas de las prácticas tradicionales sobre el medio ambiente. Además, se abren nuevos mercados y se construye una imagen corporativa alineada con las tendencias de protección de los recursos renovables (Korhonen et al., 2018).

## Referencias Bibliográficas

- Aguilar, S., Enriquez, M. y Uvidia, H. (2022). Residuos agroindustriales: su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Científica de Investigación, Docencia y Proyección Social*, 27, 5-10. <https://doi.org/10.26621/ra.vli27.803>
- Alzaydien, A.S. (2016). Physical, chemical and adsorptive characteristics of local oak sawdust based activated carbons. *Asian Journal of Scientific Research*, 9, 45-56. <https://doi.org/10.3923/ajsr.2016.45.56>
- Aworn, A., Thiravetyan, P. y Nakbanpote, W (2008). Preparation and characteristics of agricultural waste activated carbon by physical activation having micro- and mesopores. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 82,(2), 279-285. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2008.04.007>
- Deviller, G., Lundy, L., & Fatta-Kassinos, D. (2020). Recommendations to derive quality standards for chemical pollutants in reclaimed water intended for reuse in agricultural irrigation. *Chemosphere*, 240, 124911. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124911>
- Econexia. (s.f.). ¿Qué papel juega el sector agrícola en la economía colombiana? <https://econexia.com/es/contenidos-articulo/agroindustria-y-alimentos/1262/Que-papel-juega-sector-agricola-en-economia-colombiana>

- Escobar, D. P. M., & Almario, Á. Á. A. (2023). Utilización de residuos agroindustriales en la elaboración de materiales. <https://doi.org/10.21892/9786287515413.10>
- Ellen MacArthur Foundation (EMAF), SUN, McKinsey & Co (2015). Growth Within: A Circular Economy Vision for a Competitive Europe.
- Gavrilescu, M., Demnerová, K., Aamand, J., Agathos, S., & Fava, F. (2015). Emerging pollutants in the environment: Present and future challenges in biomonitoring, ecological risks and bioremediation. *New Biotechnology*, 32, (1), 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2014.01.001>
- Gayathiri, M., Pulingam, T., Lee, K.T., & Sudesh, k. (2022). Activated carbon from biomass waste precursors: Factors affecting production and adsorption mechanism. *Chemosphere*, 294, 133764. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133764>
- Geissen, V., Mol, H., Klumpp, E., Umlauf, G., Nadal, M., Van Der Ploeg, M., Van De Zee, S. E., & Ritsema, C. J. (2015). Emerging pollutants in the environment: A challenge for water resource management. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(1), 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.03.002>
- Gogoi, A., Mazumder, P., Tyagi, V.K., Tushara, G.G.T., An, A.K., & Kumar, M. (2018). Occurrence and fate of emerging contaminants in water environment: a review. *Groundwater for Sustainable Development*, 6, 169180. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2017.12.009>
- Gonzalez, L. V. P., Gómez, S. P. M., & Abad, P. a. G. (2017). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 8(2), 141–150. <https://doi.org/10.22490/21456453.2040>
- González, X. (2024, May 24). “Colombia es el séptimo país en el mundo con mayor disponibilidad de tierra fértil para la agricultura” Redagrícola. <https://redagricola.com/colombia-es-el-septimo-pais-en-el-mundo-con-mayor-disponibilidad-de-tierra-fertil-para-la-agricultura/>

- Gu, J., Guo, F., Peng, X., & Wang, B. (2023). Green and Sustainable Construction Industry: A systematic literature review of the contractor's green construction capability. *Buildings*, 13(2), 470. <https://doi.org/10.3390/buildings13020470>
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2017). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
- Jjagwe, J., Olupot, P. W., Menya, E., & Kalibbala, H. M. (2021). Synthesis and Application of Granular Activated Carbon from Biomass Waste Materials for Water Treatment: A Review. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 6(4), 292–322. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2021.03.003>
- Ilomuanya, M., Nashiru, B., Ifudu, N., & Igwilo, C. (2016b). Effect of pore size and morphology of activated charcoal prepared from midribs of *Elaeis guineensis* on adsorption of poisons using metronidazole and *Escherichia coli* O157:H7 as a case study. *Journal of Microscopy and Ultrastructure*, 5(1), 32. <https://doi.org/10.1016/j.jmau.2016.05.001>
- Loomba, A.P., & Nakashima, K. (2012). Enhancing Value in Reverse Supply Chains by Sorting before Product Recovery. *Production Planning & Control*, 23, (2-3), 205–215. <https://doi.org/10.1080/09537287.2011.591652>.
- Morin-Crini, N., Lichtfouse, E., Liu, G., Balaram, V., Ribeiro, A. R. L., Lu, Z., Stock, F., Carmona, E., Teixeira, M. R., Picos-Corrales, L. A., Moreno-Piraján, J. C., Giraldo, L., Li, C., Pandey, A., Hocquet, D., Torri, G., & Crini, G. (2022). Worldwide cases of water pollution by emerging contaminants: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 20(4), 2311–2338. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01447-4>
- Ortner, P., Tay, J. Z., & Wortmann, T. (2022). Computational optimization for circular economy product design. *Journal of Cleaner Production*, 362, 132340. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132340>

- Persis, D. J., Venkatesh, V., Sreedharan, V. R., Shi, Y., & Sankaranarayanan, B. (2021). Modelling and analysing the impact of Circular Economy; Internet of Things and ethical business practices in the VUCA world: Evidence from the food processing industry. *Journal of Cleaner Production*, 301, 126871. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126871>
- Romero-Sáez, M. (2022). Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular. *TecnoLógicas*, 25(54), e2505. <https://doi.org/10.22430/22565337.2505>
- Sivanandan V, Rajalakshmi AS, Jayasree S, Lopez RM (2019). Surface area and porosity development on granular activated carbon by zirconium: adsorption isotherm studies. *J. Appl. Res. Technol.*, 16: 211-228. <https://doi.org/10.22201/icat.16656423.2018.16.3.719>
- Vasilachi, I., Asiminicesei, D., Fertu, D., & Gavrilescu, M. (2021). Occurrence and fate of emerging pollutants in water environment and options for their removal. *Water*, 13(2), 181. <https://doi.org/10.3390/w13020181>
- Yang, M., Smart, P., Kumar, M., Jolly, M., & Evans, S. (2018). Product-service systems business models for circular supply chains. *Production Planning & Control*, 29(6), 498–508. <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1449247>