

Introducción

Cuando consumimos un producto industrializado pocas veces nos cuestionamos qué sucede con los residuos que se generan como consecuencia del proceso, más allá de envases o envolturas, y es que una vez que obtenemos el bien o servicio, difícilmente nos interesamos por conocer el trasfondo de la fabricación de lo que consumimos de manera cotidiana. La realidad es que estos residuos de producción prácticamente no se tratan o no se convierten en otros productos, contribuyendo a la contaminación de nuestro planeta a gran escala e incluso al calentamiento global, lo que se ha convertido en un verdadero problema, no solo para el ambiente, sino también para la salud pública.

El modelo de producción actual, basado en una economía lineal de “Extraer, Fabricar, Consumir, Desechar”, hace que la cantidad de residuos que se generan sea cada vez mayor. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas, cada año se recolectan aproximadamente 11200 millones de toneladas de residuos sólidos y, según el Banco Mundial, los desechos a nivel global crecerán un 70% para 2050 (Romero-Saéz, 2022).

Dentro de estos residuos, los considerados “menos peligrosos” son los agroindustriales; si bien este tipo de residuos son naturales, su inadecuada gestión también puede generar severos problemas ambientales. Los residuos agroindustriales se generan de la agricultura y el procesamiento de alimentos (bagazo, cáscaras, tallos y hojas, etc) en volúmenes elevados; su descomposición forma principalmente gas metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y óxido nitroso (N_2O), todos gases de efecto invernadero (GEI), con un potencial de calentamiento elevado, es decir, que estos gases retienen el calor en la atmósfera, debido a que absorben la radiación infrarroja, generando un aumento en la temperatura (Singh et al., 2022).

La producción de este tipo de residuos es muy variable, tanto en tipo como en localización, por lo que es muy difícil tener datos concretos de su generación a nivel mundial. Sin embargo, para ilustrar el volumen de generación de residuos agroindustriales, se pueden analizar los alimentos más producidos en nuestro

10 Milenaria, Ciencia y Arte

BIOCARBÓN: DE RESIDUOS A SOLUCIONES SOSTENIBLES

BIOCHAR: FROM WASTE TO SUSTAINABLE SOLUTIONS.

Carmen Judith Gutiérrez-García¹, Francisco Méndez²,
Lada Domratcheva-Lvova^{3*}

¹Departamento de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Morelia, Morelia, Michoacán, México. ²Departamento de Química, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, Ciudad de México, México. ³Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.

Contacto: lvova@umich.mx

Resumen. Una mirada al mundo del biocarbón, desde una perspectiva de aplicación en la gestión de residuos agroindustriales, para hacer conciencia del impacto que generamos con nuestro consumo habitual y como la ciencia aprovecha esos desechos para una economía circular.

Palabras clave: sustentabilidad, biomasa, agroindustrial

Abstract. This text is a brief overview of biochar from an application perspective in agricultural waste management, with the aim of raising awareness of the impact we generate with our regular consumption and how science makes use of these wastes in a circular economy.

Keywords: sustainability, biomass, agro-industrial.

entorno (Fig. 1). México ocupa el 13vo lugar en volumen de producción de alimentos, con 818 productos agroalimentarios, de los cuales, 71 ocupan el primer lugar por volumen de producción, esto deriva en la enorme generación residuos agroindustriales. Por ejemplo, la industria azucarera genera aproximadamente 15 millones de toneladas de bagazo anuales, la del maíz produce 4.4 millones de t/año de mazorcas y 64 mil t/año de hojas; en la del trigo se generan 650 mil toneladas anuales de paja, en la cafetalera cerca de 70 mil toneladas de cascarilla, mientras que la industria del cacao produce 18 mil toneladas de cáscara y en la platanera 619 mil toneladas de hojas por año (Pérez-Contreras et al., 2025). Algunos países desarrollados como Corea del Sur o Estados

Unidos de América implementaron políticas como “el pago por desperdicio de alimentos” con el fin de reducir la cantidad de residuos orgánicos generados (Landells et al., 2024). En México, recientemente, los programas gubernamentales promueven la “valorización de residuos” con el fin de disminuir el volumen generado y a su vez el impacto (LGPGIR, 2023).

Los residuos agroindustriales están compuestos de materia orgánica, son ricos en carbono, nitrógeno, hidrógeno y oxígeno, lo anterior más su carácter de desecho, los hace candidatos económicamente viables para su uso como materia prima en la producción de biocarbón (García-Ruiz et al., 2026).

Biocarbón

El biocarbón es un material rico en carbono que puede prepararse a partir de diversas materias primas como residuos orgánicos o agrícolas (Fig. 2). Ha recibido cada vez más atención debido a sus características, como su capacidad de intercambio catiónico, su gran superficie específica y su estructura estable (Wang & Wang, 2019). Pero más allá de eso, el biocarbón se ha vuelto tema de conversación, porque representa la respuesta a un enorme problema, “deshacernos” de la gran cantidad de residuos orgánicos que se producen a nivel mundial. Se obtiene por carbonización de restos orgánicos (biomasa), a temperaturas superiores a los 250 °C, aparte de carbono, el biochar puede ser enriquecido en fósforo, magnesio o nitrógeno, con bajos niveles de oxígeno e hidrógeno, suele tener un

año 15, No. 27 enero del 2026



Fig. 1. Principales residuos agroindustriales en México (Casas & Barrera, 2021).

color negro y se encuentra en estado sólido, pero no se puede considerar como un material estrictamente definido, ya que tiene distintas propiedades fisicoquímicas, dependiendo de la biomasa utilizada y los parámetros de síntesis, temperatura y flujo, (Lehmann & Joseph, 2015; Wang & Wang, 2019). Para ser considerado biocarbón, el material debe cumplir con algunas características como el grado de carbonización y, por lo tanto, el potencial de mineralización en el suelo, como con su seguridad; por ejemplo, el contenido de metales pesados biodisponibles (Lehmann & Joseph, 2015). Una vez sintetizado, el biocarbón, puede modificarse añadiendo sustancias ácidas, agentes oxidantes, iones metálicos, vapor y gases. La selección de los métodos de modificación dependerá de la aplicación, hoy todas las aplicaciones que se le dan suelen estar relacionadas con las mejoras ambientales (Wang & Wang, 2019).

Biocarbón en acción

El biocarbón es considerado un producto que puede usarse en la

agricultura, diversas industrias y el sector energético. Algunos de sus usos son: como agente para la mejora del suelo, debido a que tiene un efecto en la permeabilidad de éste, reduce la sequía al favorecer la retención del agua, generando un efecto positivo en la erosión del suelo y la lixiviación de nutrientes (Ma et al., 2014). Está relacionado con la expansión y contracción del suelo, así como con la trabajabilidad en la preparación, en relación a las variaciones de la temperatura; provocando un aumento en el área superficial específica total del suelo, lo que deriva en un aumento de su aireación y la estructura de éste (Oleszczuk et al., 2013). Aumenta las capacidades de intercambio iónico, lo que mejora las propiedades del suelo y, por lo tanto, causa un aumento del pH y del fósforo y nitrógeno totales, lo que estimula el crecimiento vegetal (Oni et al., 2019).

Otra aplicación importante es en la remediación y/o protección contra la contaminación ambiental específica, y como vía para la mitigación de gases de

efecto invernadero (Wang & Wang, 2019). La eliminación de contaminantes orgánicos se realiza principalmente mediante quimisorción (interacción electrofílica), fisorción (atracción/repulsión electrostática), difusión por poros y la interacción con grupos funcionales carboxílicos, dioles y alcoholes (Spokas, 2010). Se ha usado en la eliminación de contaminantes orgánicos, particularmente para la eliminación de fungicidas, herbicidas, pesticidas e insecticidas, así como en la eliminación de algunos antibióticos y/o fármacos (sulfametoxazol, acetaminofén, tetraciclina, sulfametazina, tirosina, ibuprofeno) (Gámiz et al., 2017). En productos químicos industriales, como los hidrocarburos aromáticos policíclicos, compuestos orgánicos volátiles, colorantes aromáticos catiónicos (Herath et al., 2015). Su uso en la eliminación de furfural y algunos compuestos fenólicos que inhiben la degradación de la biomasa (Xiao et al., 2017).

La demanda de energía a nivel mundial aumenta con el crecimiento de la población, ya que todos los sectores de

De Residuos Agroindustriales a Biochar

Valorización y Aprovechamiento Sostenible



Fig. 2. Conversión de residuos agroindustriales a biocarbón (elaborado con I.A.).

cualquier nación requieren energía. Actualmente, los combustibles fósiles son la principal fuente de energía, sin embargo, es un recurso agotable. La biomasa se considera una prometedora fuente de energía renovable, que puede convertirse mediante procesos mecánicos, bioquímicos, físicos y termoquímicos. La conversión termoquímica proporciona alta calidad y eficiencia en el rendimiento del producto, rompiendo los enlaces químicos de la materia orgánica y convirtiéndola en biocarbón, bioaceite, biocombustible y gas de síntesis (Ferrer- Hernández, 2025). Otras aplicaciones menos comunes del biochar son el secuestro de carbono, el compostaje, la descontaminación de agua y de aguas residuales (Wang & Wang, 2019).

Conclusión

La gran cantidad de residuos agroindustriales que generamos a nivel global, y sus efectos negativos al ambiente y a la salud, hacen necesario que se cambie el modelo de producción, y se adopte un modelo basado en la economía circular. Producir bienes bajo este modelo tiene importantes beneficios, como disminuir la explotación de los recursos naturales, reducir las emisiones de GEI y fomentar la innovación y modernización de la industria, entre otros. Los residuos agroindustriales pueden contribuir de manera importante a la economía circular al ser una opción de bajo costo en la producción de biocarbón.

12 Milenaria, Ciencia y Arte

Agradecimientos: Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación (ICTI) del Estado de Michoacán (ICTI/DA/CTI/25/67), Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Morelia y UMSNH.

Referencias

Casas, L., & Barrera, I. (2021). Revalorización de residuos agroindustriales: caso Jalisco. *Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ)*. <https://es.linkedin.com/pulse/recepci%C3%B3n-preparaci%C3%B3n-y-molienda-de-la-ca%C3%B1a-az%C3%BAcar-sanchez-castro>

Ferrer-Hernández, M. A., Gutiérrez-García C.J. (2025). Diseño de una central eléctrica de cogeneración para la producción de energía empleando bagazo de agave como biocombustible sólido. Tesis de Licenciatura.

Gámiz, B., Velarde, P., Spokas, K. A., Hermosín, M. C., & Cox, L. (2017). Biochar soil additions affect herbicide fate: importance of application timing and feedstock species. *Journal of agricultural and food chemistry*, 65(15), 3109-3117. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00458>

García-Ruiz, D.L., Valencia-Delgado, D.S., Hernández-Ocaña, S.M., Ortega-Varela, L.F., Domratcheva-Lvova, L., Morales-Troyo, F., Solana-Reyes, Y., Gutiérrez-García, C.J. (2026). Green Synthesis of Activated Carbon from Waste Biomass for Biodiesel Dry Wash. *Biomass*, 6, 3. <https://doi.org/10.3390/biomass6010003>

Herath, I., Kumarathilaka, P., Navaratne, A., Rajakaruna, N., & Vithanage, M. (2015). Immobilization and phytotoxicity reduction of heavy metals in serpentine soil using biochar.

Journal of Soils and Sediments, 15(1), 126-138. <https://doi.org/10.1007/s11368-014-0967-4>

Landells, E., Naweed, A., Karunasena, G. G., Pearson, D. H., & Oakden, S. (2024). Food waste tectonics: Points of friction between policy push and practice pull in council-led household-food-waste interventions in Australia. *Journal of Environmental Management*, 357, 120717. doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120717

Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). Biochar for environmental management: an introduction. In *Biochar for environmental management* (pp. 1-13). Routledge.

Ley General para Prevención y Gestión General de los Residuos (LGPGIR), Estados Unidos Mexicanos, Última Reforma DOF 08-05-2023. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPGIR.pdf> (consultado 6 de enero de 2026).

Ma, R., Levard, C., Judy, J. D., Unrine, J. M., Durenkamp, M., Martin, B., ... & Lowry, G. V. (2014). Fate of zinc oxide and silver nanoparticles in a pilot wastewater treatment plant and in processed biosolids. *Environmental science & technology*, 48(1), 104-112.

Oleszczuk, P., Joško, I., & Kuśmierz, M. (2013). Biochar properties regarding to contaminants content and ecotoxicological assessment. *Journal of hazardous materials*, 260, 375-382. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.05.044>

Oni, B. A., Oziegbe, O., & Olawole, O. O. (2019). Significance of biochar application to the environment and economy. *Annals of Agricultural Sciences*, 64(2), 222-236. <https://doi.org/10.1016/j.aaoas.2019.12.006>

Pérez-Contreras, S., Avalos-de la Cruz, D. A., Herrera-Corredor, J. A., Lizardi-Jiménez, M. A., Baltazar-Bernal, O., & Martínez, R. H. (2025). Residuos agroindustriales en México: Una alternativa para la producción de enzimas de interés industrial: Valorización de residuos agroindustriales. *Agro-Divulgación*, 5(1).

Romero-Sáez, M. (2022). Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular. *Tecnológicas*, 25(54). <http://orcid.org/0000-0002-4958-5623>

Singh, A. D., Bakshi, P., Kumar, P., Kour, J., Dhiman, S., Ibrahim, M., ... & Bhardwaj, R. (2022). Effects of agricultural wastes on environment and its control measures. *Agricultural and Kitchen Waste*, 219-239.

Spokas, K. A. (2010). Review of the stability of biochar in soils: predictability of O: C molar ratios. *Carbon management*, 1(2), 289-303. <https://doi.org/10.4155/cmt.10.32>

Wang, J., & Wang, S. (2019). Preparation, modification and environmental application of biochar: A review. *Journal of Cleaner Production*, 227, 1002-1022.

Xiao, R., Awasthi, M. K., Li, R., Park, J., Pensky, S. M., Wang, Q., ... & Zhang, Z. (2017). Recent developments in biochar utilization as an additive in organic solid waste composting: A review. *Bioresource Technology*, 246, 203-213.

año 15, No. 27 enero del 2026