

## El reúso de los desechos agroindustriales: transformando la basura

The reuse of agro-industrial waste: Transforming waste

José Luis Zárate-Castrejón<sup>1</sup>, Omar Surisadai Castillo-Baltazar<sup>1</sup>, Luz María Landa-Zavaleta<sup>1</sup>, María Wendolyn Bedolla-Ortiz<sup>1</sup>, Vicente Peña-Caballero<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Agroindustrial, División de Ciencias de la Salud e Ingenierías, Campus Celaya-Salvatierra, Universidad de Guanajuato. CP. 38060 Celaya, Guanajuato.  
caballero.vicente@ugto.mx

### Resumen

Lo que consideramos basura, producto de las diferentes actividades del hombre, en un futuro no muy lejano se considerará como un recurso con valor agregado. Desde el inicio de la historia humana, la naturaleza tenía la capacidad de reintegrar los residuos de la actividad del hombre a los ciclos biogeoquímicos, pero la capacidad del planeta ha empezado a mostrar un límite debido a la gran cantidad de residuos que comienzan a contaminar al planeta e incluso en sitios inaccesibles como las Fosas de las Marianas en donde se encontró un empaque de plástico. El tema atrae la atención de varios actores y cada disciplina trata de aportar su granito de arena para contribuir en la reducción y manejo de los desechos. Una de las estrategias ahora empleadas es el reúso de los desperdicios generados para transformarlos en productos con valor agregado. En la naturaleza encontramos cómo estos residuos toman valor, por ejemplo, los organismos reciclan desechos de otros organismos como el caso de los insectos peloteros que utilizan el excremento de los rumiantes para ocuparlos como fuente de alimento para sus larvas. Inspirados en estos hechos, se contemplan estrategias para reutilizar los residuos de la actividad industrial, agrícola, pecuaria o incluso doméstica, en favor de la naturaleza y con ello disminuir el problema de la contaminación ambiental. En el caso del hongo comestible, *Pleurotus djarmor*, el sustrato agotado es una fuente importante para la remoción de metales pesados como el cromo hexavalente. En este trabajo, se presenta un breve panorama de la importancia del aprovechamiento de residuos a fin de reflexionar desde el hogar, la escuela, la universidad, la sociedad, la industria y el gobierno en beneficio de la protección del medio ambiente y en consecuencia de la humanidad.

**Palabras clave:** *Pleurotus djarmor*; hongo rosa; segundo uso; recurso natural.

### Una breve mirada en la historia de la humanidad

En diferentes épocas en la historia del hombre se han generado grandes impactos en la naturaleza como la modificación de los ambientes naturales o la destrucción grandes extensiones naturales para establecerse. En el inicio de la historia del hombre, la era del Paleolítico, los grupos humanos se dedicaban a la recolección y cacería de animales silvestres para su consumo y además utilizaban las pieles para protegerse del frío. Posteriormente, en la era del Neolítico las actividades favorecieron la transformación y control de su entorno natural en un entorno que favoreció la crianza de animales de corral y la domesticación de plantas que serían su sostén para las civilizaciones venideras. El impacto generado por estas pequeñas poblaciones era asimilado por la naturaleza y se restablecía el equilibrio en corto tiempo; sin embargo, las perturbaciones se presentaron con mayor frecuencia y se acumularon a lo largo del devenir histórico de las sociedades. Durante la revolución industrial se presentó otro impacto importante por la tala exagerada de árboles en diferentes ecosistemas para cubrir las necesidades energéticas que demandaba la sociedad en ese momento histórico. Esto causó la eliminación de grandes extensiones de cubierta vegetal en Europa principalmente. Siguiendo el mismo orden de ideas, en la actualidad la contaminación ambiental es generada por las actividades industrial, pesquera, pecuaria, agrícola, doméstica, las cuales se acumulan diariamente, contaminan el suelo, cuerpos de agua, mantos freáticos y el aire (Figura 1). Ante esta situación se debe de actuar con una responsabilidad doméstica, industrial, social y ambiental para que los residuos de las actividades humanas tengan otra oportunidad de uso y con ello una revalorización de los residuos de estas actividades (Bolaños *et al.*, 2015; Gowdy, 2019; Tellería, 2005).





Figura 1. La contaminación de los ríos es común en México, en esta foto se muestra El Río Grande de Santiago uno de los más contaminados en México.  
Fuente: Río Grande de Santiago (Río de Santiago) Contaminación, Tena Espinosa, 2024, CC S.A. 4.0

## La transformación de los residuos

Actualmente, existen diferentes productos que pueden ser obtenidos a partir de los desechos agrícolas o agroindustriales como ejemplos importantes en materiales biodegradables están: el biocarbón, los bioplásticos, biocombustibles, biogás, biofertilizantes, extractos de compuestos bioactivos, materiales para construcción ecológicos, fibra de celulosa, entre otros (Klug, 2012). Con referencia a estos procesos, en este trabajo se reflexiona desde la oportunidad de transformación, uso y reúso de residuos.

Por ejemplo, la pirólisis es un proceso de degradación térmica, el cual se realiza a elevadas temperaturas y en ausencia de oxígeno (Figura 2). El resultado de este proceso es la producción de un líquido llamado bioaceite; en estado sólido otro compuesto conocido como biocarbón e incluso se producen gases útiles como hidrógeno, metano o hidrocarburos ligeros (Demirbas, 2002; Vilca *et al.*, 2022). En este proceso se incluye el diseño de biorrefinerías porque involucra la conversión de biomásas para generar productos de valor agregado. Las principales biomásas utilizadas son residuos de la industria agroalimentaria (cascarilla de arroz, bagazo de caña de azúcar, residuos de café, residuos de fruta) y residuos sólidos urbanos (plásticos, residuos orgánicos domésticos, biosólidos). Y el biocarbón tiene utilidad en diversos sectores, como el agrícola, industrial y ambiental, respectivamente, se utiliza como un mejorador del suelo, como catalizador y como una estrategia para remediar suelos y aguas principalmente. Y con el bioaceite se puede usar para la producción de biocombustibles y su producto gaseoso alternativamente se puede reusarse y abastecer el sistema de generación de energía (Klug, 2012).

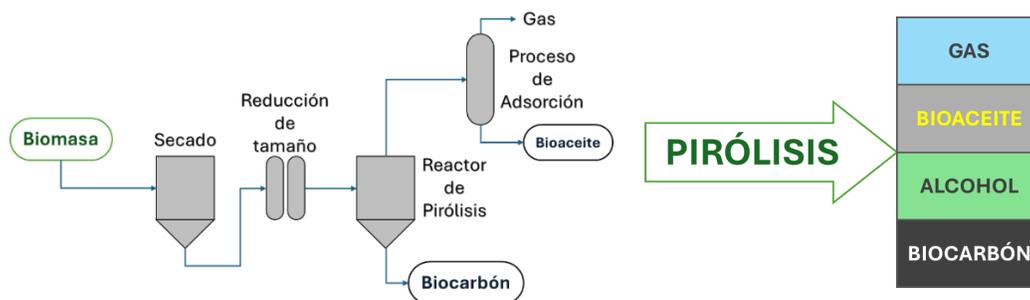


Figura 2. Esquema básico de proceso de pirólisis y productos principales.  
Fuente: Elaboración propia.

En la generación de biocombustibles se ha considerado como una alternativa ante el agotamiento de los yacimientos de petróleo y combustibles fósiles, así como para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. En este sentido, los principales países productores de biocombustibles son Brasil, Argentina y los Estados Unidos de Norteamérica. Para la primera generación de biocombustibles se utilizó maíz, trigo, caña de azúcar, aceite de palma, aceite de girasol e incluso cultivos forrajeros. En la segunda generación se incorporó la fermentación de desechos de alimentos para la producción de bioetanol, lo que revalorizó estos residuos. Para la tercera generación de biocombustibles se incorpora el uso de microorganismo, por ejemplo, las microalgas para la producción de aceites. Cada una de estas generaciones de biocombustibles, encaja en el concepto integral de la biorrefinería (Conde-Mejía et al., 2021; Jeswani et al., 2020).

En el contexto del aprovechamiento de las aguas residuales para la generación de productos con alto valor económico, ambiental y social destaca la producción de microalgas, las cuales han podido ser cultivadas en aguas residuales de la industria textil, municipal, porcina, acuícola, láctea, farmacéutica, principalmente. El uso de estas aguas es porque presentan una gran cantidad de compuestos orgánicos y sales que las microalgas aprovechan para sintetizar todos sus componentes y compuestos que requieren para crecer y desarrollarse en diferentes de cultivos. Los productos generados por estos microorganismos son aceites naturales, biodiesel, productos biotecnológicos como vacunas, anticuerpos, proteínas recombinantes, pigmentos, enzimas entre otros productos (Valdivinos-García et al., 2024). En el uso de microalgas han presentado buenos resultados debido a que pueden remover hasta el 90% de los nutrientes contenidos en las aguas residuales y los productos obtenidos de esta transformación es la producción de biomasa valiosa para la obtención de biocombustibles, producción de alimentos o incluso para la alimentación animal (Acien et al., 2018) (Figura 3). A nivel experimental se ha trabajado con consorcios de algas de las especies *Scenedesmus* sp., *Chlorella* sp., *Schoredia* sp., *Pediastrum* y *Chlamidomonas* sp. bajo tres sistemas de cultivo, en donde los mejores resultados fueron en el sistema heterotrófico, esto significa que las microalgas obtienen su alimento y energía de compuestos orgánicos (Cabrera-Capetillo, 2023).

Tomando como referencia los materiales de desecho de naturaleza lignocelulósica como las maderas o sus productos derivados se pueden reutilizar para generar bienes; por ejemplo, se han obtenido de productos fermentados con un alto valor económico, esto es gracias a una serie de pasos que transforma los desperdicios de la madera o afines en bioalcohol (este término se ocupa cuando se produce etanol por medio de un microorganismo). Sin embargo, para el caso del uso de levaduras (microorganismos con capacidad de generar etanol), el problema mayor es que éstas no pueden transformar directamente la madera a etanol, esto debido a que no cuentan con las enzimas específicas para degradar la madera, para realizar esto se requiere un pretratamiento de los residuos de madera para que posteriormente las levaduras puedan transformar los componentes de la madera en etanol. Se han propuesto diferentes estrategias para pretratar los materiales lignocelulósicos, entre las estrategias que podemos comentar son el uso de microorganismos como hongos o algunas bacterias, el uso de tratamientos físicos como la fragmentación del material, generación de poros, rompimiento de la estructura molecular o bien el uso de materiales químicos como ácidos, bases o la combinación de estos compuestos con tratamientos con diferentes temperaturas (Riaño et al., 2010).

## Uso inteligente de los residuos del hongo rosa en la remoción de metales pesados

Entonces, considerando el cultivo de hongo oreja u hongo zeta, el cual es comestible, ha sido objeto de atención en diferentes ámbitos, por su valor nutritivo, su producción a escala industrial o casero, sus aplicaciones biotecnológicas por las enzimas que posee a favor de la biorremediación de agua y suelos contaminados, por sus propiedades medicinales, y mejoramiento genético, entre otros temas. Al concluir el ciclo productivo de este recurso natural surge la inquietud, en qué se pueden reutilizar los residuos del cultivo del hongo. Una opción es utilizar los residuos agotados en producir hongos de segunda fermentación (Cunha et al., 2020; Enríquez et al., 2023). Otro uso que se les puede dar es que estos residuos se incorporen en compostas para la crianza de la lombriz roja (*Eisenia fetida*) y con ello se transforme el sustrato del hongo en abono de buena calidad, incluso con remuneración monetaria (Hřebečková et al., 2020); otra posibilidad es ocuparlo para la alimentación de animales de granja, esto debido a su contenido nutricional y el establecimiento de microbiota intestinal de rumiante (Lu et al., 2024). Con esta información se puede entender que cualquier residuo orgánico o biológico puede ser de gran utilidad por otro organismo. Un ejemplo de la naturaleza se encuentra en los insectos “peloteros” o “estercoleros” que ocupan los excrementos de los animales rumiantes (por ejemplo, vacas, cabras, borregos) para que sus larvas tengan alimento, ya sea que caven galerías debajo del desecho o bien tengan que hacer pequeñas pelotitas de excremento que llevarán a sus galerías (Martínez & Lumaret, 2022).



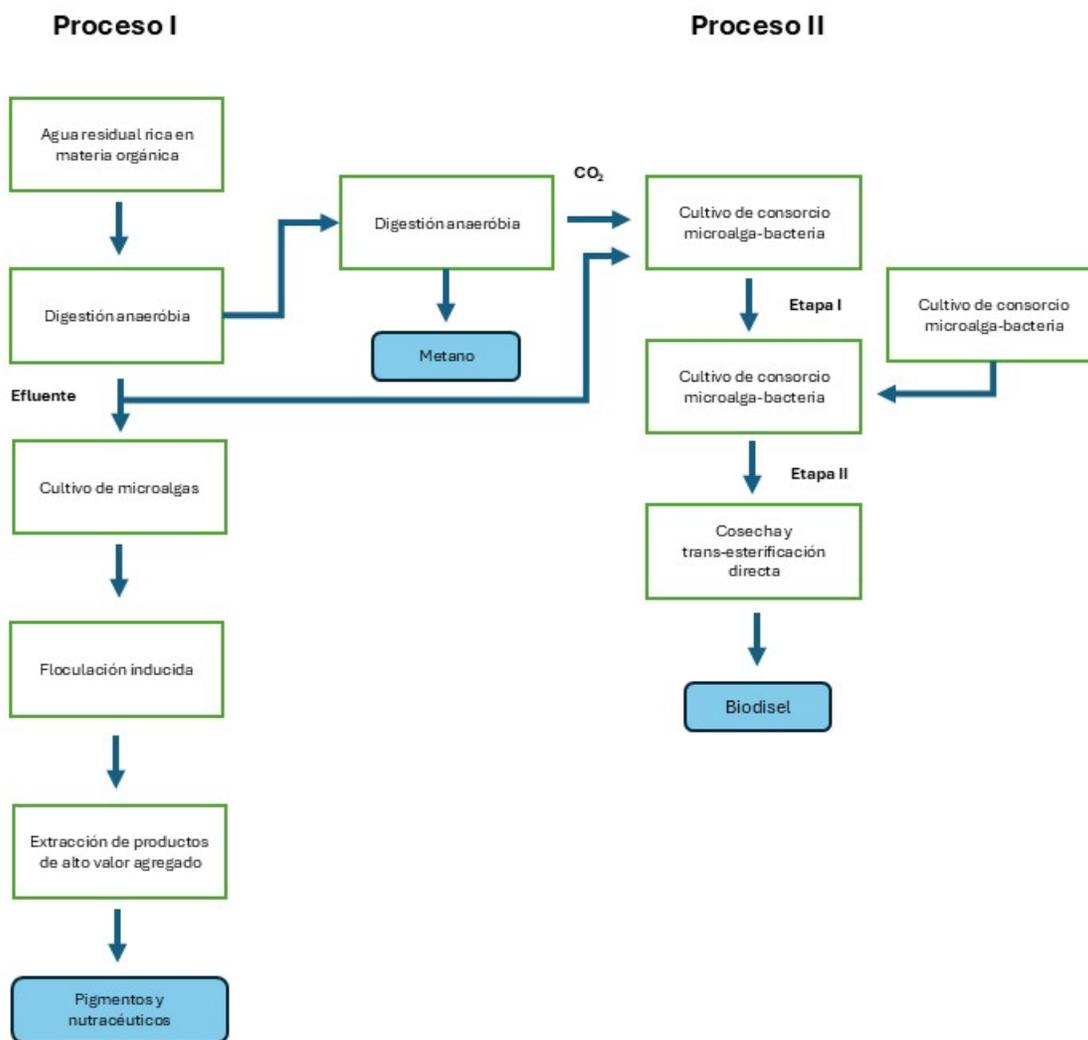


Figura 3. Diagrama de bloques para el cultivo de microalgas en un sistema de doble propósito aplicado al concepto de biorrefinería.  
Fuente: Elaboración propia

En relación con los desechos agrícolas, principalmente de los cultivos de importancia industrial como trigo, maíz, agave, centeno, y además de los desechos de virutas de madera u otros materiales con alto contenido en celulosa (compuesto presente en grandes cantidades en los vegetales) se han utilizado para producir hongos comestibles como *Pleurotus ostreatus*. Por ejemplo, desde la Universidad, en el Laboratorio de Investigación de Biotecnología de la Sede Mutualismo de la Universidad de Guanajuato se cuenta con una propuesta de investigación por alumnos y docentes para ocupar los desechos del rastrojo de residuos agroindustriales agotados del proceso de producción de hongo rosa, *Pleurotus djarmor*, para la captura de cromo hexavalente en fase acuosa con diferentes de sistemas de operación (Figura 4 y 5). Los resultados de estos experimentos en laboratorio indicaron que los residuos de la paja agotada por el hongo tienen la capacidad de remover este metal hasta el 90% de la carga inicial del metal. Entonces, los residuos agotados pueden ser una alternativa complementaria para extracción de cromo en aguas contaminadas (Enríquez *et al.*, 2023; Lara *et al.*, 2024).



**Figura 4.** Modo de producción del hongo rosa. A) Semilla de sorgo previamente desinfectada para la propagación en medio sólido. B) Esterilización de la semilla de sorgo para su posterior inoculación en semilla. C) Micelio propagado en semilla de sorgo después de 10 días de inocularse. D) Procesamiento de residuos del cultivo de trigo para su posterior inoculación. E) Inoculación del residuo por semilla de sorgo inoculada con hongo rosa. F) Invasión completa del hongo rosa en el residuo de trigo.

Fuente: Elaboración propia.

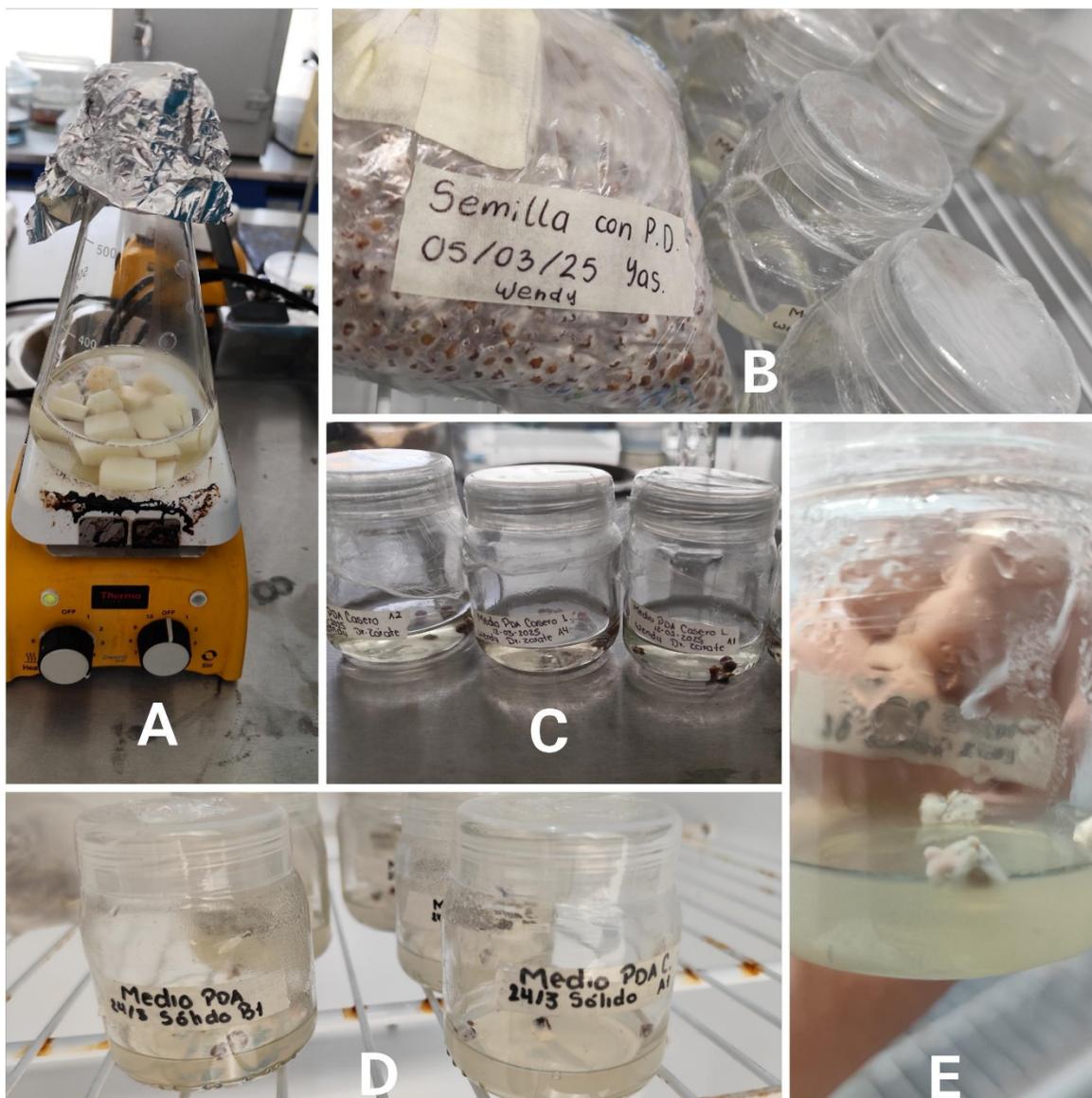


Figura 5. Preparación de inóculo en medio sólido. A) Preparación del medio papa-dextrosa-agar, B) Semilla de sorgo inoculada con hongo rosa, C) Medios líquidos para realizar la cinética de crecimiento del hongo rosa, D) Semillas en medio sólido para conservación de la cepa, E) Detalle de las semillas en el medio sólido.

Fuente: Elaboración propia.

## Visión actual y reflexiones

Podemos mencionar que el uso de materiales de desecho es importante porque se alarga la vida de un producto y podemos usarlos en otros procesos, y con ello se adquiere un valor agregado a un material que ya no tendría utilidad industrial; sin embargo, no debemos olvidar que si algo fue formado por la naturaleza se puede degradar por otros organismos o procesos. Contemplar el uso de los residuos industriales y agroindustriales como materia prima para la generación de nuevos productos tendría que ser una consigna social e industrial si queremos aprovechar al máximo la utilidad de un bien. Con estas acciones se lograría disminuir el impacto de las actividades humanas en nuestros ecosistemas.

Finalmente, a manera de reflexión, una primera oportunidad en este tema es desde la educación en casa, continuando con el estudio y el análisis de estas oportunidades desde la educación y su aplicación con un compromiso ambiental entre sociedad-universidad-industria para la implementación de procesos industriales reales, medibles y regulados con impacto positivo con el medioambiente, con referencia a los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030. Cerramos reconociendo que es un punto de reflexión social, ambiental, industrial y político a nivel local, regional y mundial imperante.

## Referencias

- Arredondo, M. J., Martínez, T. O., Quintana, E., Morales, A. T., Castrejón, J. L., & Caballero, V. (2023). Análisis teórico-experimental de la estequiometría del crecimiento del hongo comestible. *Pleurotus djamor. Jóvenes en la Ciencia*, 24, 1-11.  
<https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/4199/3679>
- Bolaños, V. H., Ortega, F., & Reyes, D. (2015). Medio ambiente, ciencia y sociedad. *Andamios*, 12(29), 7-14.  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-00632015000300007&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-00632015000300007&script=sci_arttext)
- Cabrera-Capetillo, C. A., Castillo-Baltazar, O. S., Petriz-Prieto, M. A., Guzmán-López, A., Valdovinos-García, E. M., & Bravo-Sánchez, M. G. (2023). Simulation and economic analysis of the biotechnological potential of biomass production from a microalgal consortium. *Marine Drugs*, 21(6), 321. 10.3390/md21060321.
- Conde-Mejía, C., Jimenez-Gutiérrez, A., & El-Halwagi, M. (2012). A comparison of pretreatment methods for bioethanol production from lignocellulosic materials. *Process Safety and Environmental Protection*, 90(3), 189-202. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2011.08.004>
- Cunha, D., Sánchez, J. E., Noble, R., & Pardo-Giménez, A. (2020). Use of spent mushroom substrate in new mushroom crops to promote the transition towards a circular economy. *Agronomy*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/agronomy10091239>
- Demirbas, A., & Arin, G. (2002). An overview of biomass pyrolysis. *Energy sources*, 24(5), 471-482. <https://doi.org/10.1080/00908310252889979>
- Gowdy, J. (2020). Our hunter-gatherer future: Climate change, agriculture and uncivilization. *Futures*, 115. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2019.102488>
- Hřebečková, T., Wiesnerová, L., & Hanč, A. (2020). Change in agrochemical and biochemical parameters during the laboratory vermicomposting of spent mushroom substrate after cultivation of *Pleurotus ostreatus*. *Science of the Total Environment*, 739. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140085>
- Jeswani, H. K., Chilvers, A., & Azapagic, A. (2020) Environmental sustainability of biofuels: a review. *Royal Society*, 476(476). <https://doi.org/10.1098/rspa.2020.0351>
- Klug, M. (2012). Pirólisis, un proceso para derretir la biomasa. *Revista de Química*, 26(1-2), 37-40. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/5547t>
- Hernández, M. D. L., Bata, E. M., Cantor, Á. G., Olalde, D. C., Morales, A. T., Castrejón, J. L., & Caballero, V. (2024). Adsorption of hexavalent chromium in a continuous stirred tank using exhausted wheat stubble immobilized in sodium alginate. *Jóvenes en la Ciencia*, 28, 1-13. <https://doi.org/10.15174/jc.2024.4317>
- Lu, M. L., Yuan, G. H., Rehemjiang, H., Li, C. C., Hu, L. H., Duan, P. P., Zhang, L., Diao, Q., & Xu, G. S. (2024). Effects of spent substrate of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) on ruminal fermentation, microbial community and growth performance in Hu sheep. *Frontiers in Microbiology*, 15. DOI 10.3389/fmicb.2024.1425218
- Tena, E. M. (2024). Río Grande de Santiago (Río de Santiago) - Contaminación 04 [Imagen]. Wikimedia Commons. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:R%C3%ADo\\_Grande\\_de\\_Santiago\\_\(R%C3%ADo\\_de\\_Santiago\)\\_%E2%80%93Contaminaci%C3%B3n\\_04.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:R%C3%ADo_Grande_de_Santiago_(R%C3%ADo_de_Santiago)_%E2%80%93Contaminaci%C3%B3n_04.jpg)
- Martínez, M. & Lumaret, J.-P. (2022). Escarabajos estercoleros. Biología reproductiva y su regulación. *Asociación española de Entomología*. [https://www.researchgate.net/publication/368751014\\_2022\\_Martinez\\_M\\_I\\_y\\_Lumaret\\_J\\_P\\_Eds\\_Es\\_carabajos\\_del\\_estiercol\\_Biologia\\_reproductiva\\_y\\_su\\_regulacion](https://www.researchgate.net/publication/368751014_2022_Martinez_M_I_y_Lumaret_J_P_Eds_Es_carabajos_del_estiercol_Biologia_reproductiva_y_su_regulacion)



- Riaño, A. S., Morales, A. G., Hernández, J. M., & Barrero, C. R. (2010). Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. *Tumbaga*, 1(5), 61-91. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3628225>
- Tellería, J. L. (2005). *El impacto del hombre sobre el planeta*. Editorial Complutense.
- Valdovinos-García, E. M., Cabrera-Capetillo, C. A., Bravo-Sánchez, M. G., Barajas-Fernández, J., Olán-Acosta, M. Á., & Petriz-Prieto, M. A. (2024). Evaluation of Technical and Economic Indicators for the Production Process of Microalgae Lipids Considering CO<sub>2</sub> Capture of a Thermoelectric Plant and Use of Piggery Wastewater, *Energies*. 17(1), 92. <https://doi.org/10.3390/en17010092>
- Vilca, K., Rodríguez, S., Atarama, U., Cueva, C., Concha, W. J., Atausupa, M. A., & Gosgot, W. (2022). Pirólisis: una revisión de conceptos y aplicaciones en la gestión de residuos sólidos. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 6(1), 43–56. <https://doi.org/10.25127/aps.20221.854>

