

# Manejo de Residuos Orgánicos para la Producción de Biocombustibles

Sarai Camarena Martínez<sup>1</sup>, María Elena López Pérez<sup>1</sup>,  
Graciela M. L. Ruiz Aguilar<sup>1</sup>, Servando Reyes Castro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>División Ciencias de la Vida | Campus Irapuato-Salamanca  
| Universidad de Guanajuato | Ex Hacienda El Copal k.m. 9;  
carretera Irapuato-Silao; A.P. 311; C.P. 36500; Irapuato, Gto.

## INTRODUCCIÓN

La creciente preocupación por el agotamiento de los recursos fósiles y el cambio climático ha impulsado la búsqueda de fuentes de energía sostenibles (Demirbas, 2011). Los biocombustibles obtenidos a partir de procesos biológicos han surgido como una alternativa viable, capaces de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir la dependencia del petróleo (IEA, 2021). Entre los biocombustibles que han tenido un mayor auge en las últimas décadas se pueden mencionar el biometano, biohidrógeno, biodiesel y bioetanol. Dependiendo del grado de purificación, estos se pueden utilizar en calderas, redes gas natural o acoplar a motores de combustión interna. Presentan la ventaja de que se pueden obtener a partir de la descomposición de residuos orgánicos y su producción requiere menor consumo de energía al llevarse a cabo a presión atmosférica y temperaturas moderadas comparado con los procesos convencionales (Ananthi et al., 2024; Valdez-Vazquez & Poggi-Varaldo, 2009). Estas características ofrecen tanto ventajas económicas como ambientales.

A continuación, se describirá un panorama general sobre los diferentes tipos de biocombustibles, el aprovechamiento de residuos para su producción y estrategias para mejorar la eficiencia de los procesos para su obtención (Figura 1).

### *Tipos de biocombustibles*

Existen diferentes tipos de biocombustibles entre los que se puede mencionar principalmente son:



**Figura 1.** Residuos vegetales con potencial para producir biocombustibles. Imagen extraída de <https://www.flickr.com>.

**Biometano:** el biometano se obtiene a partir de la digestión anaerobia, el cual es un proceso que se lleva a cabo en ausencia de oxígeno. Los grupos de microorganismos implicados en este proceso corresponden a bacterias facultativas o anaerobias pertenecientes a los géneros de *Bacteroides*, *Clostridium*, *Butyrivibrio*, *Eubacterium*, *Bifidobacterium* y *Lactobacillus* y arqueas metanogénicas como *Methanosarcina* y *Methanosaeta*, *Methanobacterium*, *Methanospirillum* y *Methanosarcina*. El poder calorífico del biogás que contiene un 55 – 70% de biometano es de 18 a 25 MJ/kg (Deublein & Steinhauser, 2010).

**Biohidrógeno:** el biohidrógeno se considera una de las energías alternativas más prometedoras debido a su alto poder calorífico (142 MJ/kg) comparado con otros combustibles como el gas natural (43 MJ/kg) y gasolina (47MJ/kg) (García-López et al., 2015). Existen diferentes métodos biológicos para la producción de biohidrógeno como biofotólisis, fotofermentación

y fermentación anaerobia (también conocida como fermentación oscura). En la biofotólisis, el agua se oxida en biohidrógeno y oxígeno utilizando energía solar mediante cianobacterias (*Anaeba* sp. y *Oscillatoria* sp.) y microalgas (*Chlamydomonas* sp. y *Chlorella* sp.). Por otro lado, la fotofermentación ocurre cuando las bacterias fotosintéticas (*Rhodobacter* sp. y *Rhodospseudomas* sp.) consumen ácidos orgánicos (acético, láctico y butírico) para generar H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en presencia de luz. La fermentación oscura consiste en la síntesis de biohidrógeno a partir de sustratos ricos en azúcares mediante bacterias anaerobias, facultativas y fermentativas como *Bacillus*, *Clostridium* y *Enterobacter* (Ananthi et al., 2024; García-López et al., 2015).

**Bioetanol:** el bioetanol es un combustible renovable en forma líquida que, aunque tiene un 68% menos de energía que la gasolina, su elevado contenido de oxígeno permite una combustión más limpia, lo que

puede disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> hasta en un 80% en comparación con la gasolina (Sánchez, 2009; Sarkar et al., 2012). La producción de etanol se lleva a cabo en tres o cuatro etapas, según la complejidad del sustrato. Para sustratos de baja complejidad, el proceso incluye hidrólisis enzimática, fermentación y destilación. En cambio, si el sustrato es de difícil degradación, se requiere un pretratamiento previo a la hidrólisis enzimática. Para la fermentar los azúcares se han usado levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*), hongos (*Aspergillus oryzae*) o bacterias (*Zymomonas mobilis*) (Edeh, 2021; Sánchez, 2009).

**Biodiésel:** el biodiesel se produce a partir de aceites vegetales o grasas animales mediante transesterificación de la fracción lipídica con un alcohol, metanol o etanol, en presencia de un catalizador (Meher et al., 2006; Naik et al., 2010). El biodiésel posee una longitud de cadena, viscosidad y densidad energética similar al diésel derivado del petróleo, por lo que puede utilizarse como sustituto con mínimas adaptaciones en los motores de combustión interna ya existentes. Además, Su combustión no genera gases con azufre y nitrógeno como ocurre con otros combustibles (Rodionova et al., 2017).

### **Tipos de Residuos Utilizados en la Producción de Biocombustibles**

El aprovechamiento de residuos como materia prima para biocombustibles permite valorizar materiales que, de otra forma, representarían un problema ambiental (Capanoglu et al., 2022). Entre los principales tipos se encuentran:

**Residuos agrícolas o forestales:** los más utilizados para la producción de biocombustibles son paja de trigo, paja de sorgo, tallo de maíz, bagazo de caña de azúcar y cáscaras de arroz. Estos materiales están constituidos principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina y se han empleado principalmente para la generación de biometano, biohidrógeno y bioetanol (Chandel et al., 2018). Residuos de cultivos oleaginosos como semillas de *Jatropha curcas* son usados para la producción de biodiesel (Rodionova et al., 2017; Stephen & Periyasamy, 2018)

**Residuos urbanos:** aguas residuales domésticas o residuos sólidos orgánicos como restos de comida

y residuos de jardinería pueden ser aprovechados para la generar biometano, biohidrógeno y bioetanol. Aceites vegetales o grasas animales usados para cocinar se pueden emplear para la producción de biodiésel (Siles López et al., 2009; Stephen & Periyasamy, 2018).

**Residuos industriales:** constituyen especialmente los procedentes de industrias alimentarias (bagazo de frutas, suero de leche) y papeleras (lodos ricos en celulosa). Estos residuos son una fuente importante de materia orgánica que han sido empleados para la generación de biocombustibles. Los efluentes procedentes de procesadoras de aceite de palma han sido empleados para la producción de biodiesel (Stephen & Periyasamy, 2018).

**Residuos animales:** Se trata de desechos orgánicos provenientes principalmente de la actividad ganadera, los cuales se han utilizado principalmente para la generación de biogás. Entre los más comunes se encuentran el estiércol de vacas lecheras o vacas de producción, el purín y estiércol de cerdo, así como el estiércol de pollo de engorde (Nasir et al., 2012).

El uso de residuos reduce la competencia con la producción de alimentos y promueve prácticas de economía circular, contribuyendo al desarrollo sostenible (Cherubini, 2010). En la Figura 2 se indica el tipo de biocombustible que puede generarse a partir de diferentes residuos orgánicos. Pretratamientos de residuos para mejorar los rendimientos de producción de biocombustibles

Muchas veces se requieren procesos como molienda, hidrólisis o deshidratación para hacer los residuos aptos para su transformación (Taherzadeh & Karimi, 2008). La aplicación de pretratamientos tiene como objetivo romper la estructura de la biomasa para facilitar la acción de enzimas o microorganismos en procesos posteriores. Entre los métodos más utilizados se encuentran los pretratamientos físicos, químicos y biológicos (Zheng et al., 2014).

**Pretratamientos físicos:** Incluye un conjunto de procesos mecánicos aplicados a residuos con el objetivo de modificar sus características físicas para mejorar su manejo, tratamiento o aprovechamiento posterior. Los métodos más comunes incluyen trituración, tamizado, homogenización y deshidratación,

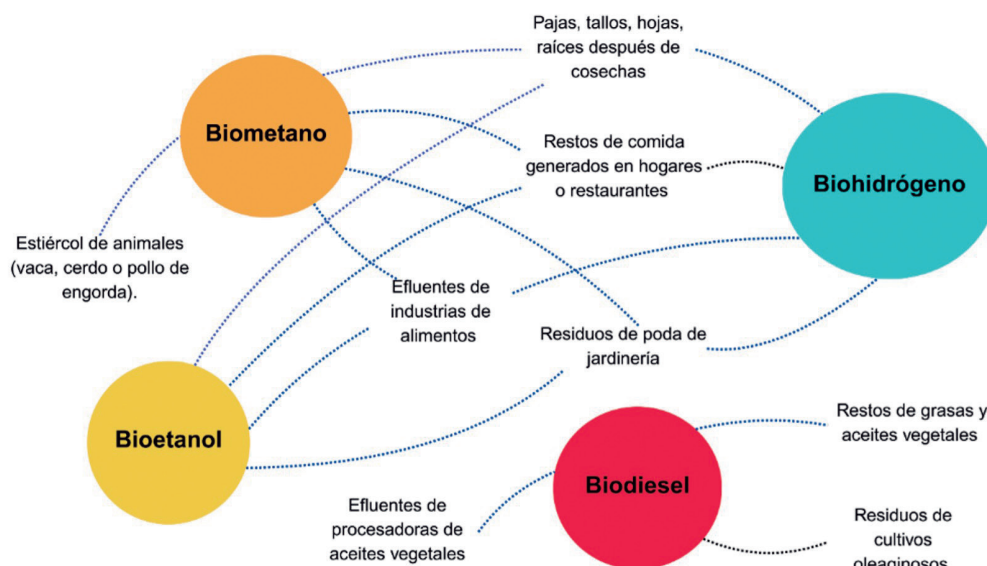


Figura 2. Tipo de biocombustible que puede generarse a partir de diferentes residuos orgánicos.

los cuales permiten reducir el tamaño de las partículas, aumentar la superficie de contacto y facilitar la degradación en procesos biológicos o químicos (Carrere et al., 2016; Mata-Alvarez et al., 2014). Asimismo, el pretratamiento físico puede optimizar la mezcla de materiales heterogéneos y facilitar su manipulación, lo que resulta en una mayor producción de energía (Ariunbaatar et al., 2014). La implementación de pretratamientos físicos puede combinarse con otros métodos (químicos o biológicos) para maximizar la eficiencia y viabilidad económica de los procesos de conversión de residuos en energía o productos útiles. Los pretratamientos físicos también incluyen procesos térmicos como la explosión con vapor y agua líquida a alta temperatura (LHW por sus siglas en inglés) en los cuales se aplican temperaturas superiores a los 100 °C para alterar de forma física y química la biomasa. En el caso de la explosión con vapor, los intervalos de tiempo son cortos (1 a 10 minutos), en comparación con el método de LHW (Sánchez Riaño et al., 2010).

**Pretratamientos químicos:** Este método implica la aplicación de productos químicos que alteran la estructura de los compuestos orgánicos complejos, como la celulosa, hemicelulosa y lignina, haciéndolos más accesibles para los microorganismos (Hendriks,

A., 2009). Existen varios tipos de pretratamiento químicos, entre los más comunes se encuentran el pretratamiento alcalino con NaOH o Ca(OH)<sub>2</sub>, pretratamiento ácido con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o HCl, oxidación húmeda con peróxido de hidrógeno o ácido peracético, pretratamientos con solventes orgánicos con etanol, acetona o etilenglicol, y tratamientos con ozono (Sánchez Riaño et al., 2010; Zheng et al., 2014).

**Pretratamientos biológicos:** En este tipo de pretratamiento se emplean microorganismos o enzimas que son capaces de alterar la estructura de la lignina y solubilizar la hemicelulosa. Los microorganismos pueden ser hongos, levaduras o bacterias. Se han empleado hongos de podredumbre blanca, marrón y suave como *Ceriporiopsis subvermispota*, *Auricularia auricula-judae*, *Trichoderma reesei*, *Ischnoderma resinosum* y *Fomitella fraxinea* para pretratar residuos agrícolas (hojas de castaño dulce) y madera dura (virutas de madera de cedro japonés) (Mackul'ak et al., 2012; Muthangya et al., 2009). También se han aplicado consorcios de bacterias celulíticas (*Clostridium thermocellum*) y levaduras para la degradación de paja de maíz, tallos de maíz, tallos de algodón y residuos de yuca (Lu et al., 2009; Zhang et al., 2011; Zhong et al., 2011). Las enzimas que se han empleado para pretratar residuos agrícolas son la lacasa,

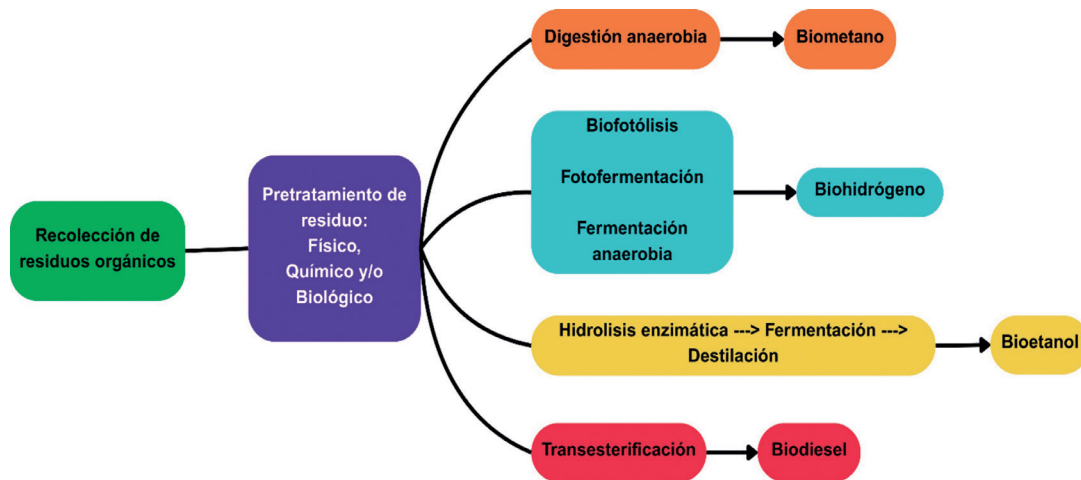


Figura 3. Manejo de residuos orgánicos para la producción de biocombustibles.

pectinasa, mezcla de celulasa y hemicelulasas, mezcla de celulasa, hemicelulosa y b-glucosidasa, y complejo enzimático crudo de *Trichoderma* (Gerhardt et al., 2007; Romano et al., 2009; Yunqin et al., 2010; Ziemiński et al., 2012).

El tipo de pretratamiento a seleccionar dependerá de las características fisicoquímicas del residuo como el contenido de humedad, de carbohidratos estructurales (celulosa, hemicelulosa y lignina), de proteína o de ácidos grasos (Pacheco et al., 2021) (Figura 3). Además, se debe considerar que la aplicación del pretratamiento también puede tener un impacto ambiental negativo como la generación de gases efecto invernadero, lixiviados contaminantes o residuos peligrosos debido al uso de solventes, ácidos o bases (Bayisa et al., 2023; Kibler et al., 2018).

## PERSPECTIVAS FUTURAS Y CONCLUSIONES

El avance en tecnologías de conversión y manejo de residuos abre perspectivas prometedoras para su uso en la producción de biocombustibles. Se espera que la integración de procesos de biorefinería, donde se aprovechen múltiples fracciones de los residuos para obtener diversos productos de valor añadido, que aumente la viabilidad económica de estos sistemas (Kamm & Kamm, 2004).

Sin embargo, aún persisten retos significativos como la variabilidad en la composición de los residuos, los costos asociados al pretratamiento y las limitaciones de infraestructura logística (Sawatdeenarunat et al., 2015). Superar estas barreras requiere inversiones en innovación tecnológica, esquemas de incentivos gubernamentales y mayor concienciación pública.

En conclusión, el manejo de residuos para la producción de biocombustibles representa una oportunidad clave para la transición energética sostenible, combinando beneficios ambientales, económicos y sociales. Consolidar esta estrategia demanda esfuerzos coordinados entre el sector público, la academia y la industria para convertir residuos en recursos de valor energético.

## REFERENCIAS

- Ananthi, V., Ramesh, U., Balaji, P., Kumar, P., Govarthan, M., & Arun, A. (2024). A review on the impact of various factors on biohydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 52. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.08.046>
- Ariunbaatar, J., Panico, A., Esposito, G., Pirozzi, F., & Lens, P. N. L. (2014). Pretreatment methods to enhance anaerobic digestion of organic solid waste. In *Applied Energy* (Vol. 123). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.02.035>

- Bayisa, Y. M., Bullo, T. A., Jiru, E. B., & Ancha, V. R. (2023). Sustainable green biogas production from pretreated wheat straw blended with coffee husk using neem leaves-based iron (III) nanocatalyst via response surface methodology. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 136(3). <https://doi.org/10.1007/s11144-023-02417-9>
- Capanoglu, E., Nemli, E., & Tomas-Barberan, F. (2022). Novel Approaches in the Valorization of Agricultural Wastes and Their Applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(23). <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c07104>
- Carrere, H., Antonopoulou, G., Affes, R., Passos, F., Battimelli, A., Lyberatos, G., & Ferrer, I. (2016). Review of feedstock pretreatment strategies for improved anaerobic digestion: From lab-scale research to full-scale application. In *Bioresource Technology* (Vol. 199). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.09.007>
- Chandel, A. K., Garlapati, V. K., Singh, A. K., Antunes, F. A. F., & da Silva, S. S. (2018). The path forward for lignocellulose biorefineries: Bottlenecks, solutions, and perspective on commercialization. In *Bioresource Technology* (Vol. 264). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.06.004>
- Cherubini, F. (2010). The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. *Energy Conversion and Management*, 51(7). <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.01.015>
- Demirbas, A. (2011). Competitive liquid biofuels from biomass. In *Applied Energy* (Vol. 88, Issue 1). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.07.016>
- Deublein, D., & Steinhauser, A. (2010). Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction, Second Edition. In *Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction, Second Edition*. <https://doi.org/10.1002/9783527632794>
- Edeh, I. (2021). Bioethanol Production: An Overview. In *Bioethanol Technologies*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.94895>
- García-López, D. A., De Philippis, R., & Olgún, E. J. (2015). El potencial de las bacterias púrpuras no sulfurosas (BPNS) en la producción biológica de hidrógeno. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*, 6(1). <https://doi.org/10.7603/s40682-015-0001-6>
- Gerhardt, M., Pelenc, V., & Bäuml, M. (2007). Application of hydrolytic enzymes in the agricultural biogas production: Results from practical applications in Germany. In *Biotechnology Journal* (Vol. 2, Issue 12). <https://doi.org/10.1002/biot.200700220>
- IEA. (2021). Renewables 2021 Analysis and Forecast to 2026. *International Energy Agency (IEA) Publications International*.
- Kamm, B., & Kamm, M. (2004). Principles of biorefineries. In *Applied Microbiology and Biotechnology* (Vol. 64, Issue 2). <https://doi.org/10.1007/s00253-003-1537-7>
- Kibler, K. M., Reinhart, D., Hawkins, C., Motlagh, A. M., & Wright, J. (2018). Food waste and the food-energy-water nexus: A review of food waste management alternatives. In *Waste Management* (Vol. 74). <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.014>
- Lu, Y., Lai, Q., Zhang, C., Zhao, H., Ma, K., Zhao, X., Chen, H., Liu, D., & Xing, X. H. (2009). Characteristics of hydrogen and methane production from cornstalks by an augmented two- or three-stage anaerobic fermentation process. In *Bioresource Technology* (Vol. 100, Issue 12). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.01.023>
- Mackul'ak, T., Prousek, J., Švorc, L., & Drtil, M. (2012). Increase of biogas production from pretreated hay and leaves using wood-rotting fungi. *Chemical Papers*, 66(7). <https://doi.org/10.2478/s11696-012-0171-1>
- Mata-Alvarez, J., Dosta, J., Romero-Güiza, M. S., Fonoll, X., Peces, M., & Astals, S. (2014). A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 36). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.039>
- Meher, L. C., Vidya Sagar, D., & Naik, S. N. (2006). Technical aspects of biodiesel production by transesterification - A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 10, Issue 3). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.09.002>
- Muthangya, M., Mshandete, A. M., & Kivaisi, A. K. (2009). Two-stage fungal pre-treatment for improved biogas production from sisal leaf decortication residues. *International Journal of Molecular Sciences*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/ijms10114805>
- Naik, S. N., Goud, V. V., Rout, P. K., & Dalai, A. K. (2010). Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 14, Issue 2). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.003>
- Nasir, I. M., Mohd Ghazi, T. I., & Omar, R. (2012). Anaerobic digestion technology in livestock manure treatment for biogas production: A review. In *Engineering in Life Sciences* (Vol. 12, Issue 3). <https://doi.org/10.1002/elsc.201100150>
- Pacheco, A. M., Porras, I. D., & Rodríguez, D. A. (2021). Dispositivo para la clasificación de residuos sólidos y medición de huella ecológica. *Revista Habitus: Semilleros de Investigación*, 1(2). <https://doi.org/10.19053/22158391.12181>
- Rodionova, M. V., Poudyal, R. S., Tiwari, I., Voloshin, R. A., Zhar-mukhamedov, S. K., Nam, H. G., Zayadan, B. K., Bruce, B. D., Hou, H. J. M., & Allakhverdiev, S. I. (2017). Biofuel production: Challenges and opportunities. In *International Journal of Hydrogen Energy* (Vol. 42, Issue 12). <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.11.125>
- Romano, R. T., Zhang, R., Teter, S., & McGarvey, J. A. (2009). The effect of enzyme addition on anaerobic digestion of Jose Tall Wheat Grass. *Bioresource Technology*, 100(20). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.065>
- Sánchez, C. (2009). Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi. In *Biotechnology Advances* (Vol. 27, Issue 2). <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.11.001>
- Sánchez Riaño, A. M., Gutiérrez Morales, A. I., Muñoz Hernández, J. A., & Rivera Barrero, C. A. (2010). Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. *Tumbaga*, 5.
- Sarkar, N., Ghosh, S. K., Bannerjee, S., & Aikat, K. (2012). Bioethanol production from agricultural wastes: An overview. In *Renewable Energy* (Vol. 37, Issue 1). <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.06.045>

- Sawatdeenarunat, C., Surendra, K. C., Takara, D., Oechsner, H., & Khanal, S. K. (2015). Anaerobic digestion of lignocellulosic biomass: Challenges and opportunities. In *Biore-source Technology* (Vol. 178). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.09.103>
- Siles López, J. Á., Martín Santos, M. de los Á., Chica Pérez, A. F., & Martín Martín, A. (2009). Anaerobic digestion of glycerol derived from biodiesel manufacturing. *Biore-source Technology*, 100(23). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.06.017>
- Stephen, J. L., & Periyasamy, B. (2018). Innovative developments in biofuels production from organic waste materials: A review. In *Fuel* (Vol. 214). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.11.042>
- Taherzadeh, M. J., & Karimi, K. (2008). Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: A review. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 9, Issue 9). <https://doi.org/10.3390/ijms9091621>
- Valdez-Vazquez, I., & Poggi-Varaldo, H. M. (2009). Hydrogen production by fermentative consortia. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 13, Issue 5). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.03.003>
- Yunqin, L., Dehan, W., & Lishang, W. (2010). Biological pretreatment enhances biogas production in the anaerobic digestion of pulp and paper sludge. *Waste Management and Research*, 28(9). <https://doi.org/10.1177/0734242X09358734>
- Zhang, Q., He, J., Tian, M., Mao, Z., Tang, L., Zhang, J., & Zhang, H. (2011). Enhancement of methane production from cassava residues by biological pretreatment using a constructed microbial consortium. *Biore-source Technology*, 102(19). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.06.061>
- Zheng, Y., Zhao, J., Xu, F., & Li, Y. (2014). Pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biogas production. In *Progress in Energy and Combustion Science* (Vol. 42, Issue 1). <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2014.01.001>
- Zhong, W., Zhang, Z., Luo, Y., Sun, S., Qiao, W., & Xiao, M. (2011). Effect of biological pretreatments in enhancing corn straw biogas production. *Biore-source Technology*, 102(24). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.09.077>
- Ziemiński, K., Romanowska, I., & Kowalska, M. (2012). Enzymatic pretreatment of lignocellulosic wastes to improve biogas production. *Waste Management*, 32(6). <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.01.016>