



Diana Sánchez Herrera, Elena Rustrián Portilla, Odilón Sánchez Sánchez,
Eric Pascal Houbroun y Mauricio Luna Rodríguez



Biodegradación como fuente de energía renovable

Ante la problemática creciente del cambio climático y el agotamiento de los combustibles fósiles, la generación de energías renovables ha sido uno de los temas de creciente interés a nivel mundial. Por tal motivo, este artículo plantea la importancia de los desechos vegetales (residuos lignocelulósicos) como fuente de energía alternativa. De igual manera, se resalta el papel de los microorganismos que descomponen dichos residuos. Por último, se menciona brevemente la investigación que actualmente se lleva cabo en nuestro grupo de trabajo con respecto a la generación de biogás a partir de residuos lignocelulósicos, como ejemplo de la generación de conocimiento para mejorar los procesos de generación de bioenergía.

Se han preguntado alguna vez cómo es que las hojas, ramas, frutos y semillas que caen de los árboles se descomponen? En un primer acercamiento se puede encontrar la respuesta en lo que percibimos con nuestros sentidos y particularmente con lo que podemos observar a simple vista; esto es, en la acción de la humedad, la lluvia, el viento y el calor. Sin embargo, existen otras



posibilidades que, al pertenecer al mundo microscópico y por lo tanto no visible para el ojo humano, no son parte de nuestra primera consideración. En este universo microscópico existen infinidad de microorganismos, entre los que se encuentran bacterias, virus y hongos, de los cuales hemos tenido noticia cuando sufrimos alguna enfermedad producida por ellos, en cuyo caso se consideran patógenos. Los hongos y las bacterias pueden encontrarse prácticamente en cualquier lugar (en la tierra, el aire o el agua). En el caso

de las bacterias, se sabe que incluso viven en el interior de nuestro cuerpo y llegan a ocasionar enfermedades; no obstante, muchas son benéficas y colaboran en los procesos celulares.

■ De los residuos vegetales

Retomando nuestra pregunta inicial, podemos decir que tanto los hongos como las bacterias tienen un papel protagonista en la descomposición de los desechos





orgánicos, ya que mediante su actividad ayudan a incorporar estos desechos al suelo de los ecosistemas terrestres, lo que permite el reciclaje de los nutrientes. Partiremos de esta idea, y de manera particular nos adentraremos en la descomposición y utilización de uno de los residuos orgánicos de más lenta y difícil degradación: los residuos lignocelulósicos. Éstos provienen de las plantas, las cuales poseen lignocelulosa como principal componente de su pared celular. Se considera que los residuos lignocelulósicos son de los más abundantes en el planeta: llegan a generarse hasta 200 billones de toneladas por año. De ahí que su degradación y uso resulte de suma importancia para el reciclado de diferentes elementos (carbono, oxígeno, azufre, agua, etc.) y el mantenimiento de los ciclos biogeoquímicos en nuestro planeta.

La composición de este tipo de desechos constituye un verdadero reto para las bacterias y los hongos que llevan a cabo su degradación, ya que aproximadamente 90% de su peso seco se encuentra en forma de estructuras complejas y difíciles de degradar para otro tipo de organismos; tal es el caso de la celulosa, hemicelulosa, lignina y pectina.

¿Quiénes los descomponen y cómo lo hacen?

La acción de los microorganismos capaces de digerir los desechos lignocelulósicos genera productos de alto valor agregado, como ácidos orgánicos y enzimas,

así como compuestos monoméricos (azúcares) biodisponibles que pueden ser utilizados para su conversión a biocombustibles (biogás, bioetanol, biohidrógeno, etc.). Estos temas de actualidad son de suma importancia para la búsqueda de energías alternativas y limpias, frente al agotamiento de los combustibles de origen fósil y la emisión de gases de efecto invernadero.

Ante este hecho, y desde hace ya algún tiempo (1975), el ser humano, curioso y ávido de conocimiento, descubrió la capacidad de los microorganismos para ingerir ese tipo de desechos. Esto, gracias a los trabajos realizados por C. G. Orpin, bioquímico y microbiólogo que observó cómo un hongo presente en el rumen de las vacas degradaba la lignocelulosa contenida en el alimento ingerido por el animal. En la Figura 1 se puede ver cómo se lleva a cabo la degradación de la celulosa por la acción de diferentes enzimas.

Sumado a las dificultades para la optimización de los métodos para la descomposición de la celulosa, la habilidad de la lignina para repeler el agua (hidrofobicidad) añade un peldaño más a las limitaciones de los agentes biológicos responsables de la degradación de este tipo de desechos. Hoy día se sabe de la existencia de hongos (principalmente de pudrición blanca) y bacterias con enzimas modificadoras de lignina (peroxidasas y muchas fenol-oxidasas del tipo lacasas) que permiten su descomposición. Para comprender un poco más sobre la complejidad de descomponer este tipo de residuos, en la Figura 2 se muestra una representación esquemática de su estructura general.

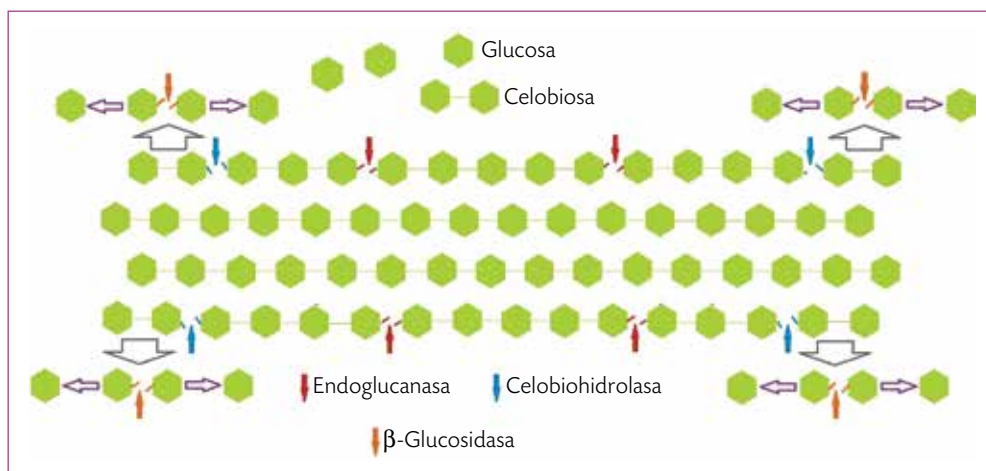


Figura 1. Degradación de celulosa.

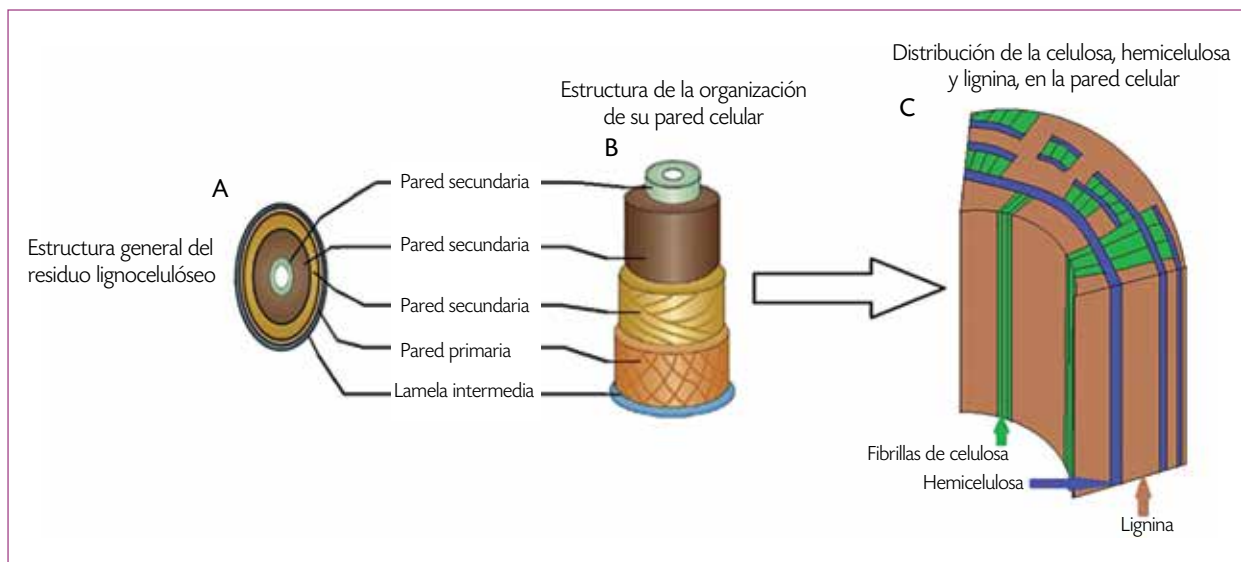


Figura 2. (A) Representación esquemática general de un residuo lignocelulósico; (B) Las cadenas de celulosa se encuentran empaquetadas en microfibrillas, que se unen entre sí por la hemicelulosa; (C) La lignina se encuentra distribuida como una matriz que empaqueta las porciones de celulosa y hemicelulosa presentes en el residuo lignocelulósico. Figura modificada de Menon y Rao (2012) y Pérez *et al.* (2002).

Las lacasas de los hongos han sido ampliamente estudiadas por sus aplicaciones biotecnológicas, mientras son pocas las lacasas bacterianas que han sido caracterizadas bioquímicamente. En la Figura 3 se presentan algunas microfografías de las bacterias generadoras de lacasas. Actualmente existen análisis de secuencias bacterianas (dentro del Genbank) que indican la amplia distribución de lacasas en procariontas, e inclusive se conoce también la presencia de microorganismos con dicha actividad, capaces de realizar la hidrólisis de la lignina generadora de acetato, metano e hidrógeno en

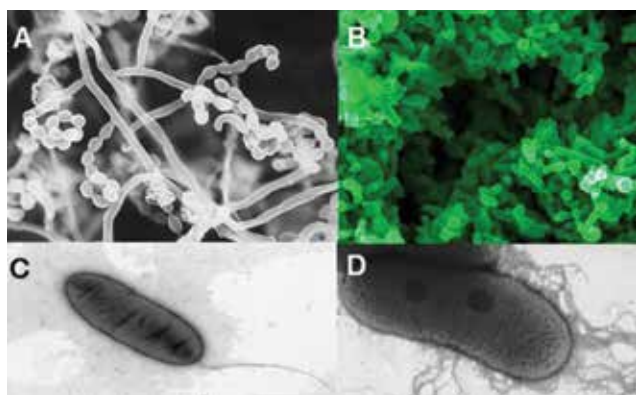


Figura 3. Bacterias generadoras de enzimas lacasas. A: *Streptomyces* sp., B: *Bacillus subtilis*, C: *Pseudomonas*, y D: *Azospirillum lipoferum*. Tomadas de Shomura *et al.* (2002), Arnhold y Rexer (2010), Carrión *et al.* (2011) y Alexandre *et al.* (1999), respectivamente.

el intestino de termitas (Brune, 2014). Este tipo de investigación requiere ser complementada con estudios ulteriores que permitan una mayor comprensión sobre los mecanismos por los cuales dichas enzimas logran la descomposición de residuos de difícil degradación. El conocimiento generado por dichos estudios y la investigación sobre la degradación de la celulosa y hemicelulosa, proyecta una gran potencialidad en cuanto al desarrollo de planteamientos metodológicos eficientes con respecto a la degradación de los residuos lignocelulósicos.

¿Cómo aprovechamos este conocimiento para la generación de una energía renovable?

Actualmente, en el Centro de Investigaciones Tropicales de la Universidad Veracruzana, en colaboración con el Laboratorio de Gestión y Control Ambiental de la Facultad de Ciencias Químicas de Orizaba, de la misma universidad, llevamos a cabo estudios sobre la potencialidad energética de los microorganismos del suelo. Esto lo hacemos mediante el aislamiento de bacterias con actividad de lacasas para la degradación del residuo del beneficio de la caña de azúcar, también denominado rastrojo. Una de las aportaciones de especial interés es el desarrollo de métodos alternativos



¿Qué son la energía renovable y la bioenergía?

El término de *energía renovable* surge debido a la conceptualización del ser humano, bajo la lógica de que la energía renovable es virtualmente inagotable. Ésta se genera de manera continua a partir de fuentes de energía solar, geotérmica o mareomotriz.

La bioenergía es toda aquella generada a partir de la biomasa (materia orgánica), como es el caso de las plantas y sus residuos. Si alguna vez has hecho una fogata con madera en un campamento, habrás utilizado este tipo de energía. Muchas industrias, como las involucradas en la construcción, elaboración de productos alimenticios o agrícolas, generan grandes cantidades de biomasa residual que puede servir como fuente para la generación de bioenergía. Ésta puede clasificarse en dos grandes grupos:

Bioelectricidad: se basa en la transformación de biomasa a energía eléctrica. Las plantas generadoras de electricidad a base de carbón han comprobado que el remplazo del carbón por biomasa (en 15%) presenta una alternativa de bajo costo, que además disminuye las emisiones de gases contaminantes al ambiente (dióxido de azufre y óxido nitroso). Otro ejemplo de este tipo de energía es la gasificación, que se basa en la conversión de biomasa a gas, el cual se quema en una turbina para la generación de electricidad.

Biocombustibles: son producto de la conversión directa de la biomasa a combustibles líquidos. Debido a su facilidad de transporte y su elevada densidad energética, se utilizan mayormente en vehículos y en algunas plantas estacionarias generadoras de energía. Los más comunes son el etanol y el biogás, productos de la fermentación y digestión anaerobia de la biomasa.



para el aprovechamiento de este residuo con el objetivo de reducir los efectos contaminantes generados por su quema. De igual forma, se plantea el mejoramiento de los procesos de generación de bioenergía a través de pretratamientos biológicos de residuos vegetales para la generación de gas metano como bioenergético. Este tipo de biocombustible es de particular interés debido a la versatilidad de su aprovechamiento como fuente de energía alternativa, por lo cual puede utilizarse en sistemas de calefacción y estufas, o bien como combustible automotriz.

Este breve acercamiento a la actividad de los microorganismos degradadores de residuos lignocelulósicos pone en evidencia su potencialidad y aplicabilidad en campos tan interesantes como la producción de biocombustibles. La aplicabilidad de estos seres diminutos en este aspecto ha sido de especial interés, sobre todo en la generación de energías renovables. En este sentido, actualmente se encuentra en boga la generación de conocimiento científico referente a la producción de bioetanol, biodiésel, biogás y biohidrógeno como principales productos para la generación de combustibles amigables con el ambiente.

Por último, es importante recordar que la presencia de estos seres diminutos hace posible el reciclado de uno de los principales desechos orgánicos en el planeta: los residuos lignocelulósicos. Sin ellos, no sólo sería imposible el aprovechamiento de dichos residuos para la generación de energía alternativa, sino que tanto el planeta como los seres vivos que dependen de ellos se verían afectados, debido a la disminución de su descomposición y su eventual acumulación.

Diana E. Sánchez Herrera es bióloga egresada de la Facultad de Biología de la Universidad Veracruzana (UV). Obtuvo el grado de maestra en Ciencias por el Centro de Investigación Científica de Yucatán, donde cursó el posgrado de Energías Renovables. Actualmente cursa el último semestre del doctorado en Ecología Tropical del Centro de Investigaciones Tropicales de la UV. prosatirik2@gmail.com

Elena Rustrián Portilla es bióloga egresada de la Universidad Veracruzana. Realizó la maestría en Biotecnología de Fermentaciones en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma

de México; y el doctorado en Ecología Microbiana en la Universidad Claude Bernard (Francia). Desde 2001 es docente titular de tiempo completo en la Facultad de Ciencias Químicas de Orizaba (uv). Es coordinadora regional de Posgrado e Investigación y miembro del Consejo Académico Asesor de la Rectoría de la uv. Líneas de investigación: procesos de eliminación de nutrientes por vía biológica y calidad de aguas superficiales. Autora de 15 artículos en revistas indizadas o con arbitraje; un libro y tres capítulos de libro; diez contribuciones en memorias en extenso y 30 participaciones en congresos internacionales. erustrian@uv.mx

Odilón M. Sánchez Sánchez es biólogo egresado de la Universidad Veracruzana (uv). Realizó la maestría en Ciencias en Ecología Forestal y el doctorado en Recursos Genéticos Forestales en el Instituto de Genética Forestal de la uv. Trabajó en el Colegio de la Frontera Sur (Ecosur), donde participó como fundador y director del Jardín Botánico Dr. Alfredo Barrera Marín. Se desempeñó como curador del herbario del mismo colegio. Actualmente es profesor investigador adscrito al Centro de Investigaciones Tropicales de la uv, donde fungió como coordinador del Programa de Posgrado en Ecología Tropical. Línea de investigación: estudio y conservación estratégica de recursos vegetales para el fomento de actividades ecológicas y productivas. Ha participado como autor o coautor de siete libros y más de 50 publicaciones científicas y de divulgación de carácter nacional e internacional. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel I.

odsanchez@uv.mx

Eric Pascal Houbron es biólogo experimental por la Universidad Paul Sabatier; maestro en Microbiología; doctor en Ingeniería de Procesos Industriales en el Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas (Francia); y posdoctorado en el Departamento de Ingeniería Química en la Universidad de Ciencias de Valladolid. Laboró dos años en el Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) de Narbonne, Francia. Es docente titular de tiempo completo en la Facultad de Ciencias Químicas de Orizaba de la Universidad Veracruzana, desde 1998. Miembro del Sistema Veracruzano de Investigación, de la International Water Association, y de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería. Líneas de investigación: tratamiento de aguas residuales y de desechos sólidos orgánicos. Autor de 14 artículos en revistas indizadas o con arbitraje, un capítulo de libro, 84 contribuciones en memorias en extenso y 30 participaciones en congresos internacionales. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel I.

ehoubron@uv.mx

Mauricio Luna Rodríguez es biólogo egresado de la Universidad Veracruzana (uv). Realizó el doctorado en Ciencias en Biotecnología de Plantas dentro de la misma universidad. Es investigador de tiempo completo, académico de carrera titular "C" adscrito al Laboratorio de Alta Tecnología de Xalapa (Latex) de la uv. Es el tercer especialista en diagnóstico fitosanitario de bacterias y virus desde 1999 (Sagarpa). Línea de investigación: estudio de microbiología y biotecnología vegetal, con especial interés en el entendimiento y aprovechamiento de las interacciones microbio-microbio y microbio-planta, la identificación y el estudio de la diversidad genética de las especies. Cuenta con más de 50 trabajos presentados en congresos académicos nacionales e internacionales. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel I.

mluna@uv.mx

Lecturas recomendadas

- Alexandre, G., R. Rohr y R. Bally (1999), "A phase variant of *Azospirillum lipoferum* lacks a polar flagellum and constitutively expresses mechanosensing lateral flagella", *Applied and Environmental Microbiology*, 65:4701-4704.
- Arnhold, C. y K. H. Rexer (2010), "Stress responses of the soil bacterium *Bacillus subtilis* to changing osmolarity", *Philipps-University Marburg*. Disponible en <<http://www.uni-marburg.de/fb17/fachgebiete/mikrobio/molmibi/forschung>>. Consultado el 30 de abril de 2014.
- Brune, A. (2014), "Symbiotic digestion of lignocellulose in termite guts", *Nature Reviews Microbiology*, 12:168-180.
- Carrión, O., D. Miñana-Galbis, M. Montes y E. Mercadé (2011), "*Pseudomonas deceptionensis* sp. nov., a psychrotolerant bacterium from the Antarctic", *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 61:2401-2405.
- Menon, V. y M. Rao (2012), "Trends in bioconversion of lignocellulose: Biofuels, platform chemicals & biorefinery concept", *Progress in Energy and Combustion Science*, 38:522-550.
- Pérez, J., J. Muñoz-Dorado, T. de la Rubia y J. Martínez (2002), "Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: An overview", *Int. Microbiology*, 5:53-63.
- Shomura, T., S. Amano y T. Niida (2002), "*Streptomyces* sp. SF1293", *The Society for Actinomycetes*. Disponible en <<http://www0.nih.go.jp/saj/Atlas/subwin.cgi?section=7&fig=19>>. Consultado el 30 de abril de 2014.