

De Residuos Orgánicos a Energía Renovable: Una Realidad en el Contexto Mexicano

Las aguas residuales y residuos orgánicos constituyen una oportunidad única para la generación de bioenergía



Los residuos orgánicos y las aguas residuales presentan diferentes problemas para su aprovechamiento energético.

La agroindustria tiene como una de sus principales preocupaciones la gestión y tratamiento de sus residuos orgánicos y aguas residuales. Por ejemplo, la industria quesera genera aproximadamente nueve kg de lactosuero por cada kg de queso con una demanda química de oxígeno (DQO) que oscila entre 40 mil a 80 mil mg DQO/L. Por su parte, la industria tequilera genera alrededor de 10 litros de vinazas por cada litro de tequila, con una carga orgánica que va desde 25 mil a 60 mil mg DQO/L (Buitrón & Carvajal, 2010). Y en otras agroindustrias como en la ganadera, se pueden generar hasta 68 kg de excretas por cabeza de vaca lactante.

El biometano se produce en un proceso denominado digestión anaerobia, que es por mucho, el bioproceso más robusto y económico para producción de biocombustibles



Debido a la carga orgánica de estos residuos, estas industrias se ven obligadas a invertir en sistemas de tratamiento y disposición que conlleva a altos costos de operación.

No obstante, este tipo de aguas residuales y residuos orgánicos constituyen una oportunidad única para la generación de bioenergía. En México ya existen numerosos casos de éxito en la agroindustria que utilizan diferentes tipos de residuos sólidos para la generación de electricidad. Esto se logra a través de procesos que utilizan microorganismos que convierten la materia orgánica contenida en dichos residuos en un biogás compuesto de metano y dióxido de carbono. Si este biogás contiene al menos 60 por ciento de metano, es posible su aprovechamiento energético a través de calderas, motores, microturbinas y sistemas de cogeneración de energía térmica y eléctrica. Las aguas residuales y residuos sólidos orgánicos de diferentes agroindustrias como la tequilera, quesera, vitivinícola, entre otras, pudieran ser valorizados de la misma forma. Entonces, ¿en qué consiste el reto?

Dependiendo de su origen, los residuos orgánicos y las aguas residuales presentan diferentes problemas para su aprovechamiento energético. Un ejemplo muy representativo son las vinazas tequileras que, debido a su alta carga orgánica, presentan problemas de inhibición de los sistemas biológicos utilizados para la producción de biogás. Así, el reto consiste en obtener paquetes tecnológicos para la producción de biocombustibles para cada tipo de residuos. Para ello, en 2016, la Secretaría de Energía (SENER) en conjunto con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) apoyaron la creación del Centro Mexicano de Innovación en Bioenergía (CEMIE Bio), que tiene como principal objetivo aprovechar el enorme potencial de la biomasa natural y residual que tiene el país para la generación de energía limpia.

La Unidad Académica Juriquilla del Instituto de Ingeniería de la UNAM (UAJ-IIUNAM) participa en el CEMIE Bio, dentro del Clúster de Biocombustibles Gaseosos con el objetivo de producir bioenergía a partir de cuatro materias primas: residuos orgánicos municipales, lodos de purga de plantas de tratamiento de aguas, vinazas de la industria vitivinícola del Estado de Querétaro, así como bagazos de agave de la

En la Unidad Académica Juriquilla de la UNAM se desarrollan tecnologías biológicas eficientes y robustas de purificación de ácido sulfhídrico, amoníaco y siloxanos

industria tequilera. Todos los desarrollos tecnológicos se basan en distintos bioprocesos que utilizan microorganismos para convertir las materias primas en dos tipos de biocombustibles gaseosos, el biometano (CH_4) y el biohidrógeno (H_2).

El biometano se produce en un proceso denominado digestión anaerobia, que es por mucho, el bioproceso más robusto y económico para producción de biocombustibles. En la digestión anaerobia tienen lugar una serie de procesos biológicos complejos que convierten los residuos orgánicos en una mezcla gaseosa de metano, dióxido de carbono y otras impurezas, así como sólidos digeridos denominados digestato.

Por su parte, el biohidrógeno es un gas cien por ciento limpio que no genera emisiones contaminantes durante su uso. A diferencia de la digestión anaerobia, la producción de biohidrógeno constituye la conversión parcial de los residuos orgánicos en una mezcla gaseosa de hidrógeno, dióxido de carbono y sólidos con altas cargas orgánicas. La investigación que se realiza en la UAJ-IIUNAM ha logrado desarrollar sistemas de tratamiento de diferentes residuos agroindustriales en biometano y biohidrógeno mediante diferentes configuraciones de biorreactores y estrategias de operación. Por ejemplo, las vinazas tequileras se pueden utilizar en un sistema de dos etapas para producir biohidrógeno en un primer reactor y biometano en un segundo reactor alimentado con los efluentes del primero. Este sistema puede producir en un día cerca de mil 400 L de biohidrógeno por cada litro de vinaza con un contenido de 16 mil mg DQO/L, y cerca de 0.300 L de biometano por cada litro de efluente tratado.

Habilitación del biogás para su aprovechamiento

Dependiendo de las características de los residuos orgánicos, el biogás resultante pue-

de contener impurezas que deben eliminarse para poder utilizarlo en sistemas de aprovechamiento energético, tales como calderas, motores, microturbinas y sistemas de cogeneración de energía térmica y eléctrica. Los principales contaminantes del biogás incluyen ácido sulfhídrico (H_2S), amoníaco (NH_3) y los siloxanos. Estos contaminantes pueden ser perjudiciales para los equipos de aprovechamiento del biogás produciendo corrosión, erosión e incrustaciones (Gabriel & Sierra, 2017). Además, se pueden generar óxidos de azufre (SO_x) y óxidos de nitrógeno (NO_x) por oxidación del H_2S y el NH_3 en dispositivos de conversión térmicos y termo-catalíticos, que constituyen emisiones incluso más nocivas que los contaminantes originales. Las concentraciones típicas de los principales contaminantes del biogás se presentan en la Tabla 1.

(también conocidos como metil siloxanos volátiles) son un grupo de compuestos volátiles que contienen enlaces Si-O y radicales orgánicos (metilo, etilo y otros grupos orgánicos) unidos al átomo de silicio (Gabriel y Sierra, 2017). De todos los siloxanos presentes en el biogás, el octametil-ciclotetrasiloxane, conocido como D4, constituye el ~60 por ciento de todos los siloxanos del biogás (Popat y Deshusses, 2008). Los siloxanos pueden ocasionar daños graves a los motores ya que su incineración genera óxido de silicio, depositándose como microcristales de cuarzo en cámaras de combustión, bujías, válvulas, cabezas de cilindro, entre otros componentes. Esto provoca la abrasión de la superficie interior del motor.

Tecnologías de purificación del biogás

Hoy en día existen procesos fisicoquímicos para la purificación del biogás, destacando la adsorción con carbón activado (utilizado para la remoción de siloxanos) y la absorción en soluciones alcalinas (usado en la remoción de H_2S). Sin embargo, el costo de estos tratamientos es muy elevado debido a que presentan una alta demanda energética y un elevado consumo tanto de reactivos químicos como de agua, lo cual, también reduce la sustentabilidad de estos tratamientos. Por lo tanto, existe la necesidad de desarrollar tecnologías de purificación robustas, eficientes, de bajo costo y amigables con el medio ambiente para la purificación del biogás.

Actualmente existen tecnologías de base biológica que permiten la eliminación eficiente de prácticamente todos los contaminantes del bio-

Tabla 1. Principales contaminantes del biogás y sus concentraciones típicas.

Contaminante	Rango típico de concentraciones*
H_2S	500 – 20,000 ppmv (750 – 30,000 mg/m ³)
NH_3	50 – 100 mg/m ³
Siloxanos	150 mg/m ³

*Depende del tipo de materia orgánica utilizada para la generación del biogás.

Los derivados de la oxidación tanto el H_2S como el NH_3 generan a las correspondientes especies ácidas (ácido sulfúrico [H_2SO_4] y ácido nítrico [HNO_3]), ocasionando problemas de corrosión en los sistemas de aprovechamiento energético (Fig. 1). Por su parte, los siloxanos

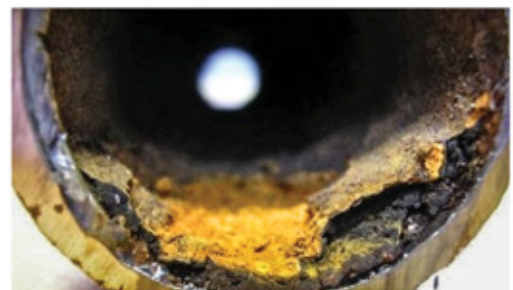
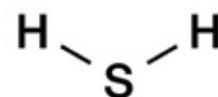
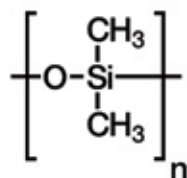


Figura 1. Acumulación de silicatos y problemas de corrosión por H_2S en sistemas de aprovechamiento energético.



gás bajo condiciones de temperatura y presión atmosférica, esto reduce de forma muy importante los costos de operación y mantenimiento con respecto a las tecnologías fisicoquímicas (Fig. 2). Los sistemas biológicos más comunes para la remoción de H_2S y NH_3 son los biofiltros percoladores y los biolavadores, siendo la concentración del contaminante el factor más importante para decidir el dispositivo más adecuado para la purificación. Los sistemas de aprovechamiento energético requieren que el biogás tenga concentraciones de H_2S y NH_3 por debajo de los 450 y 30 mg/m^3 , respectivamente. Por su parte, los fabricantes de motores que operan con biogás establecen límites máximos de siloxanos que van de los 0.03 mg/m^3 (microturbinas Capstone) a 28 mg/m^3 (Caterpillar) (Gabriel y Sierra, 2017). El biogás proveniente de rellenos sanitarios puede presentar concentraciones de siloxanos de hasta 400 mg/m^3 , por lo que su purificación es necesaria para su aprovechamiento energético.

Tecnologías de purificación de biogás desarrolladas

En la UAJ-IIUNAM se desarrollan tecnologías biológicas eficientes y robustas de purificación de H_2S , NH_3 y siloxanos. Los sistemas utilizados para la purificación del biogás son biorreactores compactos y altamente eficientes operados como biofiltros percoladores, biolavadores y sistemas multifásicos de primera y segunda generación (conocidos como two-phase partitioning bioreactors). Dependiendo de las características del biogás y del flujo de gas a tratar, se diseña el sistema de purificación más adecuado. En muchos casos, el nivel de purificación de los sistemas desarrollados es mayor al requerido por los sistemas de aprovechamiento energético, lo cual, incrementa el tiempo de vida de los equipos y disminuye costos de mantenimiento. Desde 2016, los esfuerzos de la UAJ-IIUNAM se han enfocado a la purificación de biogás proveniente de vinazas vitivinícolas, que se caracteriza por tener concentraciones de H_2S de hasta 20 mil partes por millón (ppm) en volumen. Actualmente, ya se cuenta con sistemas piloto capaces de remover hasta el 95 por ciento del H_2S , constituyendo una de las mejores tasas de purificación hasta ahora reportadas en sistemas biológicos para este tipo de biogás altamente contaminado con H_2S . Asimismo, se están investigando formas de

En México ya existen numerosos casos de éxito en la agroindustria que utilizan diferentes tipos de residuos sólidos para la generación de electricidad

valorizar el azufre eliminado del biogás convirtiéndolo en azufre elemental, el cual tiene una gran diversidad de aplicaciones industriales.

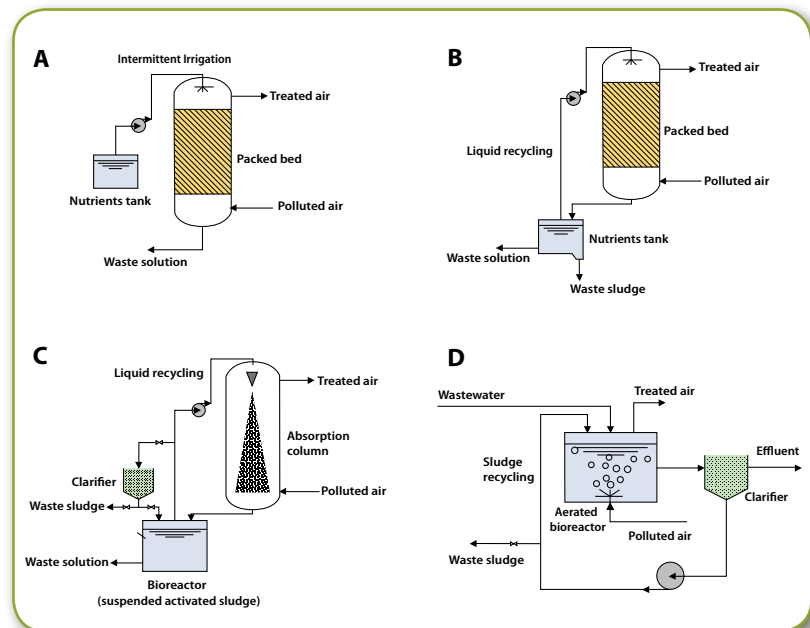


Figura 2. Tecnologías biológicas de purificación de biogás desarrolladas en la UAJ-IIUNAM, donde: (A) Biofiltro, (B) Biofiltro percolador, (C) Biolavador, (D) Sistema de difusión de lodos activos.

Referencias

Buitrón G., Carvajal C. (2010) Biohydrogen production from Tequila vinasses in an anaerobic sequencing batch reactor: Effect of initial substrate concentration, temperature and hydraulic retention time. *Bioresource Technology* 101:9071-9077.

Gabriel D., Sierra H. (2017) Purificación y usos del biogás. Universidad Autónoma de Barcelona. ISBN 978-84-490-6961-1.

Popat SC, Deshusses MA (2008) Biological removal of siloxanes from landfill and digester gases: opportunities and challenges. *Environmental Science & Technology* 42:8510-8515.