

Biometanización de residuos sólidos urbanos por adición de lixiviados de alta carga orgánica en régimen mesófilo

Donaji Stephany Flores González¹, Liliana Márquez Benavides²✉ y Otoniel Buenrostro Delgado²

¹Facultad de Biología MCIA, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Av. Universidad No. 1600. Col. Villa Universidad, C.P. 58060, Morelia Mich., México.

²Instituto de Investigaciones Agrícolas y Forestales, Laboratorio de Residuos Sólidos, UMSNH

Resumen

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la adición de lixiviado de alta carga orgánica sobre la biometanización de residuos sólidos urbanos en diferentes temperaturas del rango mesófilo. Para tal efecto se empacaron 6 reactores anaerobios con la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FORSU), a escala laboratorio. Los reactores fueron sometidos a tres diferentes temperaturas del régimen mesófilo, 20, 30 y 40 °C. Los reactores que presentaron la mayor tasa de producción de biogás fueron aquellos sometidos a temperaturas de 30 y 40 °C respectivamente, tanto en la tasa de producción de metano (1 CH₄/kg STV) como en la proporción de metano en el biogás. Además, a estas temperaturas se logró alcanzar la fase de biometanización en tiempos más cortos que los reactores sometidos a 20 °C.

Palabras Clave: lixiviados, alta carga orgánica, residuos sólidos

Abstract

The aim of this study was to determine the effect of the addition of high organic leachate on the biomethanation of municipal solid waste at different temperatures of the mesophilic range. For this purpose, six laboratory-scale anaerobic reactors were packed with the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW). The bioreactors were subjected to three different temperatures of the mesophilic regime, 20, 30 and 40 °C. The reactors that presented the highest rate of biogas production were those subjected to temperatures of 30 and 40 °C respectively, both in relation to the methane production rate (1 CH₄/kg STV) and to the proportion of methane in the biogas. In addition, these temperatures reached the methanogenic phase in shorter periods than the reactors under 20 °C.

Keywords: leachate, high organic load, solid waste

Introducción

Un relleno sanitario bajo las condiciones adecuadas funciona como un digestor anaerobio. Las fases de degradación anaerobia (DA) que se presentan dentro de los rellenos sanitarios se pueden generalizar en (Robles 2008, Tchobanoglous *et al.*, 1994):

1. Fase aerobia (disposición de los residuos).
2. Fase fermentativa (cambio progresivo a condiciones de anaerobiosis, caída del potencial redox).
3. Fase ácida (hidrólisis y acidogénesis, baja el pH y carga orgánica de lixiviados elevada).
4. Fase metanogénica acelerada (acetogénesis y metanogénesis, sube progresivamente el pH, disminución de la carga orgánica de los lixiviados, alta producción de biogás rico en metano).
5. Fase metanogénica estable (maduración del sitio, estabilización de la materia orgánica, caída de la producción de biogás consecuencia del agotamiento de sustratos).

Los factores cruciales en la producción de biogás en la digestión anaerobia son: las poblaciones microbianas (Díaz *et al.*, 2002), la composición química de los residuos, la humedad del residuo al interior del relleno, la temperatura, la presencia de compuestos inhibidores, la disponibilidad de nutrientes, etc. La humedad que contienen los residuos sólidos urbanos (RSU) es muy variable; Westlake (1995), afirma que la humedad típica de los RSU se encuentra entre 20-30% en ciudades en desarrollo y entre 40-50% en ciudades desarrolladas, esta variación en el contenido de humedad se presenta principalmente por los estilos de vida de cada zona.

El agua contenida en los RSU proviene principalmente de la fracción orgánica fácilmente biodegradable, aunque este contenido es variable dependiendo de la forma de almacenamiento, la forma de recolección de los residuos, el clima, etc., (Tchobanoglous *et al.*, 1994, Suna *et al.*, 2007).

En el proceso de digestión anaerobia, la materia orgánica contenida es convertida biológicamente, bajo condiciones anaerobias, en metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), la composición de la mezcla es de manera general 65% metano y 35% dióxido de carbono (Mata 2003). En este proceso, una de las variables más influyentes es la humedad; comúnmente la humedad dentro del relleno sanitario se puede aumentar al reinyectar el lixiviado producido por la digestión anaerobia. Sin embargo, el lixiviado suele ser un material heterogéneo y cuando el relleno sanitario es joven la carga orgánica puede ser ≥60 g DQO/l, aumentada además por el lavado a través de la matriz

✉ **Autor de correspondencia:** Liliana Márquez Benavides. Facultad de Biología MCIA, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Av. Universidad No. 1600. Col. Villa Universidad, C.P. 58060, Morelia Mich., México. email: lmarquez@umich.mx, lili.marquez@gmail.com

de residuos. Existen distintos reportes que estudian la influencia de manejar diferentes volúmenes de recirculación (Benson *et al.*, 2007; Chug and Clarke, 1998; Hernández *et al.*, 2010), sin embargo, es evidente que la composición del lixiviado a reinyectar también influye en la biometanización como fuente propia de material para el proceso.

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la adición de lixiviado de alta carga orgánica sobre la biometanización de residuos sólidos urbanos en diferentes temperaturas del rango mesófilo.

Materiales y métodos

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron 6 biorreactores a escala laboratorio, con un diámetro interno de dos pulgadas y una altura de 18 cm (cuerpo), construidos con PVC cédula 40. Cada biorreactor consta de tres compartimientos: un cuerpo para el empaque de la FORSU, un domo para el biogás generado y la entrada del lixiviado recirculado (con su respectivo sistema de recirculación), y un fondo donde se contienen y evacuan los lixiviados recirculados (**Figura 1**).



Figura 1. Reactores digestores anaerobios conectados a sistema de recolección de lixiviados y medición de biogás por desplazamiento.

Los reactores fueron empacados con 247.2 g de la FORSU preparada de acuerdo a la composición obtenida en un estudio previo de los cuatro sectores del RESA (**Tabla 1**). Los lixiviados con los que se trabajó son provenientes del relleno sanitario de la ciudad de Guanajuato, Guanajuato.

Se realizó el monitoreo de los 6 reactores anaerobios durante 140 días, a cada reactor se le recirculó un volumen de 3.5 l de lixiviados; además, se les adecuó un sistema de medición de volumen de biogás (por desplazamiento). Los reactores fueron sometidos a tres diferentes temperaturas del régimen mesófilo, 20, 30 y 40 °C.

Métodos analíticos

Metano en biogás

El contenido de metano en el biogás se analizó con un cromatógrafo Varian (CP 3800) utilizando un detector de flama

Tabla 1. Porcentaje promedio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y su equivalente en peso

Categoría	FO (%)	FO g
Cartón	6.98	17.24
Cuero	0.51	1.25
Hueso	1.81	4.48
Madera	0.75	1.86
Papel	13.43	33.19
Residuos alimenticios	75.21	185.91
Residuos de jardinería	1.32	3.26
TOTAL	100	247.2

ionizante (FID). Se usó una columna de acero inoxidable (de 2m de longitud y diámetro interno de 2mm) empacada con HAYESEP Q 80-100 MESH. Se utilizó nitrógeno libre de oxígeno como gas portador con un caudal constante de 30mL/min. Las temperaturas del horno, el inyector y el detector se mantuvieron en 90, 200 y 210 °C, respectivamente.

Demanda química de oxígeno

La determinación de la DQO en las muestras de lixiviados se realizó por duplicado de acuerdo al método HACH de dicromato de potasio III (aprobado por la USEPA), usando tubos HACH (cat. 10067 20-1,000 mg/l) y un espectrofotómetro portable HACH DR/820. Previo a su análisis, la muestra de lixiviado se clarificó (2.0 ml) en una centrifuga eppendorf, a 9000 rpm/5 min.

Resultados

La operación de los reactores con un sistema sellado permitió la degradación anaerobia de los residuos sólidos municipales empacados. Todos los regímenes de temperatura permitieron el establecimiento de la fase metanogénica y por ende, el desarrollo de las etapas de esta fermentación se pudo detectar en durante la operación. Los reactores a temperatura de 30 y 40 °C, respectivamente, alcanzaron la etapa francamente metanogénica en el día 28 de experimentación, lo cual indica que los procesos de digestión anaerobia ocurrieron adecuadamente en dichos reactores. El contenido de metano en el biogás sirvió como indicador del proceso de digestión anaerobia, este valor fue alto desde la tercer semana de experimentación ya que todos los reactores presentaban un promedio de 37% de metano; para el día 70 los reactores a temperaturas de 30 y 40 °C ya habían alcanzado el máximo contenido de metano en el biogás (ambos presentaban 100% de metano). Los controles tardaron 70 días para presentar un incremento considerable en metano (hasta 55% de metano en el biogás) sin embargo al día 127 seguían presentando una importante generación de metano (47%), mientras que los reactores a 30 y 40 °C en este día presentaban un contenido de metano en el biogás de 18.5 y 4.6%, respectivamente. Para el día 140 el contenido de metano en el biogás en todos los reactores era menor de 5% (**Figura 2**), indicando que el material biodegradable disponible tanto en los residuos como en el lixiviado se había estabilizado.

Si bien el contenido de CH₄ en el biogás es un indicativo de la calidad del proceso, el flujo de biogás producido también es importante. Los resultados de la producción acumulada de metano por cada régimen de temperatura (Figura 3) señalan que si existe una diferencia del proceso de digestión anaerobia dentro del régimen mesófilo, cuando se recircula un lixiviado de alta carga orgánica. La tasa acumulada en el final de la experimentación (día 140) en los reactores a temperatura ambiente, a 30 y a 40 °C produjeron: 3, 16.38 y 22.5 l de CH₄ / kg STV, respectivamente. Esto indica que en el rango de 20-40 °C, la relación con la producción acumulada de CH₄ es lineal mediante la ecuación $y = 0.975x - 15.29$ (R² = 0.9558).

La figura 4 muestra la dinámica de la DQO en el lixiviado recirculado. La carga inicial del lixiviado fue de 37-39 g DQO/l. Esta carga aumentó durante el período que coincide con el de la fase acidogénica, después de la hidrólisis de material fácilmente degradable. El paso del lixiviado a través de las columnas no permitió disminuir la carga orgánica del influente, además de que la temperatura tampoco marcó un efecto de estabilización, a excepción de que el lixiviado de los reactores control (20°C) tuvo una menor carga orgánica al día 140.

Discusión

Las condiciones de temperatura son un factor fundamental para alcanzar rápidamente la etapa francamente metanogénica de los digestores anaerobios, en este caso se trabajó con temperaturas dentro del régimen mesofílico siendo la de 40°C la que presentó mejores resultados, tanto en producción de biogás como en el contenido de metano del mismo. Es conocido que la adición de humedad es una práctica que permite el aumento de la producción de CH₄ en la biometanización de residuos sólidos urbanos (Mata, 2003). La presente investigación señala como factores principales de la digestión anaerobia a la humedad y la temperatura. La inclusión de materia orgánica en forma de DQO es un factor al parecer no es una variable que influya para el aumento en la producción de CH₄. La Tabla 2 muestra algunos reportes de la producción de metano obtenida por distintos procesos,

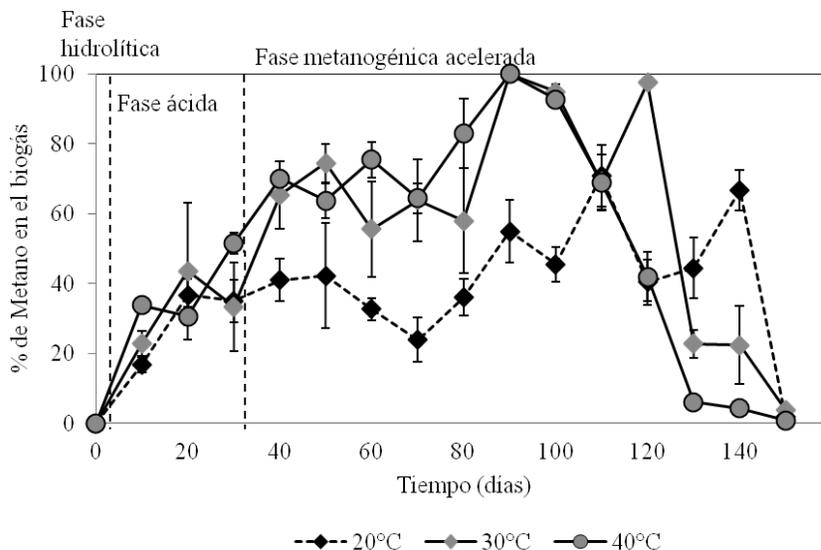


Figura 2. Porcentaje de metano contenido en el biogás de los bioreactores

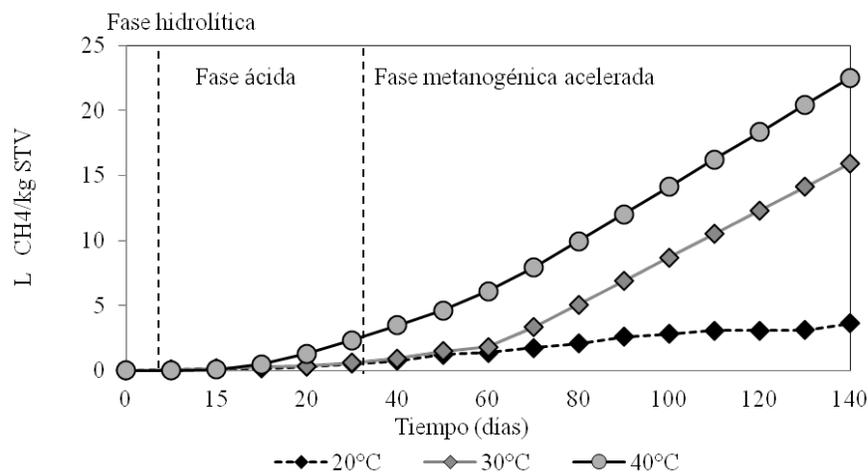


Figura 3. Producción acumulada de metano en los tres diferentes regímenes de temperatura.

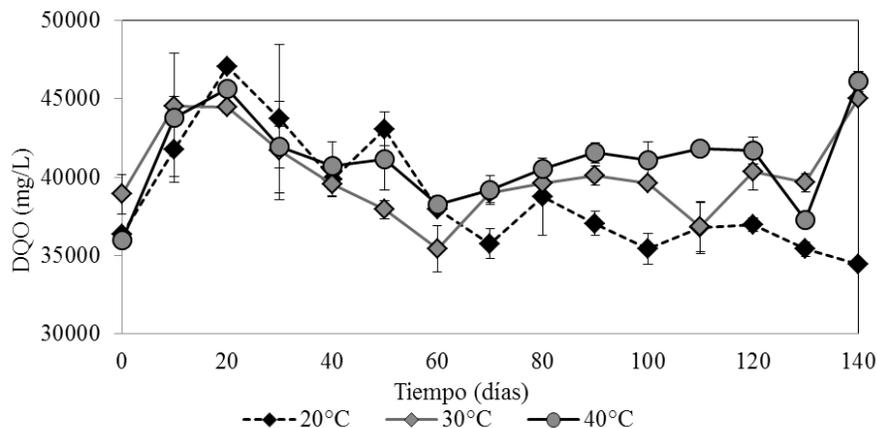


Figura 4. Dinámica de DQO en los lixiviados recirculados

Tabla 2. Reportes de producción de metano en procesos anaerobios.

Autor	Inóculo	Sustrato	Cantidad de Sustrato	l CH ₄ /kg STV
Este trabajo	Lixiviados	FORSU	0.047 kg	3.6, 16 y 22.5
Yadvik <i>et al.</i> , 2004	Lixiviados	FORSU	2.9 kg	300
Vazoller <i>et al.</i> , 2001	Lixiviados	RSU	100 kg	85.1
Akkuna, J.C. 2009	Lixiviados	RSU	0.06 kg	2.5
Shanmugam 2009	Lodos químicos	RS	400 mL	520
	Lodos activados residuales	RS	400 mL	360
Setiadi 2009		Lodos biológicos frescos	100 mL	240
Almeida 2010		Opuntia	600 mL	590
		Aloe-Opuntia	600 mL	370

se evidencia –primeramente- que los sistemas en sustrato sólido producen tasas de metano menores que los sistemas líquidos. Adicionalmente, aunque lo heterogéneo del material digerido, así como la variedad de diseños experimentales dificulta las comparaciones, sin embargo, se acepta que el rendimiento de CH₄ de este trabajo no es mayor que el resto de trabajos reportados. De hecho, Ghani & Idris (2009) experimentaron con la digestión anaerobia de RSU además de la inclusión de lixiviados con 3000 y 21000 gDQO/l y señalan que mientras que los experimentos con ambos lixiviados tuvieron dinámicas semejantes pero diferentes tasas de producción de metano.

El volumen de metano obtenido por los reactores es un indicador importante del adecuado funcionamiento de los procesos de biometanización dentro de los digestores, además las cantidades generadas de metano son considerables si se toma en cuenta que los reactores trabajaron únicamente con 247.2 g de la FORSU y con un sistema de recirculación de lixiviados de alta carga orgánica, para generar 3.6, 16 y 22.5 l CH₄/kg STV para los reactores a 20, 30 y 40 °C, respectivamente.

Referencias

- Benson CH, Barlaz MA, Lane DT, Rawe JM** (2007) Practice review of five bioreactor/recirculation landfills. *Waste Management*. 27:13-29
- Chugh S, Clarke W** (1998) Effect of Recirculated Leachate Volume on MSW Degradation. *Waste Manag. Research*, 16(6): 564-573
- Díaz B, Espitia MS y Molina F** (2002) *Digestión Anaerobia una Aproximación a la Tecnología*. UNIBIBLIOS. Bogotá, Colombia <http://www.ingenieroambiental.com/4014/arranque.pdf> (Accesada en 19 diciembre del 2010).
- Ghani WA y Idris A** (2009) Preliminary study on biogas production of biogas from municipal solid waste (MSW) leachate. *Journal of Engineering Science and Technology*. 4(4):374-380
- Hernández BM, Mañón SC, Sánchez YJ, Lugo J, Márquez BI** (2010)

Influence of Recycling Different Leachate Volumes on Refuse Anaerobic Degradation. *The Open Waste Management Journal*, 3: 155-166

Mata J (2003) *Fundamentals of the Anaerobic Digestion Process*. In: *Biometanization of the organic fraction of municipal solid wastes*. IWA Pub, London. Cap 1. pp. 1-18

Nayono SE, Winter J, Gallert C (2010) Anaerobic Digestion of Pressed off Leachate from the Organic Fraction of Municipal Solid Waste. *Waste Management*. 30: 1828-1833

Robles F (2008) *Generación de Biogás y Lixiviados en los Rellenos Sanitarios*. Publicaciones Instituto Politécnico Nacional, México D.F. 115pp

Suna E, Turgut T, Orhan Y (2007) Comparation of Aerobic and Anaerobic Degradation of Municipal Solid Waste in Bioreactor Landfills. *Bioresource Technology*. 99:5418-5426

Tchobanoglous G, Theisen H y Vigil S (1994) Evacuación de residuos sólidos y rechazos. En *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. McGraw-Hill, México D.F. Cap. 11, pp 407-604

Vazoller RF, Gomes PL, Baldochi ZM, Fortes MD, Badra JR (2001) Biodegradability Potential of Two Experimental Landfills in Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology*. 32:87-92

Yadvika S, Sreekrishnan TR, Kohli S, Ranal V (2004) Enhancement of Biogas Production from Solid Substrates Using Different Techniques a Review. *Bioresource Technology*. 10-20

Westlake K (1995) *Landfill Waste Pollution and Control*. Albion Publishing, Chichester, U.K. pp 34-69