

Generación de biogás a partir de efluente doméstico y lixiviado del relleno sanitario de Encarnación

Arzamendia, Adriano¹ y Samaniego, Julie²
alonsoarzamendia@gmail.com sama.julie@gmail.com

Resumen

El desarrollo de la sociedad está basado en el consumo de grandes cantidades de energía. La energía que circula por los ecosistemas y permite la vida a los seres vivos procede en última instancia del sol, no obstante la mayor parte de energía que se consume proviene de recursos naturales existentes en nuestro planeta, principalmente del carbón y del petróleo pero debido al uso excesivo de estos combustibles se ha producido un impacto ambiental negativo en la biósfera, contaminando el aire, el agua y el suelo. Atendiendo ésta situación ha surgido ésta investigación cuyo objetivo principal fue evaluar la factibilidad de generación de biogás, en un sistema de biodigestión, a partir de una mezcla entre aguas residuales domésticas y lixiviado generado en el relleno sanitario de la ciudad de Encarnación. Para ello se han ensayado tres mezclas de efluente – lixiviado; 70 -30%, 60 – 40% y 50 – 50% respectivamente, esto con la finalidad de definir cuál de las tres genera mayor cantidad de gas. La mayor producción se registró a partir de la mezcla 70 – 30% con un valor de 1455 ml, con un tiempo de retención hidráulica de 30 días. Éste resultado refleja que es factible generar biogás a partir de efluente doméstico y lixiviado, dando así un aprovechamiento a los residuos generados por la población, reduciendo el uso de combustibles fósiles y evitando efectos adversos el ambiente.

Palabras clave: Biogás, biodigestión, efluente doméstico, lixiviado.

Abstract

The society development is based on the consumption of large amounts of energy. The energy that circulates through the ecosystems and allows life comes ultimately from the sun, although most of the energy that is consumed comes from natural resources existing on our planet, mainly from coal and oil, but due to the excessive use of these fuels has produced a negative environmental impact on the biosphere, polluting air, water and soil. Attending this situation, has emerged this research, which main objective was to evaluate the feasibility of biogas generation, in a biodigestion system, from a mixture of domestic wastewater and leachate generated in the sanitary landfill of Encarnación city. For this, have been tested three mixtures of effluent - leached; 70 -30%, 60 - 40% and 50 - 50% respectively, to define which of the three generates the greatest amount of gas. The highest production was recorded from the mixture 70 - 30% with a value of 1455 ml, with a hydraulic retention time of 30 days. This result reflects that it is feasible to generate biogas from domestic effluent and leached, harnessing the waste generated by the population, reducing the use of fossil fuels and avoiding adverse effects on the environment.

Keywords: Biogas, biodigestion, domestic effluent, leachate

¹Ingeniero Ambiental. Profesor Investigador de la UNI.

²Lic. en Tecnología de los Alimentos. Profesor Investigador de la UNI

Recibido: 26/10/2019 **Aceptado:** 19/12/2019

Introducción

En los últimos años el crecimiento exponencial de la población ha traído consigo una mayor demanda de recursos para satisfacer las necesidades básicas, esto a su vez conlleva a un aumento de los residuos generados y la inadecuada gestión de los mismos ocasiona la degradación del ambiente. En las grandes ciudades donde la aglomeración de personas es mayor, la cantidad de residuos tanto sólidos como líquidos se ve aumentada debido al desarrollo de distintos tipos de actividades.

El consumo de combustibles fósiles ha aumentado considerablemente en los últimos años debido al incremento poblacional, con lo cual la cantidad de emisiones también ha crecido derivando así en una contaminación ambiental. Debido a esto se han desarrollado investigaciones buscando nuevas fuentes de energía, que sean menos contaminantes y disminuyan el impacto sobre el medio natural.

Según Alonso et al., 2014

La producción de biogás mediante la fermentación anaeróbica es una tecnología ampliamente utilizada en múltiples países como un medio eficaz de descontaminación y como fuente de energía renovable. El uso de la digestión anaeróbica para el tratamiento de los residuos pecuarios es una práctica difundida por las ventajas que ofrece como fuente alternativa de energía, como generadora de abonos orgánicos y por su bajo costo de inversión, lo que hace que haya sido implementada de forma generalizada por países desarrollados y subdesarrollados. Esta tecnología resuelve tres dificultades actuales: la reducción de la elevada carga orgánica de estos residuos, la producción de biocombustible y la obtención de bioabono como fertilizante agrícola (Alonso, Lorenzo, Díaz, & Sosa, 2014).

La producción y aprovechamiento del biogás puede mejorar la economía de la población, al convertirse en una fuente de energía alternativa destinada a la cocción de alimentos, generación de energía y fuente de ingresos financieros, además de contribuir a la gestión de residuos disminuyendo así el deterioro ambiental.

En base a lo mencionado anteriormente surge la presente investigación cuyo objetivo principal es estudiar la factibilidad de generación de biogás a partir de efluentes domésticos y lixiviados del Relleno Sanitario de la Ciudad de Encarnación, dando así un aprovechamiento a los residuos generados por la población buscando beneficios ambientales y económicos.

Materiales y métodos

Muestra

La muestra de efluente doméstico se ha recolectado de la planta de tratamiento de efluentes de la ciudad de Encarnación. La misma se tomó de la entrada al sistema, específicamente en el tanque de homogenización, la cantidad total fue de 10 litros, tanto para la caracterización fisicoquímica de la misma y posteriormente para su utilización en la etapa de digestión anaeróbica.

La muestra de lixiviado se obtuvo del relleno sanitario de la ciudad de Encarnación, fue recolectada directamente a la salida de los tubos de conducción que dirigen el líquido al sistema de tratamiento del lugar en cuestión. Se recolectó un total de 10 litros, para la caracterización fisicoquímica y para la mezcla final introducida al bioreactor.

Para asegurar la presencia de bacterias metanogénicas dentro del sistema de biodigestión se ha utilizado un inóculo, el cual

ha sido incorporado a la mezcla, (efluente – lixiviado) en este caso particular se optó por el estiércol bovino en una proporción de 5%; es decir 50gr de estiércol por litro de mezcla.

Diseño de reactor y mezcla

El biodigestor utilizado para la investigación fue de tipo Batch o flujo discontinuo, en este tipo de reactores la carga se realiza al inicio del proceso y la descarga cuando la producción de gas ha finalizado. Se optó por este sistema debido a que no requiere mano de obra especializada, no requiere espacios grandes para su operación y resiste a los cambios de temperatura.

Para el montaje de los reactores se utilizaron botellas de vidrio con una capacidad total de 2,5 litros, de éste volumen se ha destinado el

90%, es decir 2,25 l para la mezcla (efluente – lixiviado) y el 10% restante para la acumulación de biogás generado.

El reactor se conectó, a través de mangueras de 0,5 cm de diámetro, a un sistema de medición del volumen de gas resultante de la biodigestión; un gasómetro, recipiente de plástico con una capacidad de 1 litro de capacidad llenado hasta sus $\frac{3}{4}$ partes de agua acidulada con ácido clorhídrico al 5% para evitar que el CO₂ se disuelva en el agua del medidor tergiversando la medición.

Se han montado tres reactores para la digestión de la muestra, esto con el objetivo de determinar que mezcla es la que presenta mejor rendimiento para la producción de biogás. Las mezclas que se han ensayado se resumen a continuación:

Tabla n° 1. Mezclas utilizadas para la biodigestión

	Volumen de efluente doméstico	Volumen de lixiviado	Masa de inóculo	Mezcla final
Reactor 1	1,575 litros	0,675 litros	112 gr	70 – 30%
Reactor 2	1,350 litros	0,900 litros	112 gr	60 – 40%
Reactor 3	1,125 litros	1,125 litros	112 gr	50 – 50%

Cuantificación de biogás

Para la cuantificación del biogás generado dentro de los reactores anaeróbicos se utilizó el principio de desplazamiento de agua. El gas producido dentro del sistema Batch ingresa al gasómetro, a través de las mangueras de conexión, y se acumula en la parte superior del mismo. La presión ejercida por el gas hace desplazar el agua contenida en el recipiente cerrado (gasómetro) hacia un matraz Erlenmeyer, por medio de una manguera de salida, para su posterior medición. El volumen de biogás acumulado es igual al volumen de

agua desplazada fuera del sistema (Perez, A., Mayer, L., & Albertó, E., 2017).

Resultados y discusión

Primeramente se describen los resultados de la caracterización fisicoquímica del efluente doméstico y el lixiviado del RS de Encarnación

Posteriormente se detallan la cantidad de biogás (ml) generado por cada mezcla digerida en los distintos reactores.

Resultados de la caracterización fisicoquímica			
Parámetros	Método	Efluente doméstico	Lixiviado
pH	SM 4500 H+B	7	7,7
Sólidos totales	SM 2540 B	282 mg/l	6760 mg/l
Sólidos volátiles	SM 2540 E	146 mg/l	2405 mg/l
Sólidos fijos	SM 2540 E	136 mg/l	4355 mg/l
DQO	SM 5220 B	136 mg/l	1372 mg/l
DBO5	SM 5210	45 mg/l	400 mg/l
Nitrógeno	SM 4500 N – B	20,3 mg/l	150 mg/l

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos a partir de la caracterización de las propiedades físicas y químicas del efluente doméstico utilizado para el desarrollo de esta investigación se puede afirmar que el tenor de sólidos totales es de 17% aproximadamente, valor adecuado debido a que el exceso de sólidos totales podría afectar la movilidad de las bacterias metanogénicas reduciendo así la producción de biogás. Por otra parte el valor de sólidos volátiles es un tanto más bajo de lo deseado, puesto que los SV contienen compuestos orgánicos que teóricamente son convertidos a metano.

Lo que respecta al nitrógeno amoniacal, su baja concentración favorece el crecimiento de las bacterias, una concentración superior a 3000mg/l inhibe el desarrollo de las bacterias metanogénicas debido a la toxicidad de este compuesto.

En cuanto a la relación DBO/DQO, que determina el índice de biodegradabilidad de las aguas residuales, se obtiene un valor de 0,33. Atendiendo estos valores se puede decir que el efluente utilizado en la investigación se encuentra en el orden de biodegradable, un valor superior a 0,33 es considerado altamente biodegradable (Metcalf & Eddy).

Por otra parte, analizando los resultados de la caracterización fisicoquímica del lixiviado, se tiene que la concentración de sólidos totales es elevada, lo que afecta la movilidad de las bacterias, este problema se soluciona aplicando agitación diaria a los reactores para mejorar la mezcla y favorecer el crecimiento bacteriano. Por otra parte, y a diferencia del efluente doméstico, el porcentaje de sólidos volátiles es elevado lo cual favorece la producción de biogás debido a la descomposición y transformación de compuestos orgánicos a metano.

Para el nitrógeno amoniacal, su concentración se encuentra en un rango inferior de 200 – 1000 mg/l, teniendo en cuenta lo mencionado por McCarty (1964) este resultado no presenta efectos adversos sobre la actividad microbiana.

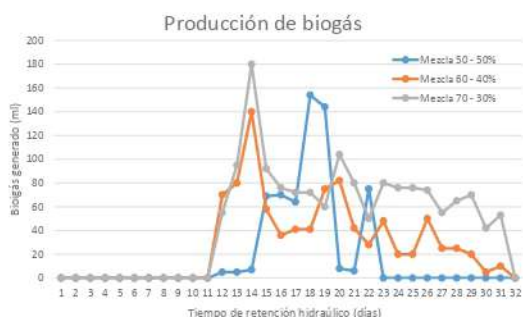
Atendiendo la relación DBO/DQO, que determina el índice de biodegradabilidad de las aguas residuales, se obtiene un valor de 0,29. Teniendo en cuenta estos valores, el lixiviado utilizado en la investigación se encuentra en el orden de baja biodegradabilidad (Metcalf & Eddy).

Resultados de la producción de biogás para los tres sistemas ensayados

En la figura 1 se muestran los resultados de la producción de biogás para las mezclas que han sido ensayadas para el desarrollo de la investigación.

Se observa que del día 1 al día 11 no hay producción de biogás, esto se debe a que el proceso se encuentra en fase de arranque, es decir un periodo de tiempo donde las bacterias presentes en la mezcla se adaptan a las condiciones anaeróbicas del medio.

Figura 1. Cuantificación de biogás para las diferentes mezclas.



A partir del día 12 inicia la fase de estabilización, durante éste periodo las bacterias pasan a descomponer los compuestos orgánicos transformándolos principalmente en CO₂ y CH₄.

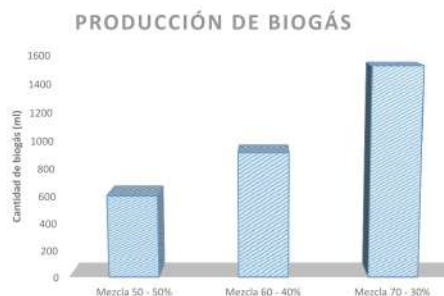
El pico máximo de producción de biogás para los reactores de mezcla 70 – 30% y 60 – 40% se registró a los 14 y 19 días, con una producción de 180 ml y 140 ml respectivamente. La mayor producción de gas para el reactor de mezcla 50 – 50% se registró el día 19 desde la carga de los reactores con un valor de 154 ml.

La etapa de declinación, donde la producción de gas disminuye considerablemente debido

a la baja actividad microbiana se registró el día 22 para el reactor de mezcla 50 – 50%, finalizando la generación de gas el día 22. Los 2 reactores restantes ingresaron a la etapa de declive el día 26 desde la puesta en marcha del proceso de biodigestión y la generación de biogás finalizó a los 32 días.

En la figura 2 se grafican los volúmenes de biogás obtenidos por cada mezcla. Comparando los resultados de las tres mezclas que se han ensayado para obtener biogás, en los reactores discontinuos, se evidencia que la mezcla 70 – 30% es la que presenta el mejor rendimiento para generar gas.

Figura 2. Comparación de la generación de biogás por cada mezcla



La cantidad de sólidos totales presente en el lixiviado no afectó negativamente el proceso ya que el efluente doméstico aportó agua suficiente para una disolución adecuada. El alto contenido de sólidos volátiles ha favorecido positivamente a la producción de gas mediante la transformación de compuestos orgánicos a Metano y Dióxido de Carbono.

Para la optimización del proceso de biodigestión el digestor se mantuvo a una temperatura constante de 44° C, ya que los cambios bruscos de temperatura afectan la actividad microbiana. La agitación diaria de los reactores asegura el correcto contacto entre la

materia orgánica a degradar y las bacterias, de ésta manera se obtiene un mayor rendimiento del sistema.

Rendimiento del sistema frente al gas de uso comercial

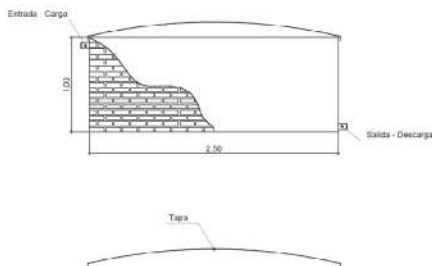
El diseño y el tamaño de un biodigestor para producción de biogás dependen de varios factores como el tipo de residuo, factores climáticos, ubicación y principalmente las necesidades de biogás requeridas.

Teniendo en cuenta los datos proporcionados por la FAO (2011) las necesidades de biogás para una familia compuesta por 4 a 5 personas son como sigue:

Cocinar (5 horas).....	1,50 m ³ /día
3 lámpara (3 horas).....	1,35 m ³ /día
Total.....	2,85 m ³ /día

Considerando que, con un reactor de 2,5 litros de capacidad se ha generado 1,5 litros de gas en 30 días, se necesitaría un digestor de 5 m³ de capacidad para cubrir la demanda diaria de cocina y lumínica.

Según Kaki (1984) 1 m³ equivale a 0,5 Kg de gas licuado de petróleo, considerando que una familia utiliza mensualmente una garrafa de 10 kg, se necesitan 20 m³ de biogás para satisfacer esta demanda. Atendiendo estos elementos se proyecta la construcción de un reactor *modelo indiano* con las siguientes dimensiones:



La entrada de la carga diaria será por gravedad, lo cual contribuirá a la agitación de la mezcla, provocando la salida de un volumen equivalente de lodos digeridos el cual se deposita en una pileta de salida para su posterior utilización como abono. En estos tipos de biodigestores se obtiene buena eficiencia en la generación de gas, produciendo entre 0,5 y 1 volumen de gas por volumen de digestor por día, es decir 2,5 m³ de biogás/día, con una producción total de 75 m³ de biogás/mes, equivalentes a 3 garrafas de GLP, reemplazando así el gas de uso comercial por biogás lo cual contribuye a un ahorro económico para las familias y la reducción de efectos adversos sobre el ambiente.

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos con el desarrollo de la investigación, se puede decir que es factible generar biogás a partir de mezclas entre efluente y lixiviado, aplicando el principio de biodigestión anaeróbica en reactores discontinuos o tipo Batch.

La producción de gas varía de acuerdo a la proporción de la mezcla y dependiendo de las características fisicoquímicas de los residuos líquidos utilizados. Cuando mayor es la concentración de sólidos totales menor será la generación, considerando que éste factor afecta la movilidad de las bacterias metanogénicas. Por otro lado, mientras exista mayor tenor de sólidos volátiles, mayor será la producción de biogás debido a la descomposición y transformación de compuestos orgánicos a metano.

La mayor producción de biogás se ha registrado para la mezcla compuesta por 70% de efluente doméstico y 30% de lixiviado, con un valor de 1455 ml/ volumen de bioreactor, con un tiempo de retención de 30 días. A medida que se fue aumentando la concentración de lixiviado se ha observado disminución en

la generación de gas. Para la mezcla 60 % efluente – 40% lixiviado se cuantificó 875 ml/ volumen de bioreactor y 607ml/ volumen de bioreactor para la mezcla compuesta por 50 % efluente y 50% de lixiviado.

La agitación diaria y la temperatura constante son factores importantes a la hora de generar gas. El primero permite la movilidad adecuada de las bacterias, mayor contacto con el sustrato y favorece la liberación del gas. El segundo beneficia el crecimiento acelerado de las bacterias metanogénicas para, posteriormente degradar compuestos orgánicos transformándolos a biogás.

Para cubrir la demanda diaria de cocina y lumínica se necesitaría un bioreactor de 5m3 de capacidad, con una carga diaria de 165 litros de la mezcla y una producción estimada de 75 m3 de biogás/ 30 días, equivalentes a 3 garrafas de gas licuado de petróleo.

Bibliografía

Alonso, D., Lorenzo, Y., Díaz, Y., & Sosa, R. (2014). *Tratamiento de residuales porcinos para la producción de biogás*. Recuperado el 2018, de <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223132853003.pdf>

Alvarez, B. (2016). *Evaluación del residuo paja de trigo del cultivo de Pleurotus djamor como sustrato para la digestión anaerobia*. Recuperado el 2018, de <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/17274>

Angonese, A., Campos, A., & Zacarkim, C. (2006). *Eficiência energética de sistema de produção de suínos com tratamento dos resíduos em biodigestor*. Recuperado el 2018, de https://www.researchgate.net/profile/Alessandro_Campos2/publication/237349524_Eficiencia_energetica_de_sistema_de_producao_de_suinos_com_

[tratamento_dos_residuos_em_biodigestor/links/563a3da208ae405111a581b0/Eficiencia-energetica-de-sistema-de-producao-de-](#)

Barrena, M., Julca, J., Hellenthal, M., & Ordinola, C. (2017). *Rendimiento del biogás como combustible para cocina e iluminación producido en un biodigestor tubular*. Recuperado el 2018, de <file:///C:/Users/happy/Downloads/139-633-1-PB.pdf>

Cendales, E. (2011). *Producción de biogás mediante la codigestión anaeróbica de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bovino para su utilización como fuente de energía renovable*. Recuperado el 2018, de <http://bdigital.unal.edu.co/4100/1/edwindariocendalesladino.2011.parte1.pdf>

Coldebella, A., Melegari de Souza, S., Souza, J., & Koheler, A. (2006). *Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bonivocultura de leite*. Recuperado el 2018, de <http://www.proceedings.scielo.br/scielo/MSC000000022006000200053&script=sci-arttext&tlng=pt>

Costa, C., & Amaral, L. (2004). *Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica*. Recuperado el 2018, de <http://www.scielo.br/pdf/%0D/cr/v34n6/a35v34n6.pdf>

De Lucas, J., & Santos, T. (2000). *Aproveitamento de resíduos da indústria avícola para produção de biogás*. Recuperado el 2018, de http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/suino/anais/anais65_lucas.pdf

Durán, M. (2016). *Adopción tecnológica en la producción de biogás: subcaracterísticas de la categoría ingeniería del MOSAT*. Recuperado el 2018, de <http://www.revistas.usb.edu.co/index.php/Ingenium/article/view/2742>

- Esperancini, M., Colen, F., Bueno, O., Pimentel, A., & Simon, E. (2005). *Viabilidade técnica e economica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás*. Recuperado el 2018, de <http://www.scielo.br/pdf/%0D/eagri/v27n1/04.pdf>
- Fornieles, J. (2006). *MDL en rellenos sanitarios*. Recuperado el 2018, de http://www.conama8.conama.org/modulodocumentos/documentos/JTs/JT9/JT9_ppt_JAntonio%20Fornieles.pdf
- Freitas, R. (2010). *Comparação entre biodigestores operados em escala piloto para produção de biogás alimentado com estrume bovino*. Recuperado el 2018, de <https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/view/2547/3422>
- González, M., Pérez, S., Wong, A., & Bello, R. (2015). *Resíduos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante digestión anaerobia*. Recuperado el 2018, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S0325-75412015000300010&script=sci_arttext&lng=pt
- Guevara, A. (1996). *Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales*. Recuperado el 2018, de <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan2/031042/031042.pdf>
- Lachén, J. (2013). *Producción y purificación de hidrógeno mediante STEAM-IRON a partir de fracción ácida de bio-oil*. Recuperado el 2018, de <http://invenio2.unizar.es/record/11835/files/TAZ-PFC-2013-411.pdf>
- López, A. (2017). *Obtención de biogás mediante la aplicación de un consorcio bacteriano con la microalga chlorella sp. y residuos orgánicos*. Recuperado el 2018, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/14490/1/T-IASA%20I-005375.pdf>
- Metcalfe & Eddy, I. (s.f.). *Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización*. Ministério do Meio Ambiente. (2006). *Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos*. Recuperado el 2018, de <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/856124/1/doc115.pdf>
- Montenegro, C., Teruaki, E., Soares, L., & Gouvea, C. (2005). *Avaliação do potencial de produção de biogás e da eficiencia de tratamento do reator anaeróbico de manta de los UASB alimentado com dejetos de suínos*. Recuperado el 2018, de https://www.researchgate.net/profile/Claudio_Milton_Campos/publication/262703629_Potential_evaluation_of_biogas_production_and_treatment_efficiency_of_an_upflow_anaerobic_sludge_blanket_UASB_fed_with_swine_manure_liquid_effluent/links/540dc1b50cf2df04e756
- Montes, M. E. (2008). *Estudio técnico-económico de la digestión anaerobia conjunta de la fracción orgánica de los residuos urbanos y lodos de depuradora para la obtención de biogás*. Recuperado el 2018, de http://oa.upm.es/1049/1/MARIA_ESTELA_MONTES_CARMONA.pdf
- Nuñez, A. M. (2015). *Estudio de factibilidad para la generación de energía a partir del biogás producido en una planta de tratamiento de aguas residuales*. Recuperado el 2018, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2477/1/CD-0177.pdf>
- Perez, A., Mayer, L., & Albertó, E. (2017). *Proyecto para evaluar la generación de biogás a partir de los desechos de biomasa de la producción de hongos comestibles*. Recuperado el 2018, de <https://digital.cic.gba.gov.ar/handle/11746/6850>