

ARTICULO ORIGINAL

Producción de Biogás a partir de residuos orgánicos generados en el Hospital de Clínicas: Un estudio preliminar Biogas production from organic waste generated at the Hospital of Clinics: A preliminary study

Giubi, Jorge¹; Bernal, Manuel²; Cañete, Felicia³

¹ Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Médicas, Dirección General Asistencial. San Lorenzo, Paraguay.

² Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Médicas, Vice Dirección General Asistencial. San Lorenzo, Paraguay.

³ Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Médicas, Salud Pública y Administración Hospitalaria. San Lorenzo, Paraguay.

RESUMEN

Introducción: La producción de biogás es un proceso natural que ocurre en forma espontánea en un entorno anaerobio, realizado por microorganismos como parte del ciclo biológico de la materia orgánica. Los biodigestores son sistemas diseñados para optimizar la producción de biogás a partir de desechos agrícolas, estiércol o efluentes industriales. **Objetivo:** Realizar un estudio preliminar de producción de biogás a partir de residuos orgánicos generados en el Hospital de Clínicas, año 2017. **Metodología:** Estudio cuasi experimental tipo grupo control no equivalente consistente en dos sistemas: en el sistema 1 se ha expuesto a la sombra, con 39 kilos de residuos de cocina, 3 kilos de estiércol, 5,5 de pH, 1 a 4 de residuo/agua durante 30 días. En el sistema 2, se ha expuesto a pleno sol, con 68 kilos de residuo de cocina, 10 kilos de estiércol, 7 de pH, 1 a 1 de residuo/agua, durante 30 días. **Resultados:** La producción de gas al mes en el sistema 2 fue de 4,6 litros no observándose producción alguna en el sistema 1 ($p=0,000$). Con un promedio de producción de residuos de cocina en el Hospital de Clínicas de 22077 ± 780 kilos al mes, se estima una producción de 1485 ± 61 litros de biogas ($R^2=97,98$ $p=0,000$) mensuales. **Conclusión:** Los biodigestores permiten una obtención de energía limpia y de bajo costo a partir de una fuente renovable.

Palabras Clave: Biogás, Gas, Biodigestor; Energía, Renovable.

Autor correspondiente: Dr. Jorge Giubi. Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Médicas, Dirección General Asistencial. San Lorenzo, Paraguay. E-mail: jorgegiubi@gmail.com

Fecha de recepción el 29 de Octubre del 2019; aceptado el 12 de Noviembre del 2019.

ABSTRACT

Introduction: Biogas production is a natural process that occurs spontaneously in an anaerobic environment, carried out by microorganisms as part of the biological cycle of organic matter. Biodigesters are systems designed to optimize the production of biogas from agricultural wastes, manure or industrial effluents. **Objective:** To carry out a preliminary study on the installation of organic biodigesters in the Hospital of Clinics in order to replace the use of energy in the form of liquefied cooking gas. **Methodology:** Quasi-experimental study of a non-equivalent control group consisting of two systems. In system 1, it has been exposed to shade, with 39 kilos of kitchen waste, 3 kilos of manure, 5.5 pH, 1 to 4 waste / water for 30 days. In system 2, it has been exposed to full sun, with 68 kilos of kitchen waste, 10 kilos of manure, 7 pH, 1 to 1 waste / water, for 30 days. **Results:** Gas production per month in system 2 was 4.6 liters, with no production observed in system 1 ($p = 0.000$). With an average production of kitchen waste at the Hospital of Clinics of 22077 ± 780 kilos per month, an estimated production of 1485 ± 61 liters of biogas ($R^2 = 97.98$ $p = 0.000$) per month. **Conclusion:** biodigesters allow obtaining clean and low-cost energy from a renewable source.

Keywords: Biogas, Gas, Biodigester; Energy, Renewable.

INTRODUCCION

Durante las últimas décadas, la utilización de combustibles fósiles ha acrecentado en forma considerable la emisión de gases que generan el denominado efecto invernadero. Por otro lado, millones de toneladas de desechos orgánicos biodegradables son generados cada año por diversos sectores (agropecuarios, industriales, hospitales, etc.) en todo el mundo, de los cuales, gran porcentaje son destinados a rellenos sanitarios (1).

La producción de biogás es un proceso natural que ocurre en forma espontánea en un entorno anaerobio, es decir, carente de oxígeno. Dicho proceso, es realizado por microorganismos como parte del ciclo biológico de la materia orgánica, el cual implica la fermentación o digestión de materiales orgánicos para obtener el biogás. Por su parte, los biodigestores, son sistemas diseñados para optimizar la producción de biogás a partir de desechos agrícolas, estiércol o efluentes industriales, entre otros, los cuales permiten así la obtención de energía limpia y de bajo costo a partir de una fuente renovable (2).

La producción de gas metano a partir de desechos orgánicos es una práctica industrial común en países desarrollados. Todo material orgánico degradado como los desechos bovinos, avícolas, porcinos, desechos de plantaciones y desechos de plantas procesadoras de alimentos tienen el potencial de producir metano bajo ciertas condiciones (3-7).

Asimismo, la digestión anaerobia de los desechos es una forma de bioconversión con el cual se aprovecha las cadenas de carbohidratos, lípidos y proteínas para ser transformadas en metano, la unidad más simple de los hidrocarburos. Este tipo de bioconversión tiene una serie de ventajas, una de estas es la producción de una fuente directa de energía como es el gas metano, que a la vez es energéticamente mucho más utilizable que el sustrato. Conjuntamente, existe una reducción en la masa de desechos producidos y se genera un fertilizante orgánico de muy bajo costo que se obtiene del efluente del digestor (8).

Atendiendo a que el mundo avanza a un ritmo acelerado, generando inmensas cantidades de desechos y cada día demandando mayor cantidad de energía, con creciente consumo de combustibles fósiles, existe una preocupación entre los científicos, ya que es hora de desarrollar fuentes de energía alternativas (9).

Por lo expuesto, la situación actual en lo que se refiere a contaminación por residuos orgánicos nos obliga a buscar medidas alternativas para la optimización de los residuos, de manera tal que se evite la generación de gases contaminantes que aumente el efecto invernadero, reduzca el volumen de basura, así como también genere beneficios económicos con la producción de energía limpia.

El presente proyecto, tiende a fortalecer nuestro compromiso con el medio ambiente, enriqueciendo el Plan de Gestión Integral de Residuos del Hospital de Clínicas FCM-UNA, es por ello que el objetivo del trabajo fue realizar un estudio piloto sobre la producción de biogás a partir de residuos orgánicos generados en el Hospital de Clínicas de la Facultad de Ciencias Médicas – Universidad Nacional de Asunción, durante el año 2017.

De esta manera se considera beneficioso, por la obtención de datos que ayudarían a lograr una cuantificación de la cantidad de desechos orgánicos producidos y su utilización para la obtención de energía limpia, esto dará información que hasta ahora no se dispone como dato en nuestro medio, sirviendo a su vez como base para futuras investigaciones, atendiendo la escasa información en la literatura a nivel nacional.

MATERIALES Y METODOS

Estudio cuasi experimental tipo grupo control no equivalente, con modelo simulado de concentraciones variables de basura orgánica, en las que se midió la producción de gas. Se realizaron 2 modelos, los cuales se clasificaron en: **modelo bajo sombra permanente y modelo bajo luz plena de sol**,

con características en la concentración de la materia prima (tabla 1). El trabajo fue realizado tomando como referencia el estudio realizado por Do Nascimento y colaboradores, en el que analizó la generación de energía eléctrica y viabilidad técnico-económica de un biodigestor en el sector hospitalario (10).

Tabla 1. Características de las mezclas de los modelos en el biodigestor.

Modelo	Basura (kilos)	Estiércol (kilos)	Agua (litros)	pH	Días	Basura/agua
1	30	3	130	5,5	30	1 a 4
2	68	10	78	7,2	30	1 a 1

Fuente: Elaboración propia.

Descripción del procedimiento

Equipos

Un tanque de plástico: de 220 litros con conexiones correspondientes para salida de líquido y gases. Tiene incorporado un agitador del contenido.

Un balde de plástico: cubierto de plástico en forma de cúpula que hace de gasómetro con 60 litros de capacidad.

Las condiciones

Se ubicó el tambor biodigestor en el patio exterior, en donde los proveedores realizan la carga y descarga de insumos para la cocina. Para brindar mayor seguridad y evitar manoseos innecesarios, personal del departamento de mantenimiento procedió a instalar un tejido alámbrico con candado. Posteriormente a la carga del contenido, se realizó la ubicación en zona bajo sombra (modelo 1) y zona bajo luz plena del sol (modelo 2).

Proceso

1. Se preparó el biodigestor con la concentración detallada en la Tabla 1 en cada modelo. El tambor es provisto de un agitador manual que se procedía a mover el contenido dos veces por semana.

Para la activación de un biodigestor se procede de dos maneras: a) con bacterias que contienen el estiércol de animales (de vaca o cerdo principalmente) y b) bacterias iniciadoras de biogás, encontradas e importadas a través de internet. En nuestro caso particular, utilizamos un 13% de estiércol vacuno.

2. La descomposición del residuo orgánico produce el biogás (mezcla de metano, dióxido de carbono y gas sulfhídrico principalmente). El gas que interesa es el metano, que es el combustible. El biogás tiene un olor desagradable por el contenido del gas sulfhídrico, el cual es altamente corrosivo, por lo que se recomienda la instalación de un filtro que retiene el azufre, eliminando así el olor.

3. El biogás fue colectado en un balde de plástico de 20 litros.

Análisis estadístico

Para la expresión estadística individual de las variables se utilizó la media y la desviación estándar. Para la comparación de las variables continuas en los modelos de estudio, se realizó la prueba de normalidad de Kolgomorov-Smirnoff. Posteriormente, se utilizó la prueba "T" de Student y el cálculo del coeficiente de determinación R². Para analizar la relación de dependencia entre la variable dependiente (producción de gas) y variables continuas, se realizó la prueba ANOVA de dos factores, considerando una $p < 0,05$ como significativa.

Asuntos éticos

La recolección de los datos y la realización del estudio experimental contó con la autorización de la Dirección del Hospital de Clínicas (FCM-UNA). Los datos fueron obtenidos de los archivos administrativos históricos del Hospital de Clínicas y la medición diaria del peso de basura producida por la institución.

El estudio ha contemplado las prescripciones para el manejo seguro de los residuos antes de su tratamiento y utilización para producción de biogás. Se contó con el apoyo de un profesional experto en el área para la realización del experimento. El trabajo fue aprobado por el Comité de Ética de Investigación de la FCM-UNA.

Todos los datos fueron utilizados con fines estrictamente investigativos, siendo plenamente financiado por los autores.

RESULTADOS

Previa a la obtención de gas en los modelos descritos anteriormente, es importante conocer la situación actual de consumo de gas y producción de basura en el Hospital Clínicas.

Según los datos del año 2017, se utilizó mensualmente 745 ± 325 litros de gas licuado de petróleo en la cocina del Hospital de Clínicas, lo que corresponde en el año 8200 litros, a un

costo por litro de 2.670 guaraníes dando un promedio mensual de $2.262.837,08 \pm 124.000$ guaraníes y un gasto anual de 21.894.000 guaraníes, un costo que podría ser reducido al mínimo con la producción de gas a partir de basura orgánica.

El impacto ambiental es un tema clave ampliamente debatido en la actualidad, sobre todo referente a los hospitales, debido a las consecuencias y dificultades existentes en cuanto al sistema de tratamiento de residuos generados diariamente, los cuales deberían ser reutilizados. En el Hospital de Clínicas, mensualmente se producen 37.958 ± 1420 kilos de basura común.

La producción mensual de basura patológica es de 23.427 ± 5358 kilos.

En los modelos realizados para el presente estudio, se llegó a constatar la nula producción de gas en el modelo 1.

En el segundo modelo, donde se utilizó un peso promedio de $70,5 \pm 1,7$ kilos de basura orgánica, en relación hídrica 1:1 y en plena exposición de rayos solares, se encontró la producción de $4,73 \pm 0,1$ litros de gas, altamente asociada al modelo ($p=0,000$) ($R^2=94,2\%$).

El análisis económico del proyecto, consistió en realizar estimaciones de todo el gasto financiero que genera la obtención del gas licuado del petróleo. Al respecto, el coeficiente de determinación para la obtención de gas mensual necesario para el Hospital, supone la utilización de 22077 ± 780 kilos mensuales de basura, con lo que se podrían obtener 1.485 ± 61 litros de gas mensual, para abastecimiento mensual del Hospital de Clínicas.

Con dicha producción, se podrían ahorrar 3.964.950 guaraníes mensuales (suponiendo a 2.670 guaraníes el litro del gas), es decir unos 47.579.400 guaraníes anuales, a ser ahorrados.

Asimismo, al reutilizar los residuos generados, se podrían reducir los costos de recolección, pues el costo por kilogramo es de 600 gs.

DISCUSION

La gestión y tratamiento de los residuos de un hospital es compleja y su éxito depende en gran medida del cambio de hábito de sus funcionarios. La mayoría de los grandes hospitales, como el Hospital de Clínicas FCM-UNA, requieren del consumo de gran cantidad de energía para su abastecimiento en controles de temperatura, humedad, iluminación, ventilación etcétera, representando altos costos financieros.

Las necesidades energéticas de nuestro planeta, hasta hoy en día, son satisfechas con la utilización de combustibles fósiles, potentemente contaminantes y manejados en forma ineficiente (11,12).

Con respecto a los hospitales, específicamente a los de cuarto nivel, por su complejidad, existe una necesidad considerable de utilización de energía, asimismo, la generación de residuos de diferentes tipos se ve cada vez más acrecentado a través el tiempo, por lo que surge la necesidad de generación de energía propia, a partir de los residuos generados (13).

La realidad de los hospitales en relación a la gestión de los impactos ambientales ha sido un tema ampliamente cuestionado por entidades ambientales e investigadores, principalmente debido a las consecuencias y dificultades existentes en cuanto al sistema de tratamiento de residuos generados que debería ser utilizado (14) y también por la falta de conocimiento de profesionales del área (15).

Generalmente, esos residuos están compuestos por una cantidad de hojas, cáscara de frutas, legumbres y restos de comida, que podrían ser colectados selectivamente y encaminados para abastecer al biodigestor, teniendo varios beneficios inmediatos, a saber, generación de energía limpia, reducción del consumo del gas licuado del petróleo, disminución del deshecho de residuos y producción de biofertilizante de alta calidad que podría ser donados o ser utilizados como abono orgánico en la huerta de escuelas agropecuarias.

Habitualmente los residuos hospitalarios y de instituciones de salud son las mayores fuentes de problemas ambientales y de salud pública. Así requiere de una disposición de un plan seguro para el manejo de estos residuos, lo cual queda garantizado con el uso del biodigestor.

Con la obtención de un biodigestor en el Hospital de Clínicas de la Facultad de Ciencias Médicas, se permitirá un ahorro importante de millones de guaraníes que podrían ser re invertidos, con

el simple aprovechamiento de los residuos y una disminución considerable de la emisión de dióxido de carbono.

La generación del biogás es un proceso de fermentación en ausencia de oxígeno, en el cual se produce en biogás (componente energético) empleado para la generación de electricidad, calefacción, entre otros y bio-fertilizante, el que presenta muy alta calidad agronómica ya que mejora la absorción de nutrientes, promueve el crecimiento de tallos, frutos y raíces, entre otros beneficios (16-22).

Cabe reiterar, que la producción de biogás desde un hospital (como lo es el Hospital de Clínicas) es una alternativa tanto económica como ambiental, su accesibilidad desde el punto de vista económico, radica en que las grandes cantidades de residuos diariamente generados se convierten en materia prima para la obtención de gas, el cual actualmente tiene costos importantes para su adquisición (23).

Del mismo modo, al transformar los residuos en energía limpia con la generación del biogás, se reducen costos significativos en recolección de basura, esto a su vez, contribuye con el medio natural, pues el biogás resulta amigable para el ambiente al constituirse como una alternativa sustentable a recursos no renovable como lo es el gas tradicional, por sobre todo, permite aprovechar los residuos para la generación de un combustible y disminuir así la basura que diariamente es generada (24,25).

Cabe señalar que, la diferencia en la producción de biogás entre el modelo 1 y el modelo 2 del presente estudio, pudo deberse principalmente a que en el modelo 1 se utilizó una relación 1:4 entre basura y agua, el pH ácido condicionado fundamentalmente por alimentos lácteos y cítricos, y muy especialmente a la exposición a sombra del modelo, a diferencia del modelo 2, que estuvo a plena luz del sol y en un pH neutro, lo cual hace suponer que los rayos solares actúan como un catalizador, favoreciendo enormemente la producción de biogás, por lo expuesto, se recomienda utilizar dicha técnica para los biodigestores a ser instalados en el Hospital de Clínicas teniendo como parámetro nuestros resultados, puesto que los resultados fueron los esperados a partir de este tipo de modelo.

En la presente investigación se ha constado que, para la obtención de gas mensual necesario para el Hospital de Clínicas como fuente de energía, supone la utilización de 22077 ± 780 kilos mensuales de basura, con lo que se podrían obtener 1.485 ± 61 litros de gas mensual.

Con la producción de gas resultante, se podrían ahorrar 3.964.950 guaraníes en forma mensual (suponiendo a 2.670 guaraníes el litro del gas), correspondiendo a unos 47.579.400 guaraníes anuales.

Es importante destacar que, para el modelo realizado, se procedió a la utilización de un biodigestor de pequeño porte, y que, en un futuro, se impondría la construcción de un biodigestor industrial, el cual, por motivos obvios, al tener mayor capacidad asegura la mayor tasa de producción de gas reutilizable.

Los resultados de este estudio indican que se podría implantar un programa de reconocimiento de residuos orgánicos en el Hospital y la adopción de un sistema de biodigestor que garantiza la obtención de una energía limpia y renovable. De esta manera, se contribuirá al posicionamiento del Hospital de Clínicas en conformidad con los principios de responsabilidad social y ambiental y de esta manera contribuir al logro de los objetivos de desarrollo sostenible.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Cendales E. Producción de biogás mediante la codigestión anaeróbica de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bovino para su utilización como fuente de energía renovable [Tesis doctoral]. Bogotá, Colombia; 2011.
- Rivas-Solano O, Faith-Vargas M, Guillén-Watson R. Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. *Revista Tecnología en Marcha*, 2011;23(1); 39.
- Elías X. Reciclaje de Residuos Industriales, residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora. 2da edición, 2009.
- Canvinato C, Bolzonella D, Pavan P, Fatone F, Cecchi F. Mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion of waste activated sludge and source sorted biowaste in pilot and full-scale reactors. *Renewable Energy*, 2013; (55) 260-265.
- Juanga J. Optimizing Dry Anaerobic Digestion of Organic Fraction of Municipal Solid Waste. [Tesis de Maestría]. Bangkok, Tailandia: Asian Institute of Technology; 2005.
- Demirel B, Scherer P. The roles of acetotrophic and hydrogenotrophic methanogens during anaerobic conversion of biomass to methane: A review. *Rev Environ Sci Biotechnol*. 2008 ;(7);173–190.
- Kapdi SS, Vijay VK, Rajesh SK, Prasad R. Biogas scrubbing, compression and storage: perspective and prospectus in Indian context. *Renewable Energy*.2004; (20)1-8.
- Hiler E, Stout B. Biomass Energy: a monograph. Monograph Series. 1985; 76-112.
- Chiriboga OG. Desarrollo del Proceso de Producción de Biogás y Fertilizante Orgánico a partir de Mezclas de Desechos de Procesadoras de Frutas [Tesis de Licenciatura]. Quito, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito; 2010.
- Do Nascimento K, Maia S, da Silva S, Santos E. Geração de energia elétrica e viabilidade técnico-econômica de um biodigestor no setor hospitalar. *PUBVET*, 2018;11:1188-1297.
- Demirel B, Scherer P. The roles of acetotrophic and hydrogenotrophic methanogens during anaerobic conversion of biomass to methane: A review. *Rev Environ Sci Biotechnol*. 2008; 7,173–190.
- Cui R. Enhanced methane production from anaerobic digestion of disintegrated and deproteinized excess sludge. *Biotechnology Letters*. 2006; 28, 531–538.
- Kennedy LS, Stoécio MF, Cavalcanti S, Lima SE. Geração de energia elétrica e viabilidade técnico-econômica de um biodigestor no setor hospitalar. *Pubvet*. 2017;11 (12);1263-1273.
- Santos E, Barbosa J, Melo M, Pereira JD, Medeiros C, Santos I. Uma alternativa energética e ambientalmente sustentável ao agricultor familiar: dia de campo sobre biodigestores rurais. *Diversitas Journal*, 2017; 2, 32-38.
- Pfittscher E, Pfittscher P, Petry M, Limogi B. Avaliação do Gerenciamento dos Aspectos e Impactos Ambientais de um Hospital. XXIV simpósio de Gestão da Inovação tecnológica. ANPAD, Gramado. Gramado, RS, 2006.
- Robles S, Jansen A. Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso " Fermentación anaeróbica" para producción de biogás. German Prof EC GmbH, Lima, Perú, BM-4-00-1108, 2008, vol. 1239.
- Aguilar-Virgen Q, Taboada-González P, Ojeda-Benítez S. Modelo mexicano para la estimación de la generación de biogás. *Ingeniería*, 2011;15(1),37-45.
- Iván V, José M, Melitón E, Agustina O. Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 2014;15(3), 429-436.
- Chamy R, Vivanco E. Potencial de Biogás. Identificación y clasificación de los distintos tipos de biomasa disponibles en Chile para la generación de biogás, 2007.
- Pascual A., Ruiz B, Gómez P., Flotats Ripoll X, Fernández García B. Situación y potencial de generación de biogás, 2011.
- Quesada R, Salas N, Arguedas M, Botero R. Generación de Energía Eléctrica a partir de Biogás. *Revista Tierra Tropical*, 2007; 139-147.
- Menna M, Branda J, Murcia G, Garín E, Belliski G, Moschione E. Metodología de bajo costo para la cuantificación de biogás en biodigestores de laboratorio. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2007;11(8), 107-113.
- Meynell P. Methane: Planning a Digester. Prism Press. Dorchester, GB. 1982; 163 p.
- Pfittscher E, Pfittscher P, Petry M, Limogi B. Avaliação do Gerenciamento dos Aspectos e Impactos Ambientais de um Hospital. XXIV simpósio de Gestão da Inovação tecnológica. ANPAD, Gramado. Gramado, RS, 2006.
- Sasse, L. Biogas Plants. Design and Details of Simple Biogas Plants. Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien (GATE). Eschborn, DE. 1988; 66.