

## USO DEL ESTIÉRCOL DE ANIMALES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN MOQUEGUA

Edgar Virgilio Bedoya Justo<sup>1,a</sup>, Efrén Eugenio Chaparro Montoya<sup>2,b</sup>

### RESUMEN

**Objetivo.** Evaluar la producción de biogás (gas metano) utilizando estiércol de animales en condiciones ambientales controladas. Las muestras de estiércol provienen de corderos y chivos. **Materiales y métodos.** Se utilizó un diseño experimental con un tratamiento y tres repeticiones. Se analizó con el coeficiente de determinación mediante el programa estadístico Sigma Plop a un 95% de nivel de confianza. **Resultados.** El biogás obtenido del estiércol, a los 63 días de iniciada la fermentación anaeróbica, fue de 445 L; la temperatura de fermentación anaeróbica estuvo entre 28 (noche) a 58 °C (día a sol directo). Las mayores cantidades de biogás se obtuvieron a partir de los 35 días de iniciada la fermentación anaeróbica, se comprobó su presencia mediante la quema que produjo una llama azul. **Conclusión.** Es posible obtener biogás en condiciones ambientales a partir de la mezcla de estiércol de cordero y chivo.

**Palabras clave:** Estiércol; Fermentación anaeróbica; Biogás y metano.

## USE OF ANIMAL BREEDING FOR THE PRODUCTION OF BIOGAS IN MOQUEGUA

### ABSTRACT

**Objective.** To evaluate the production of biogas (methane gas) using animal manure under controlled environmental conditions. Manure samples come from lambs and goats. **Materials and methods.** An experimental design with one treatment and three replicates was used. It was analyzed with the coefficient of determination by means of the statistical program Sigma Plop to a 95% confidence level. **Results.** The biogas obtained from the manure, at 63 days after the anaerobic fermentation, was 445 L; the anaerobic fermentation temperature ranged from 28 (night) to 58 °C (direct sunlight). The greatest amounts of biogas were obtained from the 35 days of the anaerobic fermentation, its presence was verified by the burning that produced a blue flame. **Conclusion.** It is possible to obtain biogas under ambient conditions from the mixture of manure of lamb and goat.

**Keywords:** Dung; Anaerobic fermentation; Biogas and methane.

<sup>1</sup> Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Universidad José Carlos Mariátegui. Moquegua, Perú.

<sup>a</sup> Docente ordinario. Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Email: ebedoya@ujcm.edu.pe

<sup>2</sup> Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú.

<sup>b</sup> Docente contratado a TC. Doctor en Ciencias Ambientales. Email: efrennn@hotmail.com.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación del medioambiente disminuye la calidad de vida de los seres vivos; el hombre, en su afán de obtener energía a través del petróleo y otros tipos de energías no renovables, contamina el agua, el suelo y el aire.

Los gases de invernadero son un problema generado, en su mayor parte, por los países desarrollados. Estos gases de invernadero ocasionan el calentamiento de la tierra con una serie de consecuencias, como deshielo de los polos, aumento del agua de mar, huracanes, calor en zonas de frío y otros.

Dentro de los diferentes tipos de energía renovable encontramos la energía procedente de la biomasa, uno de ellos denominado biogás (gas metano) que también es un producto de la descomposición de la materia orgánica y consiste en un tipo de biogás combustible, este desempeña un papel muy importante en el desarrollo de sustentabilidad conforme a lo establecido en el protocolo de Kioto en la búsqueda de energías limpias. Los sectores económicos y energéticos en el mundo están concentrando inversiones en tecnologías para producción de biocombustibles<sup>(1)</sup>.

Los biodigestores son de tecnología simple, económica y de fácil instalación. Generalmente, consiste en una manga de polietileno de 1,2 m de diámetro por 6 m de largo. Se puede emplear en sitios planos o de superficie complicada, tanto en sectores urbanos o rurales<sup>(2)</sup>.

Las tecnologías seleccionadas para la construcción de biodigestores anaeróbicos han sido: la cúpula fija (modelo chino), el tubular plástico o de manga de polietileno con flujo continuo (tipo Taiwán) y la laguna anaeróbica cubierta con una geomembrana de polietileno de alta densidad<sup>(3)</sup>. El biodigestor tipo Taiwán es un sistema que está compuesto por un digestor tubular situado en una zanja en el terreno, un reservorio de plástico para la acumulación del biogás producido, uno o dos quemadores domésticos, y las respectivas tuberías y accesorios para la conducción del gas<sup>(4)</sup>.

Los sustratos para el proceso de obtención de biogás son: el estiércol de vacuno, caprino, o de otros animales.

Para la producción de biogás, los residuos permanecen entre 50 y 75 días sometidos a condiciones constantes de ausencia de oxígeno y una temperatura entre 35 y 40 °C. En este escenario, las bacterias descomponen las sustancias provocando que la mayor parte de la materia orgánica se digiera, el gas generado en este proceso se purifica y se desulfura para convertirse así en el valioso biogás, el cual es valorizado en motores de cogeneración que transforman la energía del metano en electricidad y calor<sup>(5)</sup>.

En un estudio en Tacna para la obtención de biogás metano Castillo y Tito (2010) trabajaron con dos mezclas de sustratos. La primera estuvo formada por excremento de cuy, rastrojo del alimento vegetal del cuy y agua; la segunda por excremento de cuy, rastrojo del alimento vegetal del cuy, pasto y agua. El excremento de cuy y el rastrojo del alimento vegetal del cuy, por separado, se recogieron manualmente y en sacos de polietileno, de criaderos artesanales del cuy. El mayor volumen total de biogás (tiempo de retención hidráulico de 7,6 meses en un solo *bach*) producido en el biodigestor dos de 452 litros, es un valor muy significativo.

El estiércol de los caprinos es del tipo caliente, se debe considerar que el estiércol acumulado cerca de las viviendas supone un foco de infección, olores y moscas que desaparecerán al ser introducido el estiércol diariamente en el biodigestor familiar<sup>(6)</sup>.

La digestión anaeróbica es una tecnología que permite una gestión sostenible de los residuos orgánicos agropecuarios mediante la conversión de una parte de la materia orgánica en biogás y en un efluente con características apropiadas para su uso como fertilizante y enmienda orgánica<sup>(4)</sup>. Las bacterias consumen el carbono y el nitrógeno y como resultado se produce el biogás o gas de los pantanos<sup>(7)</sup>.

La producción biológica de metano se realiza por un grupo de arqueas anaerobias estrictas. La metanogénesis tiene lugar mediante una serie exclusiva de reacciones en las que intervienen coenzimas. En los reactores se encuentran frecuentemente los metanógenos acetoclásticos que incluyen numerosas especies, las que son subdivididas en diferentes cepas. Los miembros más representativos de este orden son los géneros *Methanosaeta* y *Methanosarcina*<sup>(8)</sup>.

El pH influye en la producción de biogás, las mayores cantidades se producen a pH entre 6,5 a 7<sup>(9)</sup>.

Los bovinos disponen de un sistema digestivo que tiene la capacidad de aprovechar y convertir material fibroso con altos contenidos de celulosa, en alimentos de alta calidad nutritiva: carne y leche. Sin embargo, por sus características innatas, este mismo sistema digestivo también produce metano, un potente gas con efecto invernadero y que contribuye con el 18% del calentamiento global antropogénico, superado solo por el CO<sub>2</sub><sup>(10)</sup>.

A nivel mundial, existen residuos agrícolas como el estiércol que, de manera natural, producen biogás contaminando el aire. Este gas se puede aprovechar para cocinar alimentos, producción de energía eléctrica, u otros; por tal motivo, se realizó un estudio que permita utilizar el estiércol de animales para la producción de biogás en Moquegua.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La muestra de estiércol de cordero y chivo utilizados en el experimento procedió del distrito de Moquegua, departamento de Moquegua-Perú. Se utilizó un diseño experimental con un tratamiento y tres repeticiones. En cada tratamiento (biodigestor) se usó un volumen 100 L de agua sin cloro y 60 L en volumen de estiércol de cordero y chivo (12 kg c/u relación de 1 a 1). Cuatro días antes de iniciar la investigación se hizo fermentar en un depósito de 20 L de capacidad 9 L de estiércol de res y agua (relación de 1 a 1) a sol directo. A cada biodigestor se le añadió 3 L de fermento para activar el proceso de obtención de biogás. Las pruebas se realizaron en una sola carga, se iniciaron el 20 de octubre, se realizaron en el fundo Yaravico km 2, el valle Moquegua, la Universidad José Carlos Mariátegui y la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna.

### *Análisis de muestras y métodos empleados*

A las muestras de estiércol se les analizó la humedad por el método de la estufa a 105 °C por 5 h y durante la fermentación anaeróbica; para la producción de biogás se controló la temperatura mediante una termocupla y un multitestester; el volumen se midió semanalmente en polietileno de alta densidad tipo cilindro. Mediante la fórmula  $V=3,1416xr^2xh$ .

## RESULTADOS

### *Componentes en el biodigestor*

Se diseñó y construyó tres biodigestores tipo semitubular (Figura 1) de 1,70 m de largo por 0,50 m de diámetro, con plástico de polietileno de alta densidad (1,5 mm de grosor). A cada biodigestor se añadió un volumen 100 L de agua sin cloro y 60 L en volumen de estiércol de cordero y chivo (24 kg, relación de 1 a 1) como se muestra en la tabla 1. La humedad del estiércol de cordero y chivo fueron de 15,3 y 16%, respectivamente.

En la figura 2 se muestra el color azulino de la llama al quemar el biogás metano.

**Tabla 1.** Componentes en el biodigestor

Componente	Cantidad en volumen (%)
Estiércol de cordero y chivo (60 L=24 kg relación1:1)	37,50
Agua sin cloro (100 L)	62,50



**Figura 1.** Biodigestor de plástico de color negro (polietileno de alta densidad)



**Figura 2.** Llama del biogás

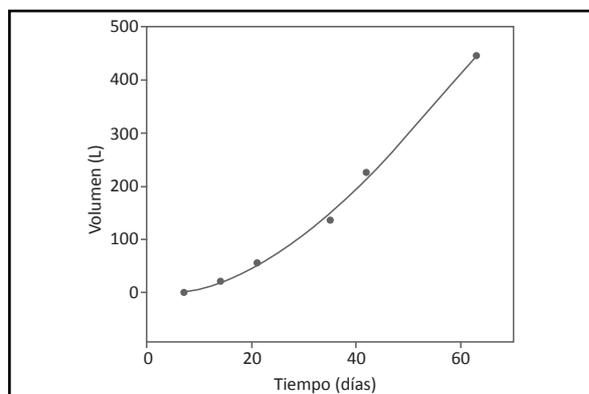
**Producción de biogás**

La fermentación se inició luego de haber añadido 3 L de estiércol activado con bacterias metanogénicas; a los siete días de iniciada la fermentación a 50 % de sol directo, se obtuvo un volumen de 40 L el cual se descartó; a partir del séptimo día se inició el proceso de fermentación anaeróbico para la obtención de biogás, como se muestra en la Tabla 1. A los 14 días se obtuvo 20 L; 21 días 55 L; 35 días 135 L; 42 días 225 L y a los 63 días 445 L continuando su fermentación. El control de la temperatura mostró que la fermentación estuvo entre 28 °C a las 22.00 h y 58 °C a sol directo a las 13.00 h. A los 7 días de iniciada la fermentación el pH fue de 6,3 y llegó a un máximo de 7,4 a los 42 días (Tabla 2).

**Tabla 2.** Resultados promedio de la fermentación en los tres biodigestores

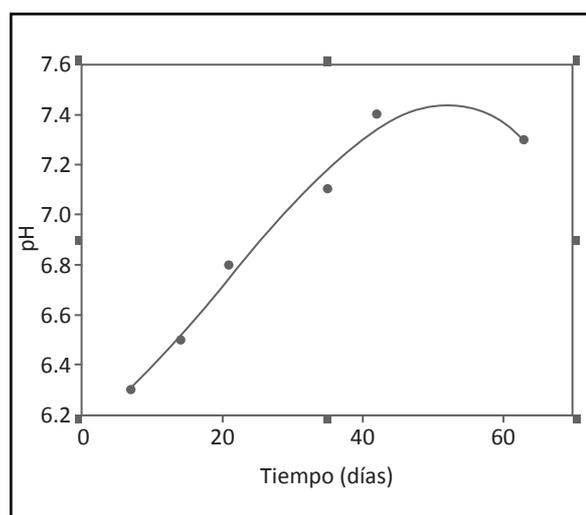
Tiempo (días)	Volumen acumulado (L)	Promedio de temperatura		PH a 20 °C
		Noche (22:00 h)	Tarde (13:00 h)	
7	0	28	58	6.3
14	20	28	57	6.5
21	55	29	58	6.8
35	135	28	58	7.1
42	225	30	58	7.4
63	445	29	58	7.3

En la figura 3 se muestra el tiempo vs. la producción promedio de biogás (L). El análisis estadístico permitió determinar el coeficiente de determinación para el proceso de fermentación anaeróbica en la producción de biogás el cual fue de  $R=0,9974$ ; el coeficiente ajustado  $R=0,9936$ .



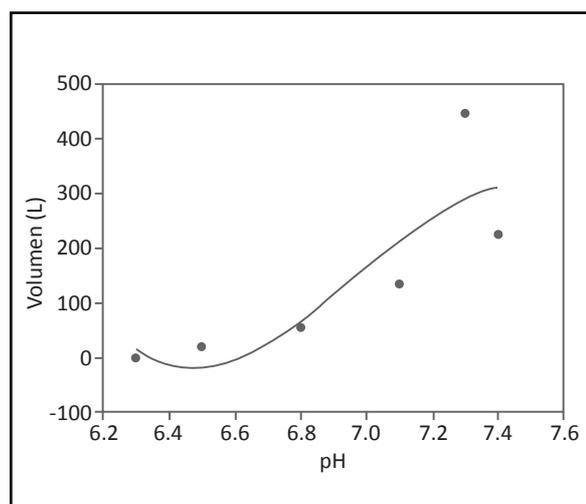
**Figura 3.** Tiempo (días) vs. producción acumulada de biogás (L)

En la figura 4 se muestra el tiempo vs. el pH promedio durante la producción de biogás (L). El análisis estadístico permitió determinar el coeficiente de determinación para el proceso de fermentación anaeróbica en la producción de biogás el cual fue de  $R=0,9863$ ; el coeficiente ajustado  $R=0,9659$ .



**Figura 4.** Tiempo (días) vs. pH del fermento en la producción de biogás (L)

En la Figura 5 se muestra la influencia del pH en la producción de biogás (L). El análisis estadístico permitió establecer el coeficiente de determinación para fijar la influencia del pH durante el proceso de fermentación anaeróbica en la producción de biogás, el cual fue de  $R=0,853$ ; el coeficiente ajustado  $R=0,7230$ .



**Figura 5.** Influencia del pH en la producción de biogás (L).

## DISCUSIÓN

Se añadió un volumen 100 L de agua sin cloro y 60 L en volumen de estiércol de cordero y chivo (24 kg relación de 1 a 1) diferente a lo reportado por Castillo y Tito (2010), quienes realizaron una mezcla de sustratos (mezcla uno) de 30 litros de excremento de cuy, 60 L de rastrojo del alimento vegetal del cuy y otra mezcla de 90 L de agua; el segundo, prefermentado, a partir de la segunda mezcla de sustratos (mezcla dos) de 30 L de excremento de cuy, 30 L de rastrojo del alimento vegetal del cuy, 30 L de residuo de pasto y 90 L de agua, la relación de agua y residuo de los dos investigadores fue de 1 a 1 aproximadamente, diferente al trabajo de investigación que fue de 1 estiércol por 2 de agua, aproximadamente (Tabla 1).

En la presente investigación se trabajó con temperaturas entre 28 °C a las 22.00 h, y 58 °C a sol directo a las 13.00 h durante 63 días, este tiempo de retención es similar a lo indicado por Mago *et al.*<sup>(5)</sup> quienes en una investigación reportaron que para la producción de biogás metano, los residuos permanecen entre 50 y 75 días sometidos a condiciones constantes de ausencia de oxígeno y una temperatura entre 35 y 40°C. La temperatura máxima de trabajo en la investigación fue de 58°C superior a lo reportado por Teniza-García *et al.*<sup>(11)</sup>, quienes trabajaron con temperaturas de 37 °C; del mismo modo, la temperatura fue superior a lo reportado por Posada, Ramírez y Rosedo (2014) quienes, en la producción de gas metano y digestibilidad *in vitro*, trabajaron a 39 °C

Los resultados del volumen de biogás se asemejan a lo reportado por Castillo y Tito<sup>(7)</sup>, quienes obtuvieron a partir del estiércol de cuy y residuos, 452 L en 7 meses y 19 días, pero son diferentes en el tiempo, siendo más eficiente en el presente trabajo de investigación. Estas diferencias, probablemente, se deban a la relación de agua, tipo de residuo y temperatura de fermentación anaeróbica.

El pH promedio que se obtuvo en la presente investigación estuvo entre 6,3 a 7,4, similar a lo reportado Carmona; Bolívar y Giraldo<sup>(9)</sup>, quienes reportaron las mayores cantidades de biogás metano a pH entre 6,5 a 7, además, indicaron que el pH influye en la producción de biogás. La mayor producción de biogás se obtuvo a pH mayores a 7.

## CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó un biodigestor tubular semicontinuo, con un largo de 1,70 m y con diámetro de 0,5 m. A través de este, se fermentó el estiércol de los animales en condiciones ambientales, previa adición de 3 L de estiércol fermentando.

Se mezcló 100 L de agua sin cloro y 60 L de estiércol de cordero y chivo (22 kg de 1:1) obteniéndose biogás a partir de octavo día hasta los 63 días, donde se obtuvo 445 L, continuando la fermentación.

Las mayores cantidades de biogás se obtuvieron a partir de los 35 días de iniciada la fermentación anaeróbica, se comprobó su presencia mediante la quema del biogás que produjo una llama azul.

El pH del biodigestor (en operación) tuvo influencia en la producción de biogás, la mayor producción se produjo a pH mayores a 7.

## RECOMENDACIONES

Durante la fermentación, luego de un mes, mover el biodigestor para que se homogenicen los componentes del biodigestor y se produzca más biogás.

La fermentación, en lo posible, deberá realizarse en un cuerpo negro, de preferencia plástico, tener un depósito de plástico para su recepción y que el sol le dé como mínimo cinco horas al día.

Extraer el biogás de noche o en las mañanas, luego que se haya condensado el vapor de agua y así obtener biogás de más pureza.

### **Contribución de los autores**

Los autores han participado en la concepción y diseño del proyecto de investigación, análisis e interpretación de datos, asesoría estadística, así como en la redacción y revisión crítica del artículo.

### **Agradecimientos**

Los autores agradecen a los estudiantes del sexto ciclo de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental por el apoyo prestado en la ejecución de la investigación.

**Conflicto de Interés**

Los autores declaran no tener conflicto de interés

**Fuente de financiamiento**

Autofinanciado

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Souza, Jose y Schaeffer, Lirio. <http://www.scielo.cl>. [Online]; 2013. Available from: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642013000600002](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642013000600002).
- Ponce E. <http://www.scielo.cl>. [Online]; 2016. Available from: <http://www.scielo.cl/pdf/idesia/2016nahead/aop1116.pdf>.
- Cepero L, Savran V, Blanco D, Diaz Piñon MR, Suárez J, Palacios A. Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. Pastos y Forrajes. 2012 abril-junio; 35(2): p. 219-226.
- Poggio, D.; Ferrer, I.; Batet, Ll. y Velo, E. <http://upcommons.upc.edu>. [Online]; 2009. Available from: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/7989/2575167.pdf;jsessionid=2A70C471C-C6068EAB8C5AA9274404217?sequence=1>.
- Mago, Maria; Sosa, José; Flores, Blanca y Tovar, Luis. <http://www.redalyc.org>. [Online]; 2014. Available from: <http://www.redalyc.org/pdf/707/70732656008.pdf>.
- Lozano Broncales N. <http://www.lamolina.edu.pe>. [Online]; 2012. Available from: [http://www.lamolina.edu.pe/proyectos/proyecto\\_AQUAtech/Diplomado\\_III/monografias/pdf\\_doc/LOZANO.pdf](http://www.lamolina.edu.pe/proyectos/proyecto_AQUAtech/Diplomado_III/monografias/pdf_doc/LOZANO.pdf).
- Castillo Cotrina, Daladier y Tito Vargas, Carlos. <http://www.unjbg.edu.pe>. [Online]; 2010. Available from: <http://www.unjbg.edu.pe/coin2/pdf/15-2011.pdf>.
- Ferrer Y, Pérez H. <http://www.redalyc.org>. [Online]; 2010. Available from: <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223120681002.pdf>.
- Carmona, Juan; Bolivar Diana y Giraldo, Luis. <http://www.scielo.org.co>. [Online]; 2005. Available from: <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v18n1/v18n1a06.pdf>.
- Montenegro, J. y Abarca, S. <http://www.fao.org>. [Online]. Available from: <http://www.fao.org/3/a-x6366s/x6366s10.htm>.
- Teniza-Garcia, O. et al. <http://www.scielo.org.mx>. [Online]; 2015. Available from: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-27382015000200009&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-27382015000200009&script=sci_abstract).
- Vila H. <http://bdigital.uncu.edu.ar>. [Online]; 2002. Available from: [http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/587/Tesis%20Hern%C3%A1n%20Vila.pdf](http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/587/Tesis%20Hern%C3%A1n%20Vila.pdf).
- Salvador Paladines G. <http://repositorio.ute.edu.ec>. [Online]; 2011. Available from: [http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/4950/1/47764\\_1.pdf](http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/4950/1/47764_1.pdf).
- Del Rio, Antonio y Jaramillo, Oscar. <http://www.cie.unam.mx>. [Online]; 2006 [cited 2015 12 30. Available from: [http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/Presentaciones/Cocinando\\_SOL.pdf](http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/Presentaciones/Cocinando_SOL.pdf).
- Gonzalez Mozo, Carlos y Gonzalez Gonzalez, Enrique. <http://www.eis.uva.es>. [Online]. [cited 2015 12 30. Available from: [http://www.eis.uva.es/energias-renovables/trabajos\\_07/COCINA-SOLAR.pdf](http://www.eis.uva.es/energias-renovables/trabajos_07/COCINA-SOLAR.pdf).

**Correspondencia:** Edgar Virgilio Bedoya Justo

Dirección: Fundo Yaravico km2, El valle Moquegua, Mariscal Nieto, Moquegua 18001 - Perú

Correo electrónico: ebedoya@ujcm.edu.pe