



## Obtención de biogás mediante la fermentación anaerobia de estiércol

**Anahí Helguero Gutiérrez. Lautaro Bustillos Peña y Javier Gonzalo Hernani Díaz**

**RESUMEN:** El biogás es una mezcla gaseosa formada en su mayoría por metano y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), este proceso se lleva a cabo comúnmente en sistemas llamados digestores, los cuales por la fermentación anaeróbica de desechos orgánicos se obtiene biogás. El objetivo de este trabajo es estudiar el proceso de descomposición del estiércol a nivel de laboratorio y determinar que volumen de biogás es el producto de una cantidad de estiércol, por lo que se montó un sistema que consistía en una probeta invertida en lechos de agua conectada a un frasco que contiene la muestra, donde se encuentra el estiércol con una cantidad de azúcar morena, el gas obtenido es transportado por un conducto y enviado hacia la probeta invertida, de manera que el volumen desplazado en esta sea el volumen de biogás resultante de todo el proceso. El experimento se realizó durante 23 días, en los cuales se logró obtener un volumen (318 ml) a partir de 200 g de biomasa (estiércol) y 320 g de azúcar morena.

**PALABRAS CLAVE:** Biogás, fermentación anaerobia, estiércol.

**AUTORES:** **Anahí Helguero Gutiérrez y Lautaro Bustillos Peña:** Estudiantes Química General e Inorgánica. Paralelo A. Carrera de Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés.

**Javier Gonzalo Hernani Díaz:** Docente Química General e Inorgánica. Carrera de Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. [e.umsa.aa@gmail.com](mailto:e.umsa.aa@gmail.com)

**Recibido:** 10/07/2018. **Aprobado:** 15/08/2018.



## INTRODUCCIÓN

A finales del siglo XVIII el físico italiano Alessandro Volta identificó por primera vez el metano (CH<sub>4</sub>) como el gas inflamable en las burbujas que emergían de los pantanos, no se pudo imaginar la importancia que este gas podría llegar a tener para la humanidad en los siglos posteriores.

El metano alcanzó una especial importancia durante la segunda guerra mundial debido a la escasez de combustibles. Con el fin de la guerra y la fácil disponibilidad de combustibles fósiles, la mayoría de las instalaciones fueron cesando en su funcionamiento. Sin embargo, en India, a comienzos de la década de los 60, se impulsó notablemente la tecnología de producción de biogás a partir del estiércol bovino con el doble propósito del aprovechamiento energético y la obtención de un biofertilizante.

En China, a inicios de la década de los 70, se ha fomentado la construcción de digestores, mediante programas de ámbito nacional. En los países

industrializados la historia de la tecnología de biodigestión ha sido diferente y el desarrollo ha respondido más bien a motivaciones medioambientales puramente energéticas, constituyendo un método clásico de estabilización de lodos activos de las plantas de tratamiento de aguas residuales domiciliarias. Durante la década de los 80, volvió a adquirir gran importancia como forma de recuperación energética en explotaciones agropecuarias y agroindustriales.

La actividad agropecuaria y el manejo adecuado de residuos rurales pueden contribuir significativamente a la producción y conversión de residuos animales y vegetales (biomasa) en distintas formas de energía. Durante la digestión anaeróbica de la biomasa, mediante una serie de reacciones bioquímicas, se genera el biogás, el cual, está constituido principalmente por metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Este biogás puede ser capturado y usado como combustible para muchas aplicaciones.

De esta forma, la digestión anaeróbica, como método de tratamiento de residuos, permite disminuir la cantidad de materia orgánica contaminante, estabilizándola (bio-abonos) y al mismo tiempo produciendo combustibles.

Desde una perspectiva de los países desarrollados y en desarrollo, la biotecnología anaeróbica contribuye a cumplir tres necesidades básicas:

- a) Mejorar las condiciones sanitarias mediante el control de la contaminación
- b) Generación de energías renovables para actividades domésticas
- c) Suministrar materiales estabilizados como un biofertilizante para los cultivos.

Por lo tanto, la biotecnología anaeróbica juega un importante papel en el control de la contaminación y para la obtención de valiosos recursos: energía y productos con valor agregado.

## OBJETIVOS

- Determinar el volumen de biogás producido por la fermentación anaerobia de biomasa especial (estiércol y azúcar morena), a través del desplazamiento de gases en una columna de agua a condiciones ambientales.
- Observar el comportamiento de un biodigestor a nivel de laboratorio.

## EL ESTIERCOL Y SU COMPOSICIÓN

Estiércol es el nombre con el que se denomina a los excrementos de animales que se utilizan para fertilizar los cultivos. En ocasiones el estiércol está constituido por más de un desecho orgánico, como por ejemplo excrementos de animales y restos de las camas, como sucede con la paja.

Generalmente el estiércol de vaca está compuesto por azúcares, proteínas, aceites y grasas, la composición general del estiércol presenta los siguientes elementos:

Tabla 1. Elementos que componen el estiércol.

CARBONO (C)	50%
NITRÓGENO (N)	16%
FÓSFORO (P)	14%
POTASIO (K)	13%
OTROS	7%

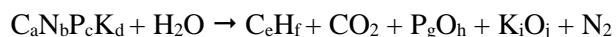
## BIOGÁS

El biogás es una mezcla gaseosa combustible formada principalmente de metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que se obtiene por la digestión anaeróbica del estiércol de los animales o residuos orgánicos, realizada por bacterias que descomponen parcialmente la biomasa. El biogás es un producto que brinda energía sustentable aprovechando las materias primas y contribuyendo a reducir la contaminación ambiental.

### Obtención de biogás

#### Fermentación anaeróbica

La fermentación anaeróbica es un proceso por el cual la materia orgánica inicial es catabolizada y descompuesta en ausencia de oxígeno mediante microorganismos anaeróbicos (bacterias), la mayor parte de compuestos que sufren este proceso originan alcoholes, entonces la fermentación es de tipo metanogénica.



#### Etapas de la fermentación metanogénica

La digestión anaeróbica es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea.

Los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta ahora, dividen el proceso de

descomposición anaeróbica de la materia orgánica en cuatro fases o etapas:

- Hidrólisis
- Etapa fermentativa o acidogénica
- Etapa acetogénica
- Etapa metanogénica

### **Hidrólisis**

La materia orgánica no puede ser utilizada directamente por los microorganismos a menos que se hidrolicen en compuestos solubles, es decir las sustancias orgánicas complejas serán descompuestas en otras más sencillas, esto ocurre cuando el contenido de agua en la biomasa atraviesa la pared celular de las células iniciales.

La hidrólisis es el primer paso necesario para la degradación anaeróbica de sustratos orgánicos complejos. Por tanto, es el proceso de hidrólisis el que proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaeróbica.

La hidrólisis de estas moléculas complejas es llevada a cabo por la acción de enzimas extracelulares producidas por microorganismos hidrolíticos.

### **Etapa fermentativa o acidogénica**

Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas y compuestos orgánicos más reducidos que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso. La importancia de la presencia de este grupo de bacterias no sólo radica en el hecho que produce el alimento para los grupos de bacterias que actúan posteriormente, sino que, además eliminan cualquier traza del oxígeno disuelto del sistema.

Este grupo de microorganismos, se compone de bacterias facultativas y anaeróbicas obligadas, colectivamente denominadas bacterias formadoras de ácidos.

### **Etapa acetogénica**

Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos, otros deben ser transformados en productos más sencillos, como acetato e hidrógeno, a través de las bacterias acetogénicas. Estos microorganismos acetogénicos son *Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolini*.

Un tipo especial de microorganismos acetogénicos, son los llamados homoacetogénicos. Este tipo de bacterias son capaces de crecer en presencia de azúcares o compuestos produciendo como único producto acetato. Al contrario que las bacterias acetogénicas, éstas no producen hidrógeno como resultado de su metabolismo, sino que lo consumen como sustrato. Según se ha estudiado, el resultado neto del metabolismo permite mantener bajas presiones parciales del hidrógeno y, por tanto, permite la actividad de las bacterias acidogénicas y acetogénicas.

### **Etapa metanogénica**

En esta etapa, un amplio grupo de bacterias anaeróbicas actúan sobre los productos resultantes de las etapas anteriores. Los microorganismos metanogénicos pueden ser considerados como los más importantes dentro de los microorganismos anaerobios, ya que son los responsables de la formación de metano y de la eliminación del medio de los productos de los grupos anteriores, siendo, además, los que dan nombre al proceso general de obtención de metano.

Los microorganismos metanogénicos completan el proceso de digestión anaeróbica mediante la formación de metano a partir de sustratos azucarados. Se ha demostrado que un 70% del metano producido en los reactores anaeróbicos se forma a partir del ácido acético dentro de la reacción.

Los procesos anaeróbicos, al igual que muchos otros sistemas biológicos, son fuertemente dependientes de la temperatura. La velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la

velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados. A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión.

La temperatura de operación del digestor, es considerada uno de los principales parámetros de diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de digestión anaeróbica. Las variaciones bruscas de temperatura en el digestor afectan el proceso, llegando a obtener resultados no satisfactorios. Por ello, para garantizar una temperatura homogénea en el digestor, es imprescindible un sistema adecuado de agitación y un controlador de temperatura.

Existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos para un residuo de biogás óptimo: psicrófilos (por debajo de 25°C), mesófilos (entre 25 y 45°C) y termófilos (entre 45 y 65°C)

Dentro de cada rango de temperatura, existe un intervalo para el cual dicho parámetro se hace máximo, determinando así a los mesófilos a la temperatura de trabajo óptima en cada uno de los rangos posibles de operación.

A mayor temperatura se apresura la producción de biogás, pero cabe recalcar que los resultados más óptimos podrían obtenerse con

temperaturas entre 25 y 45 °C. Considerando que el biogás es un gas compuesto por metano y dióxido de carbono, podemos estimar el volumen de BIOGAS a obtener según estudios realizados por María Teresa Varnero Moreno en su publicación “Manual de Biogás”, en el cual el volumen de biogás obtenido en distintos digestores de las siguientes especies durante 25 días a una temperatura media de 30°C fue, ver tabla 2.

Tabla 2. Valores estimados de biogás.

Número de animales	Kg estiércol/día	Biogás m3/día
2 bovinos	20	0.40

Fuente: Varnero M.T. (2011).

## ANALISIS EXPERIMENTAL

Se emplea el siguiente material para el experimento, ver tabla 3.

Tabla 3. Materiales a empleados.

MATERIAL	CANTIDAD	CAPACIDAD
Frasco de vidrio	1	300 g
Set de suero	2	
Jeringa	1	10 ml
Probeta graduada	1	1000 ml
Cubeta de agua	1	
Soporte universal	1	
Pinza Holder	1	

## Cronograma de control del proceso

Tabla 4. Cronograma de actividades del experimento.

ACTIVIDAD	1/05	2/05	3/05	4/05	5/05	6/05	7/05	8/05	9/05	15/05	16/05	23/05
Obtención estiércol	X											
Montaje de esquema		X										
Control 1			X									
Control 2				X								
Control 3					X							
Control 4						X						
Control 5							X					
Control 6								X				
Baño maría 7									X			
Control 8										X		
Control 9											X	
Verificación												X

Fuente: Elaboración propia (2018).

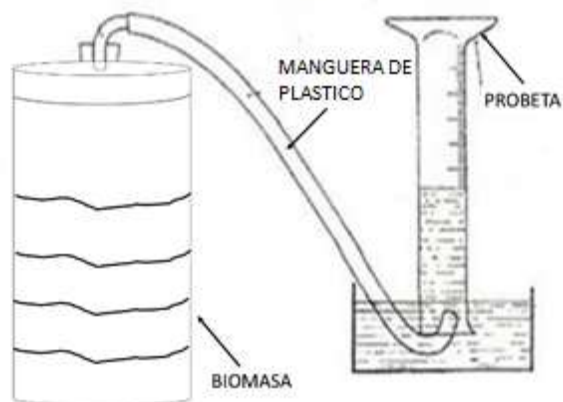


Figura 1. Esquema del experimento.

Para el experimento se emplea una cantidad de biomasa (estiércol), compuesta de 200 g de estiércol de vaca, este mismo un día después fue depositado en un frasco de vidrio que previamente habría sido preparado para el sistema, en la tapa del frasco se realizó un orificio de diámetro igual al de la manguera del sistema de suero, para que no existan fugas en este sector, se selló con silicona en barra por ambos lados.

Para proceder a depositar el estiércol en el frasco, se mezcló con azúcar morena en una cantidad de 320 g; cuya función es acelerar el proceso de digestión anaeróbica, ya puesta la biomasa total en el frasco este se cerró con un plástico, luego se selló los bordes de la tapa y el frasco con cinta aislante. Posteriormente se armó el sistema de la probeta invertida en lechos de agua; para esto, se utilizó una probeta de 1000 ml de capacidad, se debe cuidar que el nivel de agua llene completamente la probeta.

Se inserta la manguera que se encuentra unida al frasco y se procede a abrir la válvula de paso, para observar la cantidad de  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  que se obtiene por reacción química.

Como se muestra en la tabla de “Cronograma de actividades del experimento”, se realizaron controles en laboratorio, pero, no se observó desplazamiento de volumen hasta el control 6 8 de Mayo, en el cual se observó que la fermentación había

comenzado a producir gases que marcaban 7 ml, al día siguiente se sumergió al frasco con biomasa a baño maría en un calentador eléctrico con agua, cuya temperatura fue de  $64^\circ\text{C}$  durante 15 minutos; se observó que al momento de someter al sistema a este proceso, el volumen se desplazó hasta marcar 315 ml.

En el control 7 y 8 se observó que el volumen final obtenido fue de 318 ml. En la fecha 23 de Mayo de la presente gestión, se realizó la comprobación de que el volumen de gas presente en la probeta fuera un gas combustible (biogás); para el cual se utilizó una jeringa de 10 ml y una manguera de suero con su válvula, se introdujo la manguera con la válvula cerrada hasta el punto más alto de la probeta en el sistema (0 ml), lentamente se extrajo 10 ml de la sustancia gaseosa, al completar los 10 ml se cerró la válvula de la manguera, y usando un fósforo, se acercó al extremo de la manguera, sin contacto con ella, luego se disparó con la jeringa y se observó la combustión del gas, de esta manera se pudo comprobar de que el gas obtenido en la probeta invertida es un gas combustible producto de la fermentación anaeróbica del estiércol.

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

En base a la teoría el volumen (ml) que debería obtenerse son 4000 ml a partir de 200 g de estiércol en un periodo de 46 días a una temperatura de promedio de  $35^\circ\text{C}$ .

$$200g * \frac{200000ml}{10000g} = 4000ml$$

A raíz del experimento se muestra que, a partir de 200 g de estiércol y 320 g de azúcar morena, se obtuvieron 318 ml de biogás en un periodo de 22 días y una temperatura media de  $14^\circ\text{C}$ , cabe especificar que la adición de azúcar no influirá en el producto de la reacción.

Los datos obtenidos se controlaron por días y se midieron los volúmenes de gas desplazados, ver tabla 4. Así mismo se realizó una representación

gráfica del volumen desplazado respecto al tiempo de reacción, ver figura 2.

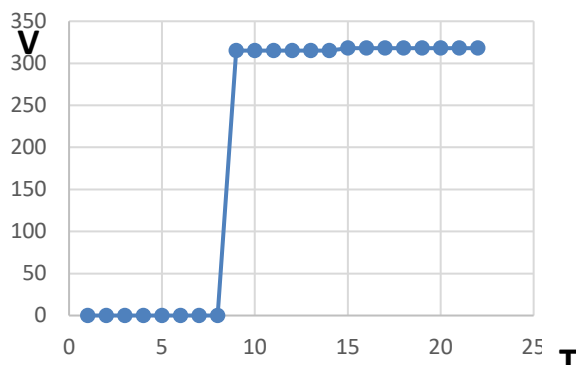


Figura 2. Volumen desplazado de gas combustible.

Tabla 5. Volumen obtenido de biogás por días.

TIEMPO (DÍAS)	VOLUMEN (ml)
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	315
10	315
11	315
12	315
13	315
14	315
15	318
16	318
17	318
18	318
19	318
20	318
21	318
22	318

Fuente: Elaboración propia (2018).

## CONCLUSIONES

Se observa una diferencia entre resultados teóricos y experimentales, debido a que el experimento realizado difiere en los siguientes

factores; temperatura, contenido extra de azúcar morena y tiempo de reacción.

Las influencias de estos provocaron menor rendimiento de la obtención de biogás, ya que la temperatura aplicada en el control 7 fue de 64°C por la inmersión del frasco en baño maría durante 15 minutos, los controles restantes mantuvieron una temperatura promedio de 14°C.

La cantidad extra de azúcar morena que se añadió al recipiente con estiércol con el fin de acelerar el proceso de fermentación que contribuyó a la variación de tiempo para la obtención de biogás.

En el presente trabajo se puede concluir que se puede obtener la mayor cantidad de biogás a mayor tiempo de fermentación con temperaturas aproximadas a 35 °C. Por lo tanto, se define que la temperatura, azúcar y tiempo influyen en la obtención de biogás.

Con 200g de estiércol, 320g de azúcar morena y un tiempo de 22 días, se obtuvieron por fermentación anaeróbica 318ml de biogás a nivel de laboratorio a una temperatura promedio de 14°C y 64°C en el control 7 en un lapso de 15 minutos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Chengdu. (1989). *The Biogas Technology in China*. 1989. Chengdu Biogas Research Institute
- Comisión Nacional de Energía. CNE. (2006). *Guía del Mecanismo de Desarrollo Limpio para Proyectos del Sector Energía en Chile*. Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ), Cooperación Intergubernamental Chile-Alemania (Eds). 69 p, Santiago.
- Varnero, M.T. (2001). *Desarrollo de substratos: Compost y Bioabonos*. In: *Experiencias Internacionales en la Rehabilitación de Espacios Degradados*. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales.

Obtención de biogás mediante la fermentación anaerobia de estiércol.

Publicaciones Misceláneas Forestales N° 3,  
123p. 21 –30.

Varnero, M.T. (2011). *Manual del Biogás*. Proyecto CHI/00/G32 “Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables”, p. 13 – 24, 36 – 45, 107 – 108.