

Estudio de la producción de biogás a escala de laboratorio utilizando diferentes tipos de biomasa agrícolas

Study of biogas production to lab scale using different types of agricultural biomass

Carlos M. Martínez Hernández¹; Norbert Kanswohl²; Mathias Schlegel².

1. Facultad de Ciencias Agropecuarias; Dpto de Ingeniería agrícola, UCLV.

2. Agrar und Umweltwissenschaftliche Fakultät. Institut für Nutztierwissenschaften und Technologie Landwirtschaftliche, Verfahrenstechnik.

E-mail: carlosmh@uclv.edu.cu

RESUMEN: Se realizó un estudio a escala de laboratorio de diferentes biomasa agropecuarias residuos en Alemania utilizadas para la obtención de metano y mostrar su metodología. Se desarrolló en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Agropecuarias del Instituto de tecnología agropecuaria de la Universidad de Rostock. Se realizó la valoración parcial, cuantitativa y cualitativa de algunos de las variantes experimentales investigadas, a nivel de probeta. EL volumen mínimo de biogás obtenido fue 50 mL, el máximo 130 mL. La calidad mínima obtenida fue 48 % (CH₄), siendo el maximo obtenido 62,9 % (CH₄). La metodología descrita es factible de extrapolar a cualquier laboratorio que tenga los requisitos minimos expuesto en este trabajo.

Palabras clave: Biogás, desechos agrícolas, laboratorio, metano.

ABSTRACT: This paper show the lab methodology in order to obtain methane using different german agricultural biomass.

That research was executed at Rostock University. The main objective is to apply this technology in order to extend those studies in another research centre around the world in order to obtain methane to a lab scale.

Key words: Biogas, agricultural waste, lab scale, methane.

INTRODUCCIÓN

La utilización de fuentes renovables de energía es una necesidad creciente de los países desarrollados y en vías de desarrollo. Para los primeros, el ritmo de desarrollo alcanzado necesita de un suministro constante y con buenos precios de los combustibles necesarios para mover sus economías industriales y domésticas de un alto y constante desarrollo. Para

los países en vías de desarrollo, esto posibilita una vía de desarrollo con relativos bajos gastos al poder utilizar y desarrollar fuentes nativas de combustibles y energía, los cuales son necesarios para lograr el desarrollo y de elevados costos en los mercados internacionales.

En la actualidad es conocido que los combustibles fósiles han alcanzado un precio muy alto, siendo los países desarrollados los máximos consumidores y también los máximos contaminadores debido a su consumo en gran escala a nivel global.

Por tal motivo, el tema de obtención de fuentes renovables de energía es muy llamativo para las sociedades desarrolladas y muy necesario para las subdesarrolladas. A escala global se prevé un agotamiento de los combustibles fósiles para los venideros años y un incremento de la carga contaminante de los mismos, si no se toman las medidas pertinentes a tales efectos.

Dentro de las fuentes renovables de energía, el biogás constituye una importante fuente, ya que puede producir energía a través del empleo de cinos en aras de reducir importaciones, por lo que nos proponemos como objetivo evaluar la ensilabilidad del boniato como fuente energética en la alimentación del cerdo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo en su primera etapa comienza con el análisis y la valoración de diferentes biomásas agrícolas de origen Alemán a pequeña escala (laboratorio). Una segunda etapa, se prevé desarrollar con el escalado a nivel de prototipo productivo. Finalmente, una tercera etapa se planifica ejecutar con el análisis de diferentes biomásas de origen cubano.

Se planificó un ensayo con diferentes biomásas agrícolas de origen Alemán, las cuales son colocadas en contenedores plásticos sellados (pomos), de un litro de capacidad, sumergidos en agua calentada artificialmente a temperatura constante de 35 °C para lograr un régimen de temperatura mesofílico. Estos contenedores se encuentran conectados mediante mangueras plásticas impermeables a cilindros de vidrios, los cuales a su vez se encuentran sumergidos en probetas de laboratorio de 1000 mL de volumen, las cuales contienen en su interior una solución formada por sal y metil naranja (indicador) con pH 3,2 – 4,4 que impide que los gases generados en el proceso de metano génesis y almacenados en el interior de los cilindros de vidrios

se disuelvan en el interior de las probetas con la solución indicada, afectando la veracidad de las mediciones. Esta disolución se prepara con la siguiente técnica operatoria:

Se prepara en un beaker una solución de 2 cm³ de ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 96 % de concentración en 1 litro de agua. En una cubeta plástica aparte, se prepara una solución de 8 litros de agua con sal común (2 880 g), se añade una cucharadita de metil naranja a la cubeta plástica y se comienza a revolver con una paleta de madera, posteriormente se vierte poco a poco la solución contenida en el beaker y se revuelve nuevamente con una paleta de madera hasta lograr la homogeneidad en el color rosado; esta disolución es filtrada para evitar que gránulos de metil naranja no diluidos pasen a las probetas graduadas donde será vertida la solución preparada. Con estas proporciones, el volumen preparado alcanza para cuatro probetas.

La disolución preparada es un indicador que permite conocer si los gases generados en los contenedores plásticos (pomos) se disuelven y pasan al interior del líquido de cierre de las probetas. En caso de disolución de los gases en el líquido de cierre, este cambia la coloración e indica el fenómeno, lo cual permite monitorear y controlar este parámetro durante todo el proceso de experimentación. Se debe destacar que los cilindros de vidrio están cerrados por su parte superior con tapones de gomas a donde se acoplan dos tomas de tubos de vidrio con sus respectivas llaves de paso de tres vías. Una rama de estas tuberías, se une a los contenedores de biomasa, la otra sección de tubos plásticos queda libre y cerrada con su respectiva llave de paso para acoplarse al equipo analizador de gases, una vez se decida comenzar las mediciones para cuantificar la cantidad y calidad de los gases generados (composición), una vez transcurrido el intervalo de tiempo necesario entre una y otra medición. Las mediciones en los primeros tres días de montadas las diferentes variantes de biomásas a analizar, se realizan a razón de dos o tres diariamente, lo anterior está motivado por el volumen de gas generado por estas biomásas, ya que en los primeros días la producción de CO₂ es abundante y esto puede traer como consecuencias que los cilindros de vidrios sean expulsados de las probetas, lo cual afectaría las investigaciones.

Posteriormente, a medida que avanza el ciclo de experimentación, se realiza una medición por día, ya que la producción de gases se estabiliza en un determinado rango. Este ciclo puede tener una duración máxima de 35 días.

Antes de comenzar con las mediciones se purga el sistema, el objeto de la purga consiste en dejar un espacio muerto de gas en el interior de los cilindros de vidrios (50 mL), el cual permita una referencia a tener en cuenta a la hora de medir el volumen de gas generado en cada uno de ellos por día. Se debe aclarar que el cilindro de vidrio tiene en su interior diferentes componentes tales como: aire atmosférico, gases generados por la biomasa en investigación y gases generados por el inóculo. Entonces, el primer paso es conocer que volumen de gas se está midiendo. Para lograr

lo anterior, se monta una variante experimental que solo contiene el inóculo (control) y por diferencia analizada estadísticamente se conoce que cantidad de gas es capaz de generar el inóculo con respecto a las biomásas en investigación; ya que no es posible en el instante de la medición, determinar que volumen y calidad de gas está siendo generado por el inóculo y cuales debido a las biomásas; otro aspecto importante a tener en cuenta es el siguiente: debido a la forma irregular de los cilindros de vidrio en su parte superior (cúpula), el volumen de gas acumulado en el interior de los mismos debe ser calculado. Para lo anterior, se divide el cilindro de vidrio en dos zonas (a y b). Entonces mediante las expresiones analíticas 1 y 2 se procede a su cálculo:

$$V = a + b; \text{ ec.1.}$$

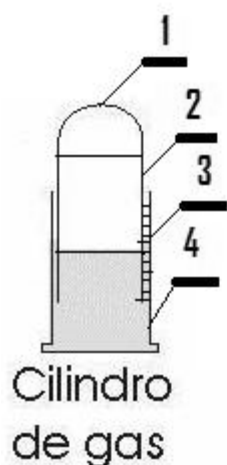
Donde:

V-Volumen total del cilindro de vidrio (mL);
 a-Volumen de la cúpula del cilindro de vidrio (mL);
 b-Volumen del cilindro desde el extremo inferior de la cúpula hasta la zona donde comienza el líquido de cierre (mL).

Finalmente, despejando a, se puede conocer el volumen de gas en el interior de la cúpula del cilindro de vidrio:

$$V - b = a; \text{ ec.2.}$$

La figura 1 muestra detalles del cilindro de vidrio y sus zonas a y b.



Simbología

- 1 - Cúpula del cilindro de vidrio (a);
- 2 - Cilindro de vidrio (sección b);
- 3 - Probeta graduada (1000 mL);
- 4 - Líquido de cierre.

Figura 1. Corte lateral esquemático del cilindro de vidrio

En el momento de efectuar la medición, se debe cerrar la tubería que llega desde el contenedor e impedir que todo el volumen de gases que se está generando en ese momento continúe entrando al cilindro de vidrio. Por otra parte, es necesario abrir la tubería que sale del cilindro de vidrio donde están acumulados los gases generados con anterioridad, para poder medir los mismos, mediante el analizador de gases. Ha manera de ejemplo se hará referencia a una de las variantes experimentadas. En este caso el experimento consiste en el análisis de 7 muestras con diferentes biomásas y el control. Las muestras objeto de análisis están compuestas por:

- . Biomasa formada por residuos de pavos (100 %);
- . Biomasa formada por residuos de pavos + centeno (50 % + 50 %);
- . Biomasa formada por residuos de pavos + maíz (50 % + 50 %);
- . Biomasa formada por residuos de pavos + maíz (30 % + 70 %);
- . Biomasa formada por residuos de pavos + maíz (70 % + 30 %);
- . Biomasa formada por residuos de pavos + centeno

+ maíz (33 % + 33 % +33 %);
. Biomasa formada por papas genéticamente modificadas (100 %);
. Control (solo el inóculo), con esta última variante se mide el potencial del inóculo; ya que hasta el presente no existe un inóculo Standard para todas las pruebas y se investiga su posible obtención.

La duración de la fase de experimentación estará enmarcada en un rango de 20 a 35 días. Los cilindros de vidrios están amarrados en su cuello mediante cintas plásticas unidas a contrapesos que evitan que el cilindro descienda bruscamente hacia el fondo de las probetas. Por otra parte, este contrapeso sirve para equilibrar la presión de entrada de los gases generados en los diferentes contenedores de biomasa y el peso de los cilindros de vidrios donde se acumulan dichos gases.

Las biomasa objeto de evaluación son almacenadas con antelación al experimento en cubetas plásticas a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ para evitar que puedan perder sus características naturales.

Preparación de las biomasa a estudiar:

Sin dudas este paso es extremadamente importante, ya que permite replicar esta experiencia en cualquier lugar con diferentes biomasa. En términos científicos esto se puede considerar el Know How de la investigación.

Previo al experimento, se monta un pre-experimento donde se valoran las muestras de biomasa de cada variante a analizar, desde el punto de vista bromatológico. Esto permite determinar sus componentes esenciales, tales como: sólidos totales, humedad, pH y la relación carbono- nitrógeno (C/N). Todo lo anterior es importante para determinar la relación agua biomasa en las muestras a investigar y las potencialidades de estas biomasa para producir metano.

En los experimentos conducidos en la Universidad de Rostock se parte del siguiente protocolo:

Se toman 750 mL de biomasa anteriormente experimentadas, las cuales contienen en su interior las bacterias metano formadoras (inóculo). En paralelo con este proceder se toman 150 g de la

nueva biomasa a investigar, la cual se saca del frigorífico a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se mantiene a temperatura ambiente durante 48 horas. Posteriormente se lleva a una estufa, donde se calienta durante 48 horas a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

A partir de aquí, se pesan pequeñas fracciones de las biomasa a investigar (valores entre 1.2 y 1.5 g), se colocan en crisoles de porcelana, se llevan a una mufla donde se calientan a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 3 horas. A continuación se caracterizan bromatológicamente. Las muestras de biomasa a investigar son trituradas hasta alcanzar un tamaño de partículas de 0,5 mm. Finalmente, mediante cálculo, se determina la cantidad necesaria de biomasa a utilizar en cada contenedor y su relación biomasa/agua, para lograr la reacción óptima de metano génesis. En toda nuestra estancia de investigación en la Universidad de Rostock (aproximadamente tres meses) hemos podido apreciar que la cantidad de biomasa que se utiliza por contenedor, en cada variante experimental investigada oscila entre 30 y 50 g. (lo que representa desde un 4 a 6.66 % del volumen de biomasa que contiene cada contenedor) ante de comenzar cada nueva prueba. De acuerdo con (Magana et al, 2006), para determinar la concentración a utilizar a escala de laboratorio se parte de los siguientes datos: % de humedad, % de sólidos totales y pH promedio de las muestras de biomasa objeto de estudio.

Según (Magana et al, 2006) para una correcta metano génesis, la concentración óptima a emplear debe ser igual a 10 % de sólidos. Por lo tanto, conociendo los parámetros anteriores en las muestras de biomasa que se desean investigar, finalmente se puede obtener la relación biomasa/agua. Se debe destacar que en la Universidad de Rostock están utilizando un inóculo cedido por el Instituto Leibniz de Potsdam con el objetivo de acelerar la investigación.

Para la realización de las mediciones se cuenta con un analizador de gases modelo GAANSYCO, 0-100 % (analytische Systeme und Komponenten GmbH) de fabricación alemana. Este equipo tiene la posibilidad de medir la composición de los gases generados; así como la presión barométrica en el momento de la medición. La temperatura ambiental en el interior del laboratorio se determina en el

instante de las mediciones mediante un termómetro ambiental instalado en el set de ensayo.

Es necesario destacar: el equipo instalado en el laboratorio de la Universidad de Rostock, no es capaz de medir la producción de H_2S , ya que carece de un filtro necesario para ello. Pero, se tiene previsto su implementación para futuras investigaciones.

En el momento de la mediciones se monitorea: fecha, hora, temperatura ambiental, presión atmosférica y composición de los gases generados en cada cilindro (CH_4 , CO_2 , O_2).

La finalidad de la medición es conocer cual de las biomazas en experimentación es la ideal para producir metano (CH_4); además de caracterizar sus potencialidades en cuanto a la producción de otros gases acompañantes en el proceso de

metanización, tales como: CO_2 y O_2 .

En el caso de la variante experimental que toma como biomasa las papas genéticamente modificadas, además de la producción de biogás, se quiere conocer si los residuos de las mismas son inocuos o perjudiciales a nuestro biosistema, esto es un trabajo en colaboración con el Instituto de Biotecnología agrícola de la propia Universidad de Rostock.

Todo el procedimiento de medición se almacena en una base Excel, para su posterior análisis y valoración estadística mediante cualquiera de los paquetes estadísticos profesionales vigentes en la actualidad. En este caso, el autor tiene previsto utilizar el paquete estadístico denominado STATISTICA; versión 6, una vez completado este estudio con el análisis de biomazas de origen cubano mediante el siguiente diagrama (figura.2)

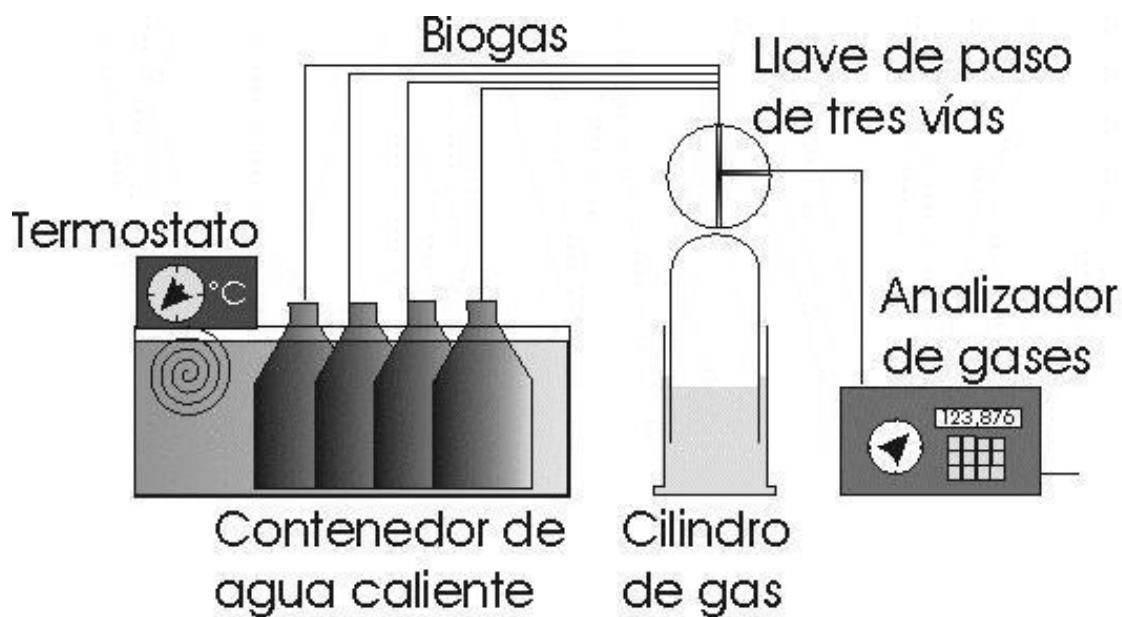


Figura 2. Diagrama esquemático del laboratorio de biogás

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se debe destacar que en 81 días de investigación se han evaluados una gran cantidad de variantes experimentales, las cuales están registradas en una base de datos para su posterior análisis cuantitativo

y cualitativo mediante paquetes estadísticos profesionales (tabla 1).

Tabla 1. Indicadores fundamentales monitoreados en variantes experimentales de producción de biogás a escala de laboratorio en la Universidad de Rostock

Experimento No.2.	Día	Hora	Temperatura (°C)	Presión (Hpa)	Volumen (mL)	CH ₄	CO ₂	O ₂
Muestra No	18.07.2007 (16 días de montado el experimento).	12.45 a.m.	27 °C	1010 Hpa	cm ³	%	%	%
17	18.07.2007	12.45	27 °C	1010	120	57	36	0.2
18	18.07.2007	12.45	27 °C	1010	50	48	31.3	0.5
19	18.07.2007	12.45	27 °C	1010	100	62.9	25.2	1.1
20	18.07.2007	12.45	27 °C	1010	110	58.8	31.7	0.8
21	18.07.2007	12.45	27 °C	1010	100	62.6	25.8	1
22	18.07.2007	12.45	27 °C	1010	70	53.8	19.5	3
23	18.07.2007	12.45	27 °C	1010	60	60.1	19.4	2.9
24	18.07.2007	12.45	27 °C	1010	70	49.5	16.1	3.1

Del análisis de la tabla 1 se pueden arribar a las siguientes conclusiones parciales:

El día 18.07.2007, el volumen generado de gas en el interior de los cilindros de vidrios que corresponden a las diferentes muestras de biomasa analizadas osciló desde un valor mínimo de 50 mL hasta un máximo de 120 mL.

En el caso de la producción de CH₄ (metano) estos valores oscilan desde un mínimo de 48 % hasta un máximo de 62.9 %.

Con respecto CO₂, el comportamiento fue el siguiente: el valor mínimo obtenido fue de 16,1 siendo el máximo de 36,0 %.

En el caso del O₂, el mínimo valor obtenido fue 0,2 %, siendo el máximo 3,1 %.

Se puede apreciar claramente que la producción de gases en el interior de cada cilindro de vidrio esta liderada por la producción de metano, siguiendo en orden descendente la producción de dióxido de carbono y finalizando con la producción de oxígeno.

Queda evidenciado que la producción de metano mediante esta simulación a pequeña escala (laboratorio) es posible.

Esta metodología es extrapolable a cualquier laboratorio que tenga el equipamiento necesario para llevarlas a cabo.

De todo el equipamiento de laboratorio utilizado, a nuestro criterio, el analizador de gases juega un papel fundamental y su adquisición es imprescindible para llevar a cabo este tipo de investigaciones.

La metodología de trabajo utilizada es novedosa y puede seguir enriqueciéndose con los resultados de las investigaciones en este laboratorio y en otros semejantes existentes en Alemania y a escala internacional.

CONCLUSIONES

1. Quedó demostrado que la producción de metano a escala de laboratorio es posible y factible desde los puntos de vista técnico y económico, siempre y cuando se cuente con el equipamiento necesario para llevar a cabo este tipo de investigaciones.

BIBLIOGRAFÍA

1- Magana R.J.L; Torres R, E; Martinez G.M,T; Sandoval, J,C y Hernandez C, R. 2006. **Producción de biogás a nivel de laboratorio utilizando estiércol de cabras.** Universidad de Guanajuato. Acta Universitaria: Vol.16.no.2 Mayo-Agosto 2006. México. Pp.27-37.

2- Mata-Alvarez J; Mace S; Llabrés P. 2000. **Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives.** Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Barcelona, España. Bioresource

technology. Volume 74. Issue 1, August 2000. Pages 3-16. Disponible en línea. 13 de Abril, 2000.

3- Methane to Markets the Kindersley Centre. 2006. Department for environment Food and Rural affairs. November 29th and 30th, 2006.

4- Schumann W. 2006. **State and perspectives of biogas production using agricultural raw materials in Mecklenburg-Vorpommern.** State Research Centre of Agricultural and Fishery Mecklenburg-Vorpommern. Güslzow. 2nd International Baltic Bioenergy Conference, Stralsund, Germany, 2006.

5- Van Nes W.J. 2006. **Asia hits the gas. Biogas from anaerobic digestion rolls out across Asia.** Renewable energy world. January-February, 2006.

6- Vetter A; Gödeke K; Nehring A. 2007. **Site-adapted optimization of the cultivation of energy crops for biogas plant: Initial results and prospects of the FNR-subsidized multi-partner project.** Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. 16th Annual Meeting of the German Biogas Association. January 31st to February 2nd, 2007.

Recibido: 16/Enero/2009

Aceptado: 25 /Junio/2009