

Producción de biogás en laboratorio a partir de residuos domésticos y ganaderos y su escalamiento

Laboratory production of biogas from waste and domestic cattle and scaling

¹Miguel Barrera G.¹, Oscar Gamarra T.², Jorge Maicelo ³

RESUMEN

Se utilizó los residuos orgánicos domésticos y ganaderos contaminantes para producir biogás. Los biodigestores fueron botellas de plástico de 1750 mL. El biogás producido se colectó por desplazamiento de agua, en botellas calibradas de plástico de 260 mL. Se aplicó el diseño estadístico de Box-Benhken con tres variables independientes: relación estiércol:agua (1:1, 1:2, 1:3), agua de desagüe (% v/v de agua de desagüe con respecto al volumen del biodigestor: 2, 4, 6) y cáscara de papa (% p/v de cáscara de papa con respecto al volumen de estiércol: 3, 6, 9). Se realizó 15 experimentos por triplicado durante 45 días. El mayor volumen de biogás producido fue de 195 mL, empleando 583 mL de estiércol (estiércol:agua de 1:2), 35 mL de agua de desagüe (2% v/v) y 79 g de cáscara de papa (9% p/v). El tratamiento de los resultados con Statgraphics 5.0, permitió predecir que se puede obtener un máximo de biogás de 195.83 mL, valor ligeramente superior al obtenido experimentalmente, cuando los valores de las variables independientes fueron: 567.89 mL de estiércol, 35 mL de agua de desagüe y 79 g de cáscara de papa; siendo los valores de las dos últimas variables iguales a los empleados en el experimento que produjo el mayor volumen de biogás.

Palabras clave: Estiércol; Agua de desagüe; Cáscara de papa; Escalamiento.

ABSTRACT

We used organic household waste and polluting farmers to produce biogas. The digesters were plastic bottles of 1750 mL, the biogas produced is collected by water displacement in calibrated plastic bottles of 260 mL. Statistical design was applied Box-Benhken with three independent variables: relationship manure: water (1:1, 1:2, 1:3), drain water (% v / v water drain on the volume of the digester : 2, 4, 6) and potato peel (% w / v potato shells on the volume of manure: 3, 6, 9). 15 experiments were performed in triplicate for 45 days. The highest volume of biogas produced was 195 mL, using 583 mL of manure (manure: water 1:2), 35 mL of water drainage (2% v / v) and 79 g of potato peel (9% p / v). Treatment results with Statgraphics 5.0, allowed us to predict that you can get a maximum of 195.83 mL biogas, slightly higher than the experimentally obtained when the values of the independent variables were: 567.89 mL of manure, 35 mL of drain water and 79 g of potato peel, being the values of the last two variables equal to those used in the experiment that produced the highest volumen of biogas.

Key words: Manure runoff; Potato peels; Scaling.

¹ Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

² Ing. Químico, ³ Biólogo, ⁴ Ing. Zootecnista

INTRODUCCIÓN

Las necesidades energéticas de nuestro planeta son satisfechas hasta en un 90 % con la utilización de combustibles fósiles (petróleo, gas licuado de petróleo, carbón), todos ellos extinguidos en un futuro cercano, fuertemente contaminantes y utilizados en forma ineficiente (Campos 1999, 80). De igual manera, las necesidades energéticas en las zonas rurales de los países en vías de desarrollo, obliga a los pobladores a utilizar a gran escala leña (para lo cual deforesta) y desperdicios agrícolas secos (estiércol y residuos de cosecha) (Enríquez 1998, 18).

Es así que esta problemática, plantea la necesidad de encontrar una tecnología apropiada, utilizando recursos locales disponibles como son los residuos orgánicos (heces humanas, estiércoles, basura orgánica y plantas), los cuales pueden ser usados como medio para producir energía (biogás) y biofertilizantes mediante biodigestores. De esta manera se mejorará la vida de los campesinos, se incrementará la producción agrícola y se preservará el medio ambiente (Hernández 1990, 30; Vásquez *et. al.* 2000: 53).

La libre disposición de estiércol de ganado en el campo o su tratamiento inadecuado lo convierte en una fuente de contaminación ambiental y en un foco infeccioso para seres humanos, puesto que propicia el desarrollo de vectores de enfermedades. La aplicación del estiércol fresco o seco como fertilizante no es bueno para la agricultura, porque se debe descomponer primero antes que las plantas lo aprovechen: además, esta práctica no es recomendable por el peligro de contaminación que puede significar la infiltración de materia orgánica sin digerir para el manto freático o los cursos de agua (Atlas y Bartha 2002, 466).

La fermentación anaeróbica es un proceso natural que ocurre en forma espontánea en la naturaleza y forma parte del ciclo biológico; en todos estos procesos intervienen las denominadas bacterias metanogénicas (Atlas y Bartha 2002, 394). Utilizando este proceso, en recipientes adecuados llamados biodigestores, se puede tratar gran cantidad de residuos como estiércoles y cofermentadores tales como efluentes de industrias, basura orgánica (desechos vegetales, cáscara de frutas, tubérculos y verduras), desagües domésticos, entre otros contaminantes, y obtener biogás que puede utilizarse como combustible en cocinas, calderas de vapor, generadores eléctricos y motores. La cofermentación permite incrementar la

producción de biogás, la relación estándar de estiércol: cofermentadores es 3:1 a 2:1 (Chamy y Pizarro 2004, 15).

El biogás es una mezcla gaseosa formada por metano (CH_4) en una proporción que oscila entre un 50% a un 70% y dióxido de carbono (CO_2), junto a pequeñas proporciones de otros gases como sulfuro de hidrógeno (H_2S), hidrógeno (H_2) y amoníaco (NH_3) (Atlas y Bartha 2002, 394; Chamy y Pizarro 2004, 10). El H_2S proporciona al biogás un olor a desagüe, por lo que debe eliminarse por reacción química con viruta de fierro; para ello se hace pasar la corriente de biogás por un cartucho lleno de viruta de fierro.

El biogás es un combustible ecológico, ya que se obtiene en biodigestores por fermentación anaeróbica del estiércol de herbívoros; luego, cuando se quema el biogás, se produce CO_2 y agua; el CO_2 sale a la atmósfera, de donde es captado por las plantas para producir carbohidratos mediante la fotosíntesis, que los utilizarán para su crecimiento; estas plantas servirán de alimento a los herbívoros, cuyo estiércol se alimentará al biodigestor, de esta manera se completa el ciclo del CO_2 . La aplicación de este bioproceso contribuirá a reducir la emisión de gases de efecto invernadero y por ende del calentamiento global, teniendo en cuenta que una molécula de metano capta aproximadamente 25 veces más calor que la molécula de CO_2 (Millar 2002, 296).

El biodigestor debe permanecer preferentemente a una temperatura constante, de 35°C , que es la óptima para que las bacterias anaerobias vivan y realicen su trabajo eficientemente. El proceso tendrá una duración aproximada de 20 a 60 días, dependiendo de la temperatura a la cual se trabaje, mientras más cerca de los 35°C , más rápida será la producción de biogás (Chamy y Pizarro 2004, 16).

La digestión anaeróbica es uno de los procesos más antiguos y tradicionales para tratar los lodos de desagüe. Es importante debido a su capacidad para producir metano a partir de este lodo, que se constituye en una fuente alternativa de energía limpia frente a los limitados combustibles fósiles. Generalmente, cuatro etapas (hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis) están comprendidas en la digestión anaeróbica; siendo la hidrólisis la etapa limitante de velocidad. Esto se debe a que la hidrólisis de la biomasa del lodo es limitada por la accesibilidad restringida de las

enzimas extracelulares de las bacterias hidrolizantes a los materiales poliméricos intracelulares, los cuales están protegidos por las membranas celulares (Rong y Deokjin 2006, 531).

Por lo expuesto, la investigación pretendió dar las bases para emplear los residuos domésticos como la cáscara de "papa", residuos ganaderos como el estiércol del ganado vacuno y el uso de las aguas residuales domésticas, para producir biogás y minimizar el efecto contaminante de los residuos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se empleó estiércol fresco de ganado vacuno, que contiene materia orgánica y bacterias anaerobias del rumen, recolectado en el Camal Municipal; agua de desagüe, que contiene bacterias anaerobias, de la ciudad de Chachapoyas; y la cáscara de papa cortada finamente se empleó como cofermentador.

Las variables independientes fueron relación estiércol:agua, % (volumen/volumen) de agua de desagüe con respecto al volumen del biodigestor, % (peso/volumen) de cáscara de papa con respecto al volumen de estiércol. La variable dependiente o respuesta de interés fue el volumen de biogás producido. Las cantidades de estiércol, agua de desagüe y cáscara de papa a mezclar se calcularon en base a las proporciones que se dan en la Tabla 1 y cada experimento se realizó de acuerdo a la Tabla 2.

El presente trabajo de investigación se realizó a escala de laboratorio en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, en botellas de plástico descartables de 1,75 L que se emplearon como biodigestores, las que se cargaron con la mezcla de componentes que se calcularon de acuerdo a la distribución de valores de las variables a evaluar con el diseño estadístico de Box-Behnken, el volumen se completó con agua del caño reposada; luego se taparon las botellas con tapones de jebe atravesados por una manguera de PVC de $\frac{1}{4}$ " , la cual se introdujo en botellas descartables de 260 mL, las que fueron calibradas y marcadas cada 50 mL, llenas de agua, libre de burbujas de aire y colocadas invertidas en una tina con agua, sujeto con liga a un soporte de fierro. El biogás que se generó desplazó el agua del interior del tubo de ensayo calibrado, con lo cual se pudo medir el volumen de biogás producido en cada biodigestor de laboratorio en un tiempo máximo de 45 días.

Se utilizó el diseño estadístico de Box-Behnken para tres variables independientes, para obtener el

mejor valor de cada variable mostrada en la Tabla 1, de acuerdo a la distribución de la Tabla 2, donde cada columna representó una variable y cada fila un experimento. Los elementos +, 0, -, representaron los niveles alto, medio y bajo, respectivamente de cada variable.

Los resultados experimentales se procesarán con el software estadístico Statgraphics 5.0 para determinar los valores de las variables independientes que permitirán producir el máximo volumen de biogás. Esto se obtendrá del análisis de las gráficas de respuesta en superficie y en contorno generadas por el mismo software.

RESULTADOS

En laboratorio

Se realizó tres corridas de 15 experimentos, durante 45 días cada una, siendo la variable respuesta de interés el volumen de biogás producido. Los valores promedio de las 3 corridas experimentales, los cuales fueron tratados con el software Statgraphics para obtener respuestas en superficie y en contornos con la finalidad de determinar los valores óptimos de cada variable que permitirán obtener la máxima producción de biogás.

De los resultados promedio, se puede observar que los valores de las variables independientes del experimento 14: 583 mL de estiércol de ganado vacuno (relación estiércol:agua de 1:2), 35 mL de agua de desagüe (2% vol/vol) y 79 g de cáscara de papa (9% peso/vol); son los que producen el mayor volumen de biogás.

Con los resultados del tratamiento de los datos experimentales promedio de la Tabla 3 con el software Statgraphics se deduce que la variable A (estiércol de ganado vacuno) es altamente influyente en la producción de biogás, de manera similar la variable C (cáscara de papa); pero la variable B (agua de desagüe) no es influyente.

En este caso, uno de los efectos tiene p-valor inferior a 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero al 95,0% de nivel de confianza. El estadístico R-cuadrado indica que el modelo así ajustado explica el 94,8779% de la variabilidad en Y. El estadístico R-cuadrado ajustado, el cual es más adecuado para la comparación de números diferentes de variables independientes, es 85,6582%. El error estándar de la estimación muestra la desviación normal de los residuos para ser 19,2853. El error absoluto de la media (MAE)

de 8,86329 es el promedio del valor de los residuos. El estadístico Durbin-Watson (DW) de 1,91379 ($P=0,4040$) que examina los residuos para determinar si hay cualquier correlación significativa basada en el orden en el que se suceden en el fichero de datos. Puesto que el p-valor es superior a 0,05, no hay indicios de correlación de serie en los residuos.

Con los coeficientes de regresión para la producción de biogás, se obtiene la ecuación de regresión del modelo ajustado a los datos: $Y = -265,43 + 0,99394*A - 2,24374*B + 4,02563*C - 0,000778982*A^2 + 0,00219153*(A*B) - 0,00235364*(A*C) + 0,00398022*B^2 - 0,00471533*(B*C) - 0,003408*C^2$, cuyos valores de las variables son especificados en sus unidades originales.

El software Statgraphics también optimiza la respuesta al seleccionar la meta de maximizar el volumen de biogás a obtener, dando como resultado el valor de 195,827 mL de biogás, cuando los valores de las variables independientes son los mostrados.

En la Figura 1, se presenta la respuesta en superficie generada por el software Statgraphics, a partir de la ecuación de regresión del modelo ajustado a los datos experimentales, donde se aprecia que se obtendrá 195,827 mL de biogás cuando se emplee 567,891 mL de estiércol de ganado vacuno, 35 mL de agua de desagüe y 79 g de cáscara de papa.

Escalamiento

Los resultados experimentales obtenidos a nivel de laboratorio, permitieron lograr un escalamiento exitoso; para lo cual se buscó materiales de bajo costo, resistentes, impermeables, no susceptibles a la corrosión y fáciles de conseguir. Estas características las tiene la manga de polietileno y la tubería y accesorios de policloruro de vinilo (PVC).

En San Juan de Ocumal, Amazonas, Perú; se instaló un biodigestor hecho de manga de polietileno de 5 m de largo y 1,5 m de diámetro, con resultados satisfactorios, el cual produce biogás para funcionamiento de una cocina de dos hornillas durante 3 horas, tiempo y energía calorífica suficiente para preparar los alimentos de la familia Guadalupe Lobato. Este biodigestor fue cargado y se alimenta con estiércol de caballo, de burro y de mulas, en la proporción estiércol-agua de 1:5 (Figura 2, 3 y 4). El efluente del biodigestor empleado para hacer fertilización orgánica de plantas de café de la familia Guadalupe Lobato en

San Juan de Ocumal, Amazonas. La manga de polietileno es una alternativa adecuada para hacer el biodigestor y el gasómetro, teniendo la precaución, como se realizó en estos escalamientos, de emplear doble manga para cada uno de los componentes del sistema de producción y almacenamiento de biogás.

En la Granja Ganadera de Calzada se instaló un biodigestor hecho de geomembrana de PVC de 10 m de largo por 1,27 m de diámetro, de un volumen de 12,7 m³, de los cuales 9 m³ serán ocupados por la mezcla estiércol-agua (1:5) y 3,7 m³ serán ocupados por el biogás que se produzca. Este equipo puede producir un mínimo de 2 m³ (2000 litros) de biogás por día a una presión mínima de 5 cm de agua, suficiente para proveer combustible para procesar los 80 L de leche por día e iluminación con un sistema similar al de una lámpara petromax.

El esquema de instalación del sistema de producción de biogás en la Granja Ganadera de Calzada se muestra en la Figura 5. Actualmente, el biodigestor de 12 m³ instalado en Granja Ganadera de Calzada es operado sin inconvenientes a una presión de 15 cm de agua y produce biogás para procesar 80 L de leche por día. La secuencia de trabajo es dos días de producción y un día de descanso (Figura 6).

DISCUSIÓN

Según los resultados de los valores de las variables del experimento 14 produjeron la mayor cantidad de biogás (195 mL), seguidos en orden decreciente por los experimentos 13 (151 mL), 4 (136 mL) y 6 (126 mL); manteniéndose de esta manera la tendencia de las 3 corridas experimentales. El porcentaje de producción de biogás con respecto al máximo de 195 mL fue de 77,44%, 69,74% y 64,62%, respectivamente.

La producción máxima de biogás obtenida en este trabajo de investigación fue de 195 mL en un digestor de 1750 mL que contenía 583 mL de estiércol, a los 45 días; lo que equivale a 11,14% de biogás con respecto al volumen del digestor y 33,45% de biogás con respecto al volumen de estiércol. Otros investigadores han producido 400 mL de biogás en un digestor de 3 litros conteniendo 1300 mL de lodo anaeróbico, a los 22 días (Rong y Deokjin 2006, 531); esto equivale a 13,33% de biogás con respecto al volumen del digestor y 30,77% de biogás con respecto al volumen de lodo empleado. De estos valores se deduce que los resultados obtenidos en la presente investigación superan en 2,68 puntos porcentuales a los obtenidos

por los otros investigadores, con respecto a la cantidad de estiércol empleado; pero es menor en 2,19 puntos porcentuales con respecto al volumen del digestor; sin embargo mayor en 2,01 puntos porcentuales con respecto a los 730 mL de biogás producidos en un digestor de 8 litros continuo con un tiempo de retención hidráulico de 10 días, donde se trata desechos de comida (Kon *et al.* 2006, 328), que equivale a 9,13% de biogás con respecto al volumen de digestor.

De los resultados experimentales se deduce que aumentando el volumen de agua de desagüe no se logra incrementar el volumen de biogás producido; y los mayores volúmenes de biogás se han obtenido con el valor más alto de la variable cáscara de papa propuesto para la presente investigación.

El tratamiento de los datos experimentales con el software Statgraphics permiten predecir que se puede obtener un máximo de biogás de 195,827 mL, valor ligeramente superior al obtenido experimentalmente, cuando los valores de las variables independientes son: 567,891 mL de estiércol de ganado vacuno, 35 mL de agua de desagüe y 79 g de cáscara de papa; siendo los dos últimos valores de las variables iguales a los empleados en el experimento que produjo el mayor volumen de biogás. Esto ratifica lo mostrado en la Tabla 4, donde se especifica que las variables más influyentes en este bioproceso son el estiércol de ganado vacuno (95%) y la cáscara de papa (94%), mientras que la influencia del agua de desagüe es de 70%.

Del análisis de la Figura 3, se deduce que aumentando el volumen de agua de desagüe no se logra aumentar la producción de biogás; asimismo, empleando un volumen de estiércol de ganado vacuno mayor o menor que 567,891 mL no se logrará incrementar la producción de biogás, sino por el contrario se reduce.

CONCLUSIONES

1. La máxima producción de biogás de 195 mL se ha obtenido a partir de 583 mL de estiércol de ganado vacuno (relación estiércol:agua de 1:2; 1/3 del volumen del digestor), 35 mL de agua de desagüe (2%(volumen/volumen) de agua de desagüe con respecto al volumen del biodigestor) y 79 g de cáscara de papa (9% (peso/volumen) de cáscara de papa con respecto al volumen de estiércol).
2. El valor intermedio de la relación estiércol:agua empleado de 1:2 ha producido mayor volumen de biogás que las relaciones menor (1:3) y mayor (1:1) empleadas. De manera similar, un mayor volumen de agua de desagüe no aporta a la mayor

producción de biogás.

3. Con respecto a la cáscara de papa, los mayores volúmenes de biogás se han producido empleando la máxima cantidad propuesta para esta investigación que fue de 79 g.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, por financiar y facilitar los laboratorios para la realización de la investigación. De igual manera, al Estadístico Elías Torres Armas, por el apoyo en el procesamiento estadístico de los datos experimentales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Atlas, Ronald y Richard, Bartha. 2002. Ecología Microbiana y **Microbiología Ambiental**. Madrid. Addison Wesley.
- Campos, Juan. 1999. La eficiencia energética en la gestión empresarial. La Habana. Universidad de la Habana.
- Chamy, Rolando y Carolina, Pizarro. 2004. Biogás: energía limpia a partir de la basura. Valparaíso. **Laboratorio de Biotecnología Ambiental, Escuela de Ingeniería Bioquímica, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso**.
- Enriquez, Mario. 1998. Turbinas Eólicas. *Energía y Tu*(2): 18-20.
- Hernández, Carlos. 1990. Segundo Fórum Nacional de Energía: Biogás. La Habana. Universidad de la Habana.
- Kon, Jung; Baek, Rock; Young, Nam y Si, Wouk. 2006. Effects of temperature and hydraulic retention time on anaerobic digestion of food waste. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. Vol. 102, No. 4, 328–332.
- Miller, Tyler. 2002. *Ciencia Ambiental, Preservemos la Tierra*. México D.F. Thomson Editores, S.A. de C.V.
- Rong, Cui y Jahng, Deokjin. 2006. Enhanced methane production from anaerobic digestion of disintegrated and deproteinized excess sludge. *Biotechnology Letters* 28: 531–538.
- Vázquez, Omar; Maikel Fernández y Raúl Damas. 2000. Planta de biogás de pequeñas dimensiones para fincas lecheras. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 9(1): 53-55.

Correspondencia:

Miguel Barrena G.

Jr. IV Centenario 533-Chachapoyas

971141141

mabg98@hotmail.com

ANEXO

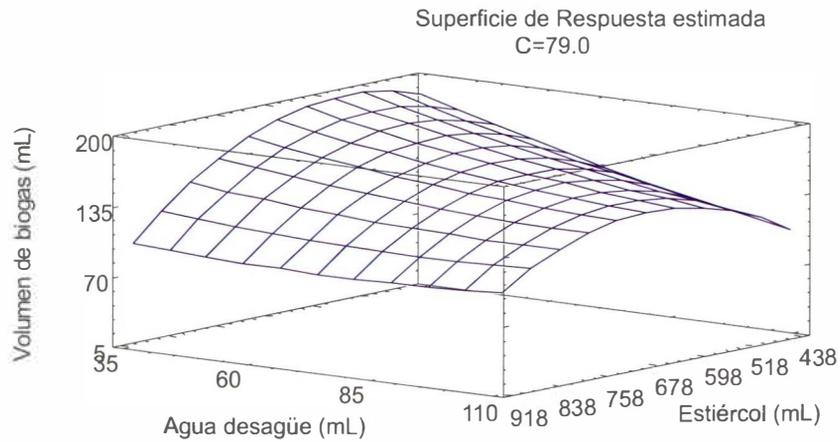


Figura 1. Superficie de respuesta estimada manteniendo constante la variable cáscara de papa en 79 g. Volumen máximo de biogás: 195,827 mL.



Figura 2. Biodigestor de manga de polietileno



Figura 3. Descarga del efluente líquido del Biodigestor



Figura 4. Aplicación del efluente líquido en plantas de “café”

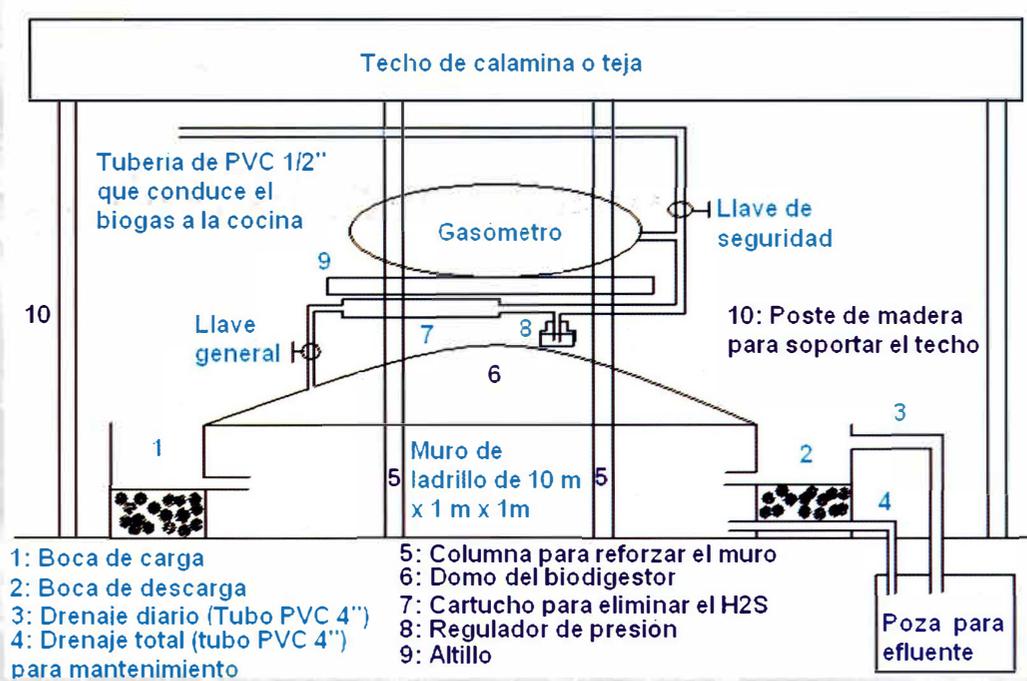


Figura 5. Esquema de instalación del biodigestor y del gasómetro en Granja Ganadera de Calzada, Moyobamba, San Martín, Perú.

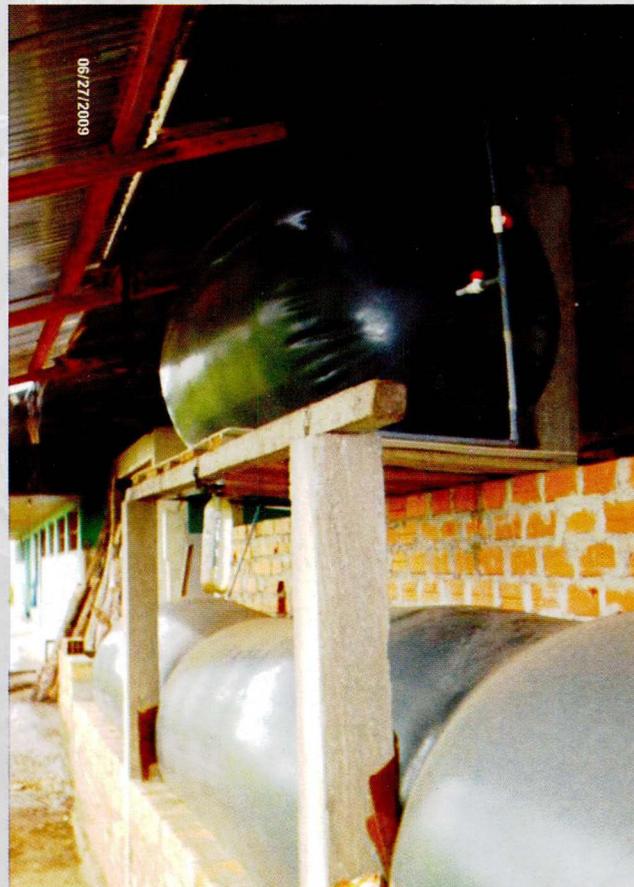


Figura 6. Vista del sistema completo, biodigestor y gasómetro, lleno de biogás.