

Sistema de producción de biogás y bioabonos a partir del estiércol de bovino, Molinopampa, Chachapoyas, Amazonas, Perú

System for the production of biogas and biofertilizers from bovine manure, Molinopampa, Chachapoyas, Amazonas, Perú

***Miguel Angel Barrena Gurbillón*, Franklin Cubas Alarcón,
Wildor Gosgot Angeles, Carla María Ordinola Ramírez & Jesús
Rascón Barrios***

Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Calle Higos Urco
n° 342-350, 356, Chachapoyas, PERÚ

*Autor para correspondencia: miguel.barrena@untrm.edu.pe

Milton Huanes Mariños

Universidad Privada Antenor Orrego (UPAO). Av. América Sur n° 3145, Urb.
Monserrate, Trujillo, PERÚ

Resumen

Se instaló un sistema de producción de biogás y bioabonos constituido por un biodigestor tubular de geomembrana de PVC de 12 m³, con 9 m³ de volumen de trabajo, para determinar el rendimiento del biogás como combustible y la influencia de los bioabonos sobre el desarrollo de pasto para bovinos. En el biodigestor se procesó en anaerobiosis el estiércol de bovino que se cría en el Fundo Palmeras, Puma Hermana, Molinopampa, Amazonas, Perú. El biodigestor es alimentado con mezcla estiércol: agua en la proporción de 1:5. El tiempo de retención hidráulico fue de 29 días a una temperatura ambiente promedio de 14,4 °C. El biogás producido satisface la demanda como combustible de una cocina para la preparación diaria de los alimentos de la familia. El biol y el biosol, efluentes del biodigestor, se emplearon como abonos orgánicos para el pasto Nicarión (*Setaria sphacelata*) en parcelas experimentales; aquellas a las que se aplicó biol (T2) y biosol (T3) tuvieron mayor crecimiento de sus tallos superando en casi el doble del tamaño al testigo. El biosol favoreció la mayor producción de peso fresco y en consecuencia de peso seco de los pastos evaluados, contribuyendo además a mejorar los suelos del fundo, reduciendo la dependencia de insumos externos. Este sistema también sirve como ejemplo para reducir el impacto ambiental de la actividad ganadera, al confinar el metano para emplearlo como combustible de cocina, en vez que se disipe a la atmósfera por la descomposición no controlada del estiércol.

Palabras clave: energía de la biomasa, captura de carbono, biocombustible, metano.

Abstract

A biogas and biofertilizers production system was installed consisting of a 12 m³ PVC geomembrane tubular biodigester, with 9 m³ of work volume, to determine the yield of biogas as fuel and the influence of biofertilizers on the development of pasture for cattle. In the biodigester, the manure from bovine that is raised in Fundo Palmeras, Puma Hermana, Molinopampa, Amazonas, Peru, was processed in anaerobiosis. The biodigester is fed with manure mixture: water in the ratio of 1:5. The hydraulic retention time was 29 days at an average ambient temperature of 14,4 °C. The biogas produced satisfies the demand as fuel for a kitchen for the daily preparation of the family's food. The biol and biosol, effluents of the biodigester, were used as organic fertilizers for the Nicarión grass (*Setaria sphacelata*) in experimental plots; those to which biol (T2) and biosol (T3) were applied had greater growth of their stems exceeding almost twice the size to the control. The biosol favored the greater production of fresh weight and consequently of dry weight of the evaluated pastures, contributing in addition to improve the soils of the farm, reducing the dependence of external inputs. This system also serves as an example to reduce the environmental impact of livestock activity, by confining methane to use it as cooking fuel, instead of dissipating it into the atmosphere through the uncontrolled decomposition of manure.

Keywords: biomass energy, carbon capture, biofuel, methane.

Citación: Barrena, M.; W. Gosgot; C. Ordinola; J. Rascón & M. Huanes. 2019. Sistema de producción de biogás y bioabonos a partir del estiércol de bovino, Molinopampa, Chachapoyas, Amazonas-Perú. *Arnaldoa* 26 (2): 725-734 <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26214>

Introducción

El Potencial de Calentamiento Global (PCG) de un gas de efecto invernadero (GEI) se expresa en comparación con el que posee el mismo volumen de CO₂ durante el mismo periodo de tiempo, por lo que el PCG del CO₂ es siempre 1.

El metano tiene un PCG 25 veces mayor que el CO₂. El metano proveniente del suelo de los sistemas pecuarios se puede generar por fermentación anaeróbica de materia orgánica, deposición de estiércol en pasturas, tratamientos anaeróbicos de residuos animales y quema de biomasa

(Silva *et al.*, 2013). Según la FAO, el sector ganadero sería responsable del 9% de las emisiones globales de CO₂, del 35-40% de las de CH₄ y del 65% de las de N₂O (Steinfeld *et al.*, 2006).

Los biodigestores pequeños de 6 a 10 m³ de volumen de trabajo, se promovieron en las décadas de 1970 y 1980 en Asia y América Latina, para mejorar las condiciones sanitarias y proveer energía a viviendas unifamiliares, funcionando con el estiércol de pocos animales (dos a cinco cerdos, cinco a diez vacas, 100 pollos, o una combinación de estos) junto con la basura orgánica de la vivienda. Estos biodigestores ayudan a reducir emisiones de GEI entre 23 y 53 % en comparación con viviendas que no tienen biodigestores para producir biogás (Hristov, 2013).

Chauca (2010), en Santo Tomás, Luya, Amazonas-Perú (2700 msnm y 14 °C de temperatura ambiente promedio), utilizó estiércol fresco de ganado vacuno para producir biogás y bioabonos, con una relación estiércol:agua de 1:5 en un biodigestor de 10,13 m³, con un volumen de mezcla estiércol:agua de 7,6 m³. Para cargar el biodigestor empleó 1260 kg de estiércol y 6340 L de agua. El biogás producido lo usó para la cocción diaria de alimentos de la familia y los bioabonos (biol y biosol) para aplicar al cultivo de alfalfa. Concluyó que la producción de biogás alcanzó una presión de 10 cm de agua en 42 días, que fue el tiempo de retención hidráulico (TRH). Por otro lado, los bioabonos aplicados al cultivo de alfalfa hicieron que produzca mayor contenido de materia seca, que es lo valioso para alimentar el ganado.

Barrena *et al.* (2013), establecieron que el TRH de un sistema de producción de biogás y bioabonos depende directamente de la temperatura del ambiente donde está

instalado. Si en el lugar hace calor, el TRH será menor, pero si hace frío, el TRH será mayor. Encontraron que la ecuación: $TRH = -44,705 \ln(T) + 160,394$ modela el TRH en días para la producción de biogás en función de la temperatura ambiente (T: °C), con un ajuste R² = 0,924.

Las actividades antropogénicas contribuyen al calentamiento global, una de ellas es la crianza de ganado bovino, que lleva a la tala de grandes áreas de bosque para instalar pastizales; además, la descomposición del estiércol del ganado en los pastizales emite metano y la lluvia arrastra restos del estiércol a las fuentes de agua contaminándolas con coliformes fecales. El distrito de Molinopampa vive esta realidad cada día; por ello, como alternativa se procesó el estiércol de bovino en un biodigestor anaeróbico para producir biogás para la cocción de alimentos y bioabonos para incrementar el crecimiento y la productividad del pasto Nicarion (*Setaria sphacelata*) en parcelas experimentales, con lo que se realizará reciclaje de nutrientes. La investigación se realizó en el Fundo Palmeras, ubicado en el Sector Puma Hermana del Distrito de Molinopampa, Provincia de Chachapoyas, Región Amazonas-Perú,

Material y métodos

Para construir la infraestructura donde se instaló el sistema de producción de biogás y bioabonos, se empleó el esquema y los criterios establecidos por Barrena *et al.* (2013) (Fig. 1). Se utilizó postes y tablas de pino disponibles en el Fundo para hacer la poza para el biodigestor.

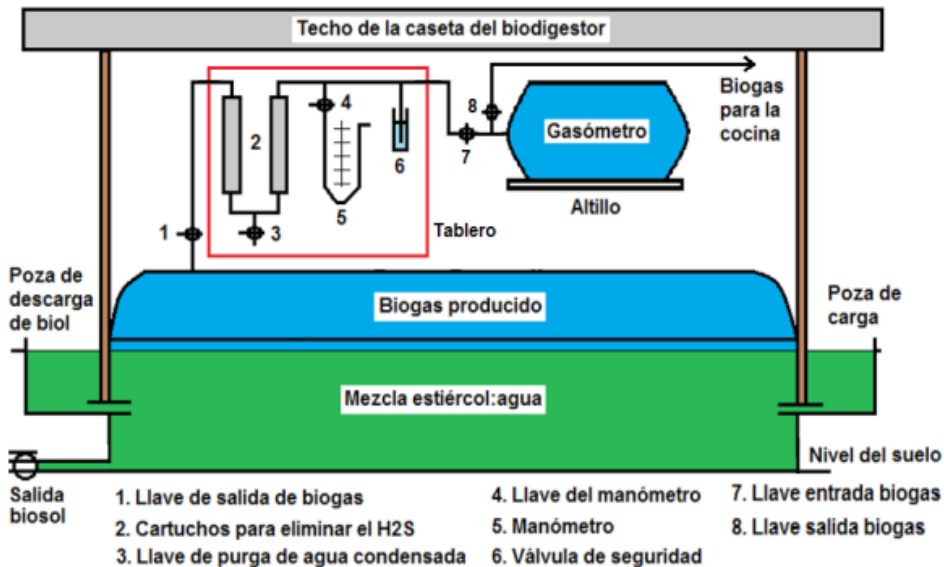


Fig. 1. Esquema de instalación del sistema de producción de biogás y bioabonos con biodigestor tubular. Fuente: Barrena *et al.*, 2013.

Componentes del sistema de producción de biogás y bioabonos

Biodigestor: de geomembrana de PVC de 1,0 mm de espesor, de forma cilíndrica horizontal, con aditivo anti UV, tiene 1,27 m de diámetro x 10 m de largo que hace un volumen total de 12 m³, su volumen de trabajo es de 9 m³ ocupado por la mezcla estiércol:agua en la proporción 1:5 y los 3 m³ restantes son ocupados por el biogás producido.

Poza para el biodigestor: se empleó la pared del cobertizo de ordeño como parte de la infraestructura para la instalación del sistema de producción de biogás y bioabonos. A 1 m de distancia de esta pared se construyó otra pared de 1 m de altura x 10 m de largo, con tablas de pino de 1" de espesor clavadas en postes de pino fijados en el suelo. Todo el interior se cubrió con planchas de tecnopor de 1" de espesor como aislante térmico.

Poza de carga o alimentación: en un extremo de la poza para el biodigestor (Fig. 1), sobre una losa de concreto y a 0,50 m de altura con respecto al fondo de la poza del biodigestor se construyó la poza de carga o de alimentación, con concreto vaciado de 0,5 m x 0,5 m x 0,5 m. A ras del fondo de esta poza se instaló un tubo de PVC de 4" al que se conectó la manga de alimentación del biodigestor. Por esta poza se cargó el biodigestor al inicio y se lo alimenta diariamente a partir de su TRH con la mezcla estiércol:agua en la relación de 1:5.

Poza de descarga: A nivel del fondo de la poza del biodigestor (Fig. 1) se instaló un tubo de PVC de 4" al que se conectó la manga de salida de biosol, y en su extremo se colocó una reducción y una llave de paso de 2" para el retiro de biosol como purgas cada 6 meses. Sobre esta tubería se construyó una poza similar a la de carga. A ras del fondo de esta poza se instaló un

tubo de PVC de 4" para conectar la manga de salida de biol del biodigestor.

Gasómetro: tiene forma de almohada, hecho de geomembrana de PVC de 1,0 mm de espesor, de 1,5 m de ancho x 2,2 m de largo. En el centro tiene un niple de PVC de 1" x 15 cm de largo para entrada/salida de biogás, fijado con empaquetaduras de jebe y dos arandelas de PVC de 10 cm de diámetro.

Tablero de purificación y control del biogás: como se muestra en la Fig. 1, este tablero está constituido por dos cartuchos de 0,50 m de largo hechos de tubo de PVC pesado de 2", rellenos con clavos de fierro para eliminar el H₂S, ambos cartuchos están conectados por un puente que tiene una válvula para eliminar el agua condensada. A continuación está la válvula de seguridad que se emplea para prefijar la presión máxima de trabajo del sistema que fue de 15 cm de agua.

Rendimiento del biogás como combustible para cocina

Se construyó una cocina adaptada para funcionar a biogás, con estructura de varilla de fierro de 3/8", con una hornilla de 4" de aluminio para cocina industrial a gas propano y otra de 6". Cada hornilla tiene un niple de fierro galvanizado de 1/2" y en el otro extremo se enroscó un codo de PVC al que se conectó la llave de paso y el resto de las conexiones (Barrena *et al.*, 2013). En esta cocina se preparan los alimentos de la familia. Se midió el tiempo para preparar cada alimento y el volumen de biogás consumido.

Influencia del biol y biosol sobre la producción de los pastos

En el Fundo Palmeras se empleó un lote de terreno sembrado con pasto Nicarion (*Setaria sphacelata*), de donde recién se

retiró el ganado para que el pasto rebrote; para uniformizar las parcelas se cortó el pasto con motoguadaña a ras del suelo. Se demarcaron 12 parcelas experimentales de 2 m x 4 m, para evaluar la influencia del biol y del biosol sobre la producción del pasto, en bloques al azar, por triplicado con testigo. A tres parcelas se aplicó biol (A1, A2 y A3), a otras tres parcelas biosol (B1, B2 y B3) y al otro grupo de tres parcelas una mezcla 1:1 de biol y biosol (A1B1, A2B2 y A3B3); una vez por semana, durante siete semanas, desde el inicio en que se cortó el remanente del pasto a ras de suelo, hasta una semana antes del corte. A cada parcela se aplicó 2 litros de bioabono; el biol se aplicó con mochila de fumigar; mientras que el biosol y la mezcla biol+biosol se aplicó regando la parcela con una jarra.

Resultados

Tiempo de retención hidráulico

A los 29 días de haber sido cargado el biodigestor hasta su volumen de trabajo con la mezcla estiércol:agua, tuvo su cúpula llena de biogás por lo que su tiempo de retención hidráulico (TRH) ha sido de 29 días a la temperatura ambiente promedio de 14,4 °C. Se trasvasó el biogás del biodigestor al gasómetro y se midió la presión del sistema empleando la válvula de seguridad, siendo su valor de 12 cm de agua. Con la válvula de seguridad se estableció como presión máxima del sistema 15 cm de agua porque la geomembrana de la cual está hecho el biodigestor es de 1,00 mm de espesor. Para la presente investigación se estableció un tiempo de retención hidráulico de 35 días, entonces 9000 L/35 días = 257 L de alimentación diaria para mantener la producción de biogás.

Rendimiento del biogás como combustible para cocina

Se tuvo un consumo promedio de 2820 L de biogás en un tiempo de 4,13 horas

de funcionamiento de la cocina a biogás (Tabla 1). Se apreció que la llama del biogás al combustionar en la hornilla fue azul claro, no produce tizne, humos ni olores.

Tabla 1. Rendimiento del biogás como combustible para preparar alimentos en el Fundo Palmeras, Puma Hermana, Molinopampa, Región Amazonas.

Tipo de alimento	Cantidad de alimento	Biogás (L)	Tiempo (min)
Mermelada de pepino	2 kg de pulpa y 700 g de azúcar	1260	105
Guiso de pollo con olluco	700 g de pollo y 1kg de olluco	670	50
Arroz	½ kg de arroz	290	30
Leche	5 litros se pasteurizó a 75°C	280	30
Agua	3 litros	170	18
Camotes fritos	½ kg de camote	90	11
Huevos fritos	4 huevos	60	4
Total		2820	248 min = 4,13 h

Influencia del biol y biosol sobre la producción de los pastos

Los pastos abonados con biosol han crecido casi el doble que el testigo; y de manera general, los bioabonos han favorecido el desarrollo de los pastos

un 62% a 89% más, comparado con los testigos que no recibieron tratamiento con bioabonos (Tabla 2).

Tabla 2. Altura de plantas de pasto Nicarión (*Setaria sphacelata*) medidas cada 15 días hasta completar dos meses. T: testigo, A: biol, B: biosol, AB: biol + biosol.

Tratamiento	Parcela	Altura 1 (cm) 19/07/17	Altura 2 (cm) 02/08/17	Altura 3 (cm) 17/08/17	Altura 4 (cm) 01/09/17
Testigo	T1	16	25	32	40
	T2	17	25	30	40
	T3	14	18	26	31
	Promedio	15,67	22,67	29,33	37,00
Biol	A1	33	45	60	70
	A2	45	57	65	70
	A3	40	55	67	69
	Promedio	39,33	52,33	64,00	69,67
Biosol	B1	33	40	50	58
	B2	44	54	67	80
	B3	40	47	66	73
	Promedio	39,00	47,00	61,00	70,33
Biol + Biosol (1:1)	A1B1	45	54	62	70
	A2B2	25	38	45	52
	A3B3	27	40	50	58
	Promedio	32,33	44,00	52,33	60,00

Discusión

El biogás contiene entre 40 a 70%(v/v) de metano (Cepero *et al.*, 2013), al usarlo como combustible en la cocina, el metano se combustiona y cada molécula produce una sola molécula de CO₂, con lo que se reduce en 25 veces su poder de GEI, en base a lo mencionado por Silva *et al.* (2013). De otro lado, los bioabonos (biol y biosol) al ser aplicados a los cultivos y al suelo permiten hacer reciclaje de nutrientes. Esto contribuye a la sostenibilidad de la actividad agropecuaria del Fundo Palmeras, pues ya no requerirán de gas propano ni de leña para preparar los alimentos de la familia y los bioabonos incrementarán la producción de los pastos, que a su vez permitirá incrementar el número de cabezas de ganado por hectárea.

El tiempo de retención hidráulico del sistema de producción de biogás y bioabonos instalado en el Fundo Palmeras fue de 29 días, habiéndose registrado una temperatura promedio en el día de 14,4 °C, con algunos picos de 22 °C y un promedio de 17,5 °C al medio día. A las paredes interiores de la poza del biodigestor se les puso plancha de tecnopor de 1" como aislante térmico y el biodigestor se cubrió con una manta de polipropileno para que no pierda el calor generado por la fermentación. Con la ecuación TRH = -44,705 ln(T) + 160,394, que modela el tiempo de retención hidráulico (TRH: días) para la producción de biogás en función de la temperatura ambiente (T: °C), con un ajuste R² = 0,924, establecida por Barrena *et al.* (2013); y con la temperatura promedio del día de 17,5 °C se tendrá un TRH de

32,4 días y con la temperatura promedio de 14,4 °C de tendrá un TRH de 41,2 días. En consecuencia, los picos de temperatura, el aislamiento térmico de la poza del biodigestor y su cobertura han ayudado para que el TRH sea menor al que se puede predecir con la ecuación mencionada.

Para mantener la producción diaria de biogás, se debe alimentar el biodigestor con 240 L de mezcla estiércol:agua en la proporción 1:5, puesto que el biodigestor es de 12 m³ de volumen total y tiene 9 m³ de volumen de trabajo ocupado por la mezcla estiércol:agua; de esta manera se incrementa el tiempo de retención hidráulico a 45 días para asegurar que el biol será de mejor calidad fertilizante como lo manifiesta Barrena *et al.* (2013). Con ello, también se garantiza que se dispondrá diariamente de biogás suficiente para la preparación de los alimentos de la familia como se ha demostrado en la presente investigación porque de los 5000 L de biogás almacenados en la cúpula del biodigestor y en el gasómetro, se ha empleado aproximadamente 2820 L, para que la cocina a biogás de dos hornillas funcione durante 4,13 horas para la preparación de los alimentos, y en simultáneo se producen los bioabonos para aplicar a los cultivos; tiempo de funcionamiento similar a los obtenidos en la evaluación de biogás como combustible por Chauca (2010) y Julca (2013). La aplicación de la tecnología del biogás evita la deforestación para leña y permite la captura del metano producido por la descomposición del estiércol del ganado (Steinfeld *et al.*, 2006), que al ser combustionado en la cocina se reduce su poder de gas de efecto invernadero.

Con respecto a la primera evaluación de altura de planta del pasto *Nicarion (Setaria sphacelata)*, los tratamientos presentan diferencias significativas,

siendo los tratamientos 2 (biol) y 3 (biosol) los que generaron una mayor altura y por ende las alturas alcanzadas son mayores al testigo. En la segunda, tercera y cuarta evaluación de altura de planta, los tratamientos presentan diferencias altamente significativas, observándose que todos los tratamientos se comportan de la misma manera y superan al testigo.

Se ha evidenciado que los bioabonos (biol y biosol) aportan nutrientes al suelo de los cultivos para incrementar su rendimiento, siendo los resultados similares a los obtenidos por Chauca (2010) en parcelas experimentales de "alfalfa" *Medicago sativa* (Fabaceae) a las que aplicó biol y biosol por separado o en mezcla, en Santo Tomás, Región Amazonas; el tratamiento con biosol favoreció el crecimiento del tallo de la "alfalfa", superando al testigo; además, encontró que el biol propició la producción de más follaje en la "alfalfa", en base a que la mezcla biol + biosol y el tratamiento con biol han producido más peso de "alfalfa" al momento del corte (más tallos/m²) que el tratamiento con biosol, que fue el tratamiento que produjo los tallos más altos; concluyendo que el biol también ha influido en la mayor producción de materia seca en la "alfalfa" y en el mayor desarrollo de su raíz, lo cual le permitirá una mayor absorción de nutrientes para un mejor desarrollo vegetativo.

Conclusiones

El biodigestor tubular de geomembrana de PVC tiene 10 m de largo y 1,27 m de diámetro, que hacen un volumen total de 12 m³, con 9 m³ de volumen de trabajo, es el tipo adecuado para procesar el estiércol de las vacas criadas al pastoreo pero que son ordeñadas en un cobertizo, de donde se recolecta el estiércol.

El biodigestor tubular de 12 m³ produce suficiente biogás (2 800 L/día) para la preparación de los alimentos de la familia, evitando que deforesten para leña, reduciendo la presión sobre los bosques; además, captura metano que al ser empleado como combustible se reduce en 25 veces su poder de gas de efecto invernadero.

El aislamiento térmico de la poza del biodigestor evita que se enfríe, lo cual favorece la actividad microbiana para convertir la materia orgánica (estiércol) en biogás.

Las parcelas experimentales a las que se aplicó biol (T2) y biosol (T3) son las que tuvieron mayor crecimiento del tallo de sus pastos superando en casi el doble del tamaño al testigo. El biosol favoreció la mayor producción de peso fresco y en consecuencia de peso seco de los pastos evaluados.

La alimentación diaria del biodigestor con 240 litros de mezcla estiércol:agua (1:5), garantiza la producción diaria de biogás y de 240 litros de biol. Estos dos productos justifican la inversión realizada y con el ahorro por no comprar gas propano para cocinar y fertilizantes minerales, se puede recuperar la inversión que se realice para contar con un sistema de producción de biogás y bioabonos.

Agradecimientos

Nuestra gratitud al Proyecto de Creación del Centro de Investigación en Climatología y Energías Alternativas (PROCICEA) del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM) por su financiamiento.

Contribución de los autores

M. B.; F. C.; W. G.; C. O.; J. R. & M. H. Redacción del texto, metodología de evaluación, ejecución del trabajo en campo, revisión y aprobación del texto.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Literatura Citada

- Barrena, M.; Taramona, L.; Gamarra, O. & Choy, M.** 2013. Biodigestores tubulares para la producción de biogás. Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo (UNASAM) y Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM-A), Lima, Perú.
- Cepero, L.; Savran, Valentina; Blanco, D.; Díaz Piñón, M. R.; Suárez, J. y Palacios, A.** 2012. Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. *Pastos y Forrajes* 35(2): 219-226.
- Chauca, N.** 2010. Propuesta para manejo sustentable de la ganadería en Santo Tomás - Región Amazonas. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial.
- Hristov, A. N., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A., Yang, W., Tricarico, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Dijkstra, J. & Oosting, S.** 2013. Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera – Una revisión de las opciones técnicas para la reducción de las emisiones de gases diferentes al CO₂. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma, Italia.
- Julca, J.** 2013. Rendimiento del biogás como combustible para cocina e iluminación producido en biodigestor tubular en el distrito de Providencia, Luya - Amazonas. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial.
- Silva, A.; Gómez, A.; Landazuri, B. & Preciado, B.** (2013). Evaluación de gases de efecto invernadero (GEI) en sistemas ganaderos asociados con pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov). *Revista Colombiana de Ciencia Animal* 6(1): 36-43.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M. y Haan Cees, D.E.** (2006). La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y

Barrena *et al.*: Sistema de producción de biogás y bioabonos a partir del estiércol de bovino, Molinopampa, Chachapoyas, Perú

opciones. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia.