

Artículo Original

## Generación de energía renovable a partir del desarrollo de actividades pecuarias en el departamento de Madre de Dios

[Renewable energy generation from the development of livestock in the Region Madre de Dios]

Vadick Fernández-Romero<sup>1\*</sup>, Liset Rodríguez-Achata<sup>2</sup>, Nohemi Aquino-Achate<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Escuela Profesional de Medicina Veterinaria y Zootecnia - Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Amazónica de Madre De Dios, Av. Dos de Mayo 960, Tambopata, Madre de Dios

<sup>2</sup>Departamento Académico de Ciencias Básicas - Facultad de Ingeniería

<sup>3</sup>Asistente Administrativo - Facultad de Ingeniería Universidad Nacional Amazónica de Madre De Dios - Av. Dos de Mayo 960 – Tambopata – Tambopata- Madre de Dios

\*e-mail: vadick007@hotmail.com

---

### Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo principal la generación de energía renovable aprovechando los residuos orgánicos de la actividad pecuaria del departamento de Madre de Dios, mediante la instalación de tecnologías para la generación de biogás y biol, y de esta manera mejorar la calidad de vida del poblador rural. La investigación se inició en el establo pecuario Juanita, con la construcción e instalación de un reactor tubular de geo-membrana de PVC de 10m<sup>3</sup> con capacidad de reserva de 5m<sup>3</sup> para el gas metano (CH<sub>4</sub>) generado por la descomposición anaeróbica de estiércol de ganado bovino y porcino. Recopilándose datos diariamente en función a las variables establecidas a partir de los objetivos específicos, durante un periodo de 6 semanas. El estudio determinó que en condiciones ambientales, se puede generar gas metano con combustión completa a partir del día 10 en porcinos y 12 en bovinos, después de la primera carga de residuos orgánicos al reactor, con un tiempo de retención para la investigación de 30 días, lográndose obtener también biol a partir de esta etapa del estudio. Con estos resultados es factible plantear la implementación de tecnologías de manejo de residuos sólido en centros pecuarios para la generación de energías renovables.

**Palabras clave:** Energía Renovable, Actividades Pecuarias, biogás, biol

### Abstract

The objective of this research was to main renewable energy generation taking advantage of the organic waste of livestock of the Madre de Dios Department, through the installation of technologies for the generation of biogas and Biol, and in the improvement in the quality of life in rural settlers. The investigation was initiated in the Juanita livestock barn, with the construction and installation of a tubular reactor geo-vinyl membrane of 10m<sup>3</sup> with reserve capacity of 5m<sup>3</sup> for the methane gas (CH<sub>4</sub>) generated by the anaerobic decomposition of manure from cattle and pigs. Data was compiled daily by the variables set on the basis of the specific objectives, for a period of 6 weeks. The study found that in environmental conditions, methane gas can be generated with complete combustion from day 10 in pigs and 12 in bovine, after the first load of organic waste to the reactor with a retention time for the 30-day investigation, achieving obtain also Biol from this stage of the study. With these results, it is viable the implementation of technologies of solid waste management in livestock centers for renewable energy generation.

**Keywords:** Renewable energy, Cattle Activities, biogas, biol

---

## INTRODUCCIÓN

La tecnología biodigestor, como popularmente se conoce, ofrece soluciones sencillas a problemas ambientales como la disposición final de estiércol de ganado.

El biogás puede ser empleado como combustible en cocinas, calefacción, iluminación, generadores eléctricos, etc. (Quipuzco – Ushnahua et-al., 2011). Los biodigestores pueden desempeñar un papel fundamental en los sistemas agrícolas y ambientales integrados al reducir los riesgos de salud, lo que facilita el control de la contaminación y al mismo tiempo agregar valor a los excrementos del ganado a través de la producción de biogás y la mejora de la situación de nutrientes del efluente como fertilizante para los estanques y tierras de cultivo. La energía es un factor fundamental para el desarrollo económico (Rodríguez & Preston 2002). En el estudio y diseño de un Biodigestor para Aplicación en Pequeños Ganaderos y Lecheros se concluye y establece que con un mínimo de 20 animales es posible generar energía a través de un generador eléctrico alimentado con biogás. (Pérez – Mendel et-al., 2010). Los biodigestores pueden desempeñar un papel fundamental en los sistemas agrícolas y ambientales integrados al reducir los riesgos de salud, lo que facilita el control de la contaminación y al mismo tiempo agregar valor a los excrementos del ganado a través de la producción de biogás y la mejora de la situación de nutrientes del efluente como fertilizante para los estanques y tierras de cultivo. La energía es un factor fundamental para el desarrollo económico (Rodríguez & Preston, 2002).

El fertilizante, llamado biol, es una fuente de fitoreguladores que se obtiene como producto del proceso de descomposición anaeróbica de los desechos orgánicos en el biodigestor (Quipuzco – Ushnahua et-al., 2011). La digestión anaerobia, o biodigestión, es una tecnología ampliamente difundida a escala familiar en países como China, India o Nepal. En estos sistemas los residuos orgánicos son convertidos en productos aprovechables como el biogás y el biol. En los proyectos piloto que se presentan, ubicados en Perú, hasta la fecha se han implementado alrededor de 20 biodigestores familiares, en comunidades rurales de la zona de Cusco y de Cajamarca. La mayoría se encuentra a 3000 –

4000 m. s. n. m, y la temperatura dentro del biodigestor oscila entre 10-23°C gracias a la implementación de invernaderos que permiten amortiguar las oscilaciones térmicas día y noche. Los biodigestores producen aproximadamente  $0,2 \text{ m}^3 \text{ biogas m}^{-3} \text{ biodigestor día}^{-1}$ , dentro del rango psicofílico, que con biodigestores de  $5 \text{ m}^3$  es suficiente para cocinar 3-4 h diarias, sustituyendo los combustibles tradicionales. El coste de construcción de los biodigestores ( $40/\text{m}^3$ ) sería asumible, al menos parcialmente, por familias campesinas. A nivel financiero, la instalación es más viable cuando el biogás sustituye un combustible con valor de mercado como el gas propano, resultando en un payback de dos años y ocho meses; o bien cuando permite elaborar productos con valor añadido (quesos, yogures, mermeladas, etc.) Por otro lado, la eficacia del sistema también podría aumentar mediante la integración del biodigestor en la granja, conectándolo con la letrina y usando el biol como fertilizante para los cultivos. (Ferrer et-al., 2009)

Un biodigestor es una inversión de mediano costo para las familias rurales; muchos materiales los puede obtener de su finca y gran parte de la mano de obra la aporta la familia y el técnico debe ofrecer solo asesoría. Es una inversión para muchos años; los materiales utilizados en la construcción del biodigestor, garantizan que será una actividad que dura aproximadamente 12 años. Se incorpora a las actividades cotidianas de los pequeños ganaderos, aprovechando los residuos orgánicos que los animales producen diariamente, convirtiéndolo en un ingreso económico con la producción de un combustible renovable, el biogás y biofertilizante. Es importante buscar mecanismos que consoliden estas iniciativas y las hagan extensivas a la totalidad de ganaderos, solo así se puede afirmar que existen voluntades políticas en incorporar el sistema de generación de energía para el bienestar colectivo, tan imprescindible en localidades alejadas. Por lo tanto, solo si todos los componentes de la sociedad y sus actores incorporan de manera extensiva a la totalidad de ganaderos, solo así se puede afirmar que existen voluntades políticas en incorporar el sistema de generación de energía para el bienestar colectivo, tan imprescindible en

localidades alejadas. Por lo tanto, solo si todos los componentes de la sociedad y sus actores incorporan de manera consciente y con voluntad política las de conservación del medio ambiente, se podrá afirmar que se está configurando un nuevo modelo de sociedad donde las etiquetas de "calidad" sea cada día mejor (INIA, 2011).

Con un mínimo de 20 animales es posible generar energía eléctrica del orden de 4.4 (kWH) y ser aprovechada a través de un generador eléctrico alimentado con biogás. Con un mínimo de 44 animales es posible generar un proyecto de generación que tiene un periodo de recuperación de la inversión de 3 años, tiempo prudente para el sector económico involucrado. También concluye que la generación de biofertilizante va acompañado del manejo de purines del sustrato utilizado, llegando a producir 129 (t/a) y debe de estar en concordancia con las recomendaciones de manejo de purines que estudiaron. (Pérez – Mendel et-al., 2010)

Tomando en consideración los aspectos expuestos, el objetivo del presente trabajo de investigación fundamental es el aprovechamiento y manejo de residuos orgánicos generados por la ganadería (estiércol vacuno y porcino) para la producción de metano (CH<sub>4</sub>) y biol, mediante

la instalación de tecnología de uso de biodigestores y disminuir en parte los niveles de contaminación ambiental y salud; así como también, el mejoramiento económico de la comunidad pecuaria de la región de Madre de Dios.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó durante el año 2013, en el establo pecuario "Juanita" ubicada en el Km 21 del eje carretero Puerto Maldonado – Cusco, margen izquierdo; para la implementación del estudio realizado se utilizó un biodigestor de geomembrana de PVC de 10 m<sup>3</sup> con tres aberturas de 4 pulg. (Una abertura para el abastecimiento de solución de estiércol, una para salida de biol y una para la evacuación del contenido para limpieza y mantenimiento) y una de 1 pulg., para la salida de gas metano, todas conectadas a tuberías y accesorios necesarios para el funcionamiento del reactor. El abastecimiento del biodigestor se realizó con una solución de estiércol de bovino y porcino con agua, en una proporción de 1:3 generados en los corrales del centro de producción de forma inter-diaria. En la tabla 1 se observa las características técnicas del reactor de geomembrana y en la tabla 2 las características de las soluciones de estiércol.

**Tabla 1.** Características de la solución de estiércol

CARACTERISTICAS	BOVINOS	PORCINOS
Tiempo de Retención	30 días	30 días
Estiércol : Agua	1:3	1:3
Carga inter-diaria	0,5 m <sup>3</sup>	0,5 m <sup>3</sup>
Generación de Metano	12 días	10 días
Temperatura Prom.	28,3	28,3

Fuente: Elaboración propia, 2013

**Tabla 2.** Características de diseño del biodigestor tubular de geomembrana de PVC

Equipo	Características	Valor
<b>BIODIGESTOR</b>	Volumen Total	10 m <sup>3</sup>
	Volumen Líquido	8,0 m <sup>3</sup>
	Volumen Gaseoso	2,0 m <sup>3</sup>
	Longitud	8,0 m
	Diámetro	1,27 m
<b>GASOMETRO</b>	Volumen Gaseoso	3,0 m <sup>3</sup>
	Longitud	2,2 m
	Diámetro	1,0 m
<b>KIT BASICO DE BIODIGESTOR: EQUIPOS Y ACCESORIOS</b>	Manómetro Diferencial	1 unidad
	Filtro de Ácido sulfhídrico -H <sub>2</sub> S	1 unidad
	Trampa de agua en tubo de 1/2"	1 unidad
	Válvula de Seguridad o de alivio de presión	1 unidad

Fuente: www.cidelsa.com

### Método

El presente trabajo de investigación se inició con la instalación de un Biodigestor, según el orden del Plan de Operaciones realizadas en las instalaciones del establo pecuario "Juanita", realizando la construcción de la cama de ubicación, se procede a la instalación del reactor de geomembrana de PVC de 10 m<sup>3</sup>, inflando este con la utilización de uso de 5 m de una manga de polietileno con diámetro de 2 m, asegurado en un extremo del reactor para la captura de aire del medio ambiente y su introducción dentro de la geomembrana de PVC de 10 m<sup>3</sup>, con la finalidad de verificar fugas y observar claramente la posición en que debía ser colocado este, antes de su instalación final (Figura 1). Una vez ubicado el reactor, se procede a la instalación del gaseoducto, mediante el uso de tubos y reducciones de PVC para el transporte del metano generado por el reactor hacia el reservorio y quemadores de la cocina del establo, los mismos que fueron modificados para reducir los riesgos de accidentes mediante llaves de paso en la salida del reactor y filtro de sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), así como una trampa de agua (Figura 3), para garantizar la no fuga de gas y minimizar los errores de cálculo. Se utilizó un reservorio con capacidad de 3m<sup>3</sup> al cual se adiciona los 2m<sup>3</sup> del reactor logrando que el equipo completo acumule 5m<sup>3</sup> de gas propano de forma inter-diaria (Figura 1). Se realizaron las conexiones teniendo como base

la instalación de una cocina y/o lámpara a gas hacia un balón de gas propano, con la particularidad de que se tuvo que quitar los niples para permitir el paso del gas metano hacia los quemadores.

En la primera carga del biodigestor de geomembrana de PVC de 10 m<sup>3</sup>, se realizó una solución de estiércol en agua a una proporción de 1:3 debiendo cargar por única vez la cantidad de 0,5 m<sup>3</sup> y seguidamente una carga inter-diaria del reactor de ½ m<sup>3</sup>, realizado a partir del día 3 de la primera carga.

Realizado la primera carga del reactor se observó cualitativamente la generación de gas a partir del día 4, encendiendo desde este momento los quemadores para observar el progreso en la calidad de combustión, lográndose una combustión uniforme a partir del día 10 y 12 posterior a la primera carga de solución de estiércol de porcino y bovino respectivamente.

En base a los datos teóricos se determinó que el tiempo de retención es de 30 días, a partir de ello se realizó la carga inter-diaria de 0,5 m<sup>3</sup> de solución de estiércol, colectando al mismo tiempo la misma cantidad de biol el cual fue almacenado hasta su utilización. Las características físicas del estiércol en el biodigestor geomembrana de PVC de 10 m<sup>3</sup>, disminuye significativamente los olores posteriores a la fermentación anaeróbica. Finalmente se dio en una evaluación de un periodo de 120 días calendarios, los siguientes

variables: Gas metano, Biol, Temperatura, Tiempo de Retención. Los análisis de nutrientes nitrógeno, fosforo, potasio, calcio,

magnesio y sodio (N, P, K, Ca, Mg, Na), pH y conductividad eléctrica se realizaron en el laboratorio ambiental regional de la UNAMAD



**Figura 1.** Proceso de construcción de la infraestructura que alberga al reactor de geomembrana de PVC. (Fuente: elaboración propia, 2013)



**Figura 2.** Instalación del reactor de geomembrana de PVC y el reservorio de gas metano. (Fuente: elaboración propia, 2013)



**Figura 3.** Instalación del sistema de transporte de gas metano hacia el manómetro y quemadores de la cocina a gas. (Fuente: elaboración propia, 2013)



**Figura 4.** Construcción e instalación del estercolero y el biodigestor en su capacidad total de producción de gas metano. (Fuente: elaboración propia, 2013)



**Figura 5.** Condiciones en que se realizaban los quesos antes de la instalación del sistema de biodigestión y generación de gas metano con combustión completa metano.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 3 se observa el comportamiento de las variables durante un periodo de los trece primeros días posterior a la carga inicial del biodigestor de geomembrana de PVC DE 10 m<sup>3</sup> y la carga inter-diaria del mismo, donde se puede observar la generación de metano desde el cuarto día y el incremento porcentual de la calidad de la combustión, logrando una combustión completa (llama azul) al día 12, donde se podría decir que el metano alcanza su estabilidad, obteniéndose un promedio de 58% de metano (CH<sub>4</sub>) y 37,6 % de CO<sub>2</sub>.

La tabla 4, muestra los valores como el promedio, Mediana y Moda de las variables que se obtuvieron durante la investigación. La figura 6, muestra la variación diaria de la variable como presión de gas, la calidad de la combustión y la temperatura ambiental. De acuerdo a los datos obtenidos en campo a partir de la primera carga de materia orgánica

(estiércol diluido), para la generación de gas dentro del biodigestor tubular de geomembrana de PVC se observó que al día 4, el reservorio ya había llenado su capacidad de reserva obteniendo la mayor presión dentro del registro (6 cm de Presión), al mismo tiempo se verificó la combustión del gas generado, obteniéndose una combustión incompleta (llama amarilla), como se observa en la tabla 2. A partir del día 5, se observó un incremento progresivo en la pureza de la combustión, observándose una combustión completa (llama azul) el día 12 (tabla 2), (Figura 5).

De acuerdo a los datos obtenidos en el Biodigestor de geomembrana de PVC de 10 m<sup>3</sup>, abastecido con estiércol y purines de porcino, la combustión se inició de forma incompleta al día 3 y la combustión completa se registró al día 10, esta diferencia tiene su explicación en el origen y la composición

química del estiércol (animales herbívoros y omnívoros) como se puede observar en la Tabla 5.

Los datos obtenidos durante el periodo de evaluación y generación de gas combustible y abono orgánico tuvieron variaciones que oscilaron entre 25°C a 32°C, teniendo una temperatura media de 28,3°C, lo que aceleró la fermentación anaeróbica dentro del biodigestor de Geo-membrana (figura 6). Estas variaciones de temperatura no representaron mayor inconveniente en referencia a la fermentación del material orgánico dentro del reactor a consecuencia de que en la región no se registraron descensos significativos en los índices de temperaturas que pudieran afectar la fermentación anaeróbica (Tabla 3).

El tiempo de retención (como se observa en la Tabla N°7) del material orgánico dentro del Biodigestor de geomembrana de PVC de 10 m<sup>3</sup>, para la generación de Biol fue de 30 días y en base a esta variable se determinó la cantidad de carga inter-diaria que abastece al Biodigestor geomembrana de PVC de 10 m<sup>3</sup>.

En la tabla 6 se observa los valores promedios de los macronutrientes y micronutrientes del biol. El valor promedio del pH del biol fue de 6,89 (ligeramente ácidos), la conductividad eléctrica fue de 150 µS/m. La cantidad de nitrógeno total (N) en el biol fue de 1190,3 mg/l, la cantidad de fósforo (P) fue de 250,5 mg/l, potasio (K) 3150,5 mg/l, sodio (Na) 1230,1 mg/l, calcio (Ca) 980,3 mg/l, magnesio (Mg) 490,8 mg/l. El valor promedio de coliformes fecales del biol fue de 6,15+03 NMP/100 ml, este valor sobrepasa los límites máximos permisibles mencionados por la organización mundial de la salud. El biol o también llamado abono líquido utilizado como riego debe ser menor a 1000 NMP/100 ml. Por su parte Quipezco - Ushnahua et-al., (2011) informa que la calidad de biogás producido en biodigestores tubulares de PVC con dos diferentes mezclas uno con una relación estiércol y agua de ¼ y otro con 1/5. El monitoreo y análisis del biogás y biol fueron realizados desde noviembre de 2009 hasta abril de 2010, donde alcanzaron un promedio de 52% de metano (CH<sub>4</sub>) y 37.4% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la mezcla ¼ y un

promedio de 53% de metano (CH<sub>4</sub>) y 36.9% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la mezcla 1/5. El biol obtenido en el estudio tiene una buena cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio (N-P-K). Las cantidades de Calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na) encontradas en los bioles de las mezclas se asemejan a la de los abonos orgánicos, por lo que puede ser usado como fertilizante en cultivos hidropónicos. El biol alcanzó en coliformes fecales un promedio 6,08x10<sup>3</sup> NMP/100 ml y 1,27x10<sup>3</sup> NMP/100 ml en las mezclas ¼ y 1/5 respectivamente, sobrepasando los límites máximos para riego mencionados por la Organización Mundial de la Salud. Con referente a los parásitos: protozoos y helmintos, el valor promedio de las mezclas ¼ y 1/5 fue de 0 org/L para ambas mezclas. En nuestro estudio obtuvimos mejores resultados en cuanto al porcentaje de obtención de metano (CH<sub>4</sub>) 58% y el tiempo donde el metano alcanza su estabilidad fue menor al de este estudio, en el caso del biol se obtuvieron también buenas cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio (N-P-K); en el caso de la determinación de coliformes fecales también sobrepasa los límites máximos permisibles.

En el estudio realizado en Costa Rica, denominado Evaluación de la Sostenibilidad de la Biogeneración de Electricidad, por Medio del Sistema de Fermentación Anaeróbica, en una combinación de dos Biodigestores tipo Taiwán, alimentados con excretas bovinas y porcinas se obtienen resultados muy similares a los obtenidos en el establo pecuario "Juanita" en términos de eficiencia en la generación de energías renovables y el retorno económico que significa para el productor pecuario local, así como el aporte a la disminución de gases de efecto invernadero, lo que se considera invaluable para efectos de conservación medio ambiental, este estudio no considera los tiempos de generación de gas metano a comparación de los 12 días establecidos por nosotros, el tiempo de retención en el estudio de comparación es de 50 días justificado por los volúmenes de los reactores y la capacidad de almacenamiento del gas generado. En términos generales y considerando las similitudes en ambos escenarios es que concluimos que nuestros resultados no difieren de los hallados por Viquez (2009).

Siendo la primera vez que se instala un biodigestor para la producción de biogás en un fundo de la región de Madre de Dios, resulta importante valorar los resultados

obtenidos en esta investigación para seguir trabajando en la implementación, mejora y difusión de este tipo de biodigestores en otros fundos.

**Tabla 3.** Comportamiento de las variables en un periodo inicial de 13 días posterior a la primera carga del biodigestor tubular de geomembrana de PVC

VARIABLE	DIA													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Carga General	X													
Carga Inter-diaria (0.5m <sup>3</sup> )	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
Presión de Gas (cm de presión)	0	0	0	0	2,5	3,5	4,4	6	6,8	7,4	5	4,5	4	0
Calidad de Combustión					10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	90%	100%	100%
Temperatura Ambiental	26,0	30,5	32,0	28,5	26,0	27,0	28,0	27,0	29,5	29,0	25,0	27,5	29,0	31,5

Fuente: Elaboración propia, 2013

**Tabla 4.** Muestra los valores como el promedio, Mediana y Moda de las variables que se obtuvieron durante la investigación.

VARIABLE	PROMEDIO	MEDIANA	MODA
Carga Inter-diaria (0.5m <sup>3</sup> )	0,4	0	0
Presión de Gas (cm de presión)	3,2	3,75	0
Temperatura Ambiental	28,3	28,25	26

Fuente: Elaboración propia, 2013

**Tabla 5.** Composición química del estiércol fresco y seco de diferentes especies de animales

ESPECIE ANIMAL	MATERIA SECA %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %	CaO %	MgO%	SO <sub>4</sub> %
Vacunos (f)	6	0,29	0,17	0,1	0,35	0,13	0,04
Vacunos (s)	16	0,58	0,01	0,49	0,01	0,04	0,13
Ovino (f)	13	0,55	0,01	0,15	0,46	0,15	0,16
Ovino (s)	35	1,95	0,31	1,26	1,16	0,34	0,34
Equino (f)	10	0,55	0,01	0,35	0,15	0,12	0,02
Equino (s)	24	1,55	0,35	1,50	0,45	0,24	0,06
Porcino (s)	18	0,60	0,61	0,26	0,09	0,10	0,04
Camélido (s)	37	3,60	1,12	1,2	S.I.	S.I.	S.I.
Cuyes (f)	14	0,60	0,03	0,18	0,55	0,18	0,1
Gallina (s)	47	6,11	5,21	3,2	S.I.	S.I.	S.I.(f)

(f) Fresco, (S) Seco, (S.I.) Sin Información

Fuente SEPAR, 2004. Boletín Estiércoles

**Tabla 6.** Composición química del biol del establo juanita

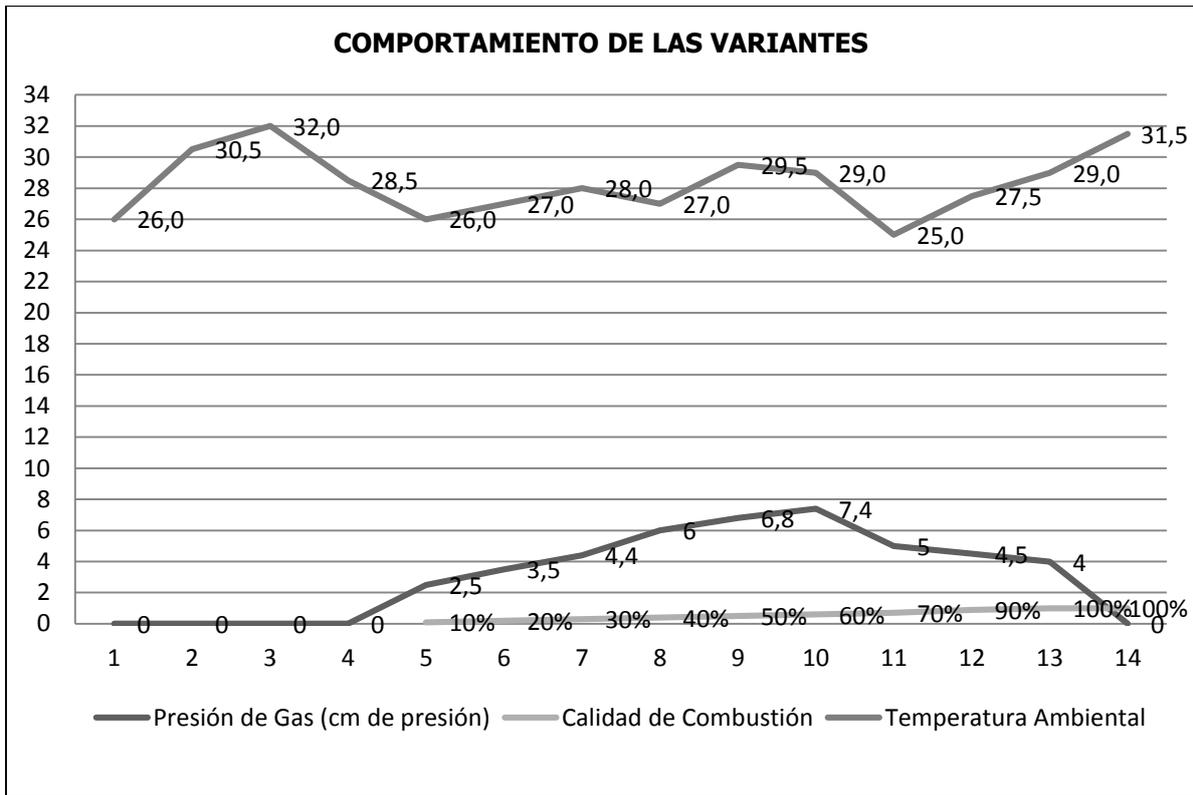
PARAMETRO	MEDIA	$\sigma$	CV
pH	6,89	0,01	0,1 %
CE ( $\mu$ s/m)	150	0,50	5 %
N total (en solución mg/L)	1190,30	436,10	40 %
P total (en solución mg/L)	250,50	97,30	43 %
K total (en solución mg/L)	3150,50	737,10	25 %
Ca total (en solución mg/L)	980,30	513,60	45 %
Mg total (en solución mg/L)	490,80	163,10	30 %
Na total (en solución mg/L)	1230,10	187,00	20 %
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	6,15 $\pm$ 03	-	-

Fuente: Elaboración propia, 2013

**Tabla 7.** Características de abastecimiento de solución de estiércol de bovino y porcinos para el estudio de la eficiencia de generación de biogás y biol.

Tiempo de Retención	Periodo de Carga	Volumen de Carga	Relación Estiércol : Agua
30 Días	Interdiario	0,5 m <sup>3</sup> de Solución Orgánica	1:3

Fuente: Elaboración propia, 2013



Fuente: Elaboración propia, 2013

**Figura 6.** Comportamiento de las variables en un periodo inicial de 13 días posterior a la primera carga del biodigestor tubular de geomembrana de PVC

**CONCLUSIONES**

En las condiciones medio ambientales con que cuenta el departamento de Madre de Dios, se puede generar 5 m<sup>3</sup> de gas metano (CH<sub>4</sub>) cada 48 horas mediante la fermentación anaeróbica en un biodigestor tubular de geomembrana de PVC de 10 m<sup>3</sup>, con un tiempo de retención de 30 días calendario, con cargas inter-diaras de 0,5 m<sup>3</sup> de solución de estiércol con agua (1:3).

Teniendo en cuenta el tiempo de retención y la carga inter-diaría de 0,5 m<sup>3</sup> de solución de estiércol, se obtiene la misma cantidad de abono orgánico "BIOL" a partir del 30º día, el cual podría ser utilizado, según el "Manual de Biol" Aplicación de Biol en diferentes productos agrícolas - 2013, en 2 Ha de Maíz (250 Lts. de biol/Ha) y 25 árboles frutales (20 Lts./Arbor frutal) de forma inter-diaría lo que significa una reducción en los niveles de contaminación medio ambiental y menor inversión en insumos agrícolas de origen químico. A los 12 días el metano comienza a estabilizarse alcanzando un promedio de 58% de metano (CH<sub>4</sub>) y 37,6 % de dióxido de

carbono (CO<sub>2</sub>), presentando un buen rendimiento y encontrándose dentro del rango indicado en la bibliografía.

La región Madre de Dios tiene potencial para la producción de energía renovable a partir de la biomasa como son los desechos de ganado en zonas rurales, disminuyendo así la formación de aguas residuales que pueden ocasionar problemas ambientales, pudiendo ser posible la adopción tecnológica a pequeña y gran escala por los productores dueños de fundos y establos.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

CNN. INIA, 2011

[http://www.snvworld.org/sites/www.snvworld.org/files/publications/situacion\\_actual\\_y\\_mejoras\\_del\\_proyecto\\_inia\\_lv.pdf](http://www.snvworld.org/sites/www.snvworld.org/files/publications/situacion_actual_y_mejoras_del_proyecto_inia_lv.pdf)

[Consultado 10 Octubre, 2013]

Ferrer I, Uggetti E, Poggio D, Marti J, Velo E. 2009. Producción de biogás a partir de residuos orgánicos en biodigestores de bajo coste. <http://www.upc.edu/grecdh>

[Consultado 20 noviembre, 2013]

Pérez-Mendel JA. 2010. Estudio y Diseño de un Biodigestor para Aplicación en Pequeños Ganaderos y Lecheros [www.cybertesis.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-perez\\_jm/pdfAmont/cf-perez\\_jm.pdf](http://www.cybertesis.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-perez_jm/pdfAmont/cf-perez_jm.pdf)

[Consultado 19 Noviembre 2013]

Quipuzco-Ushnahua L, Baldeon-Quispe W, Tang-Cruz O. 2011. Evaluación de la calidad de biogas y biol a partir de dos mezclas de estiércol de vaca en biodigestores tubulares de PVC. Rev Inst Investig Fac minas metal cienc geogr 14(27): 99-104.

Rodríguez L, Preston. 2002. Biodigester installation manual, University of Tropical Agriculture Foundation Finca Ecologica, University of Agriculture and Forestry, Thu Duc, Ho Chi Minh City, Vietnam. [www.fao.org/ag/aga/agap/frg/Recycle/.../manual.htm](http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/Recycle/.../manual.htm)

[Consultado 05 Agosto 2013]

Viquez J, Martínez H, Botero R, Lansing S. 2009. Evaluación de la sostenibilidad de la biogeneración de electricidad, por medio del sistema de fermentación anaeróbica, en una combinación de dos biodigestores tipo Taiwán, alimentados con excretas porcinas y bovinas. Las Mercedes de Guácimo, Costa Rica. ISSN: pp.1659-2751. <http://www.ierratropical.org/wp-content/plugins/download.../download.php?id=129>

[Consultado 08 Septiembre 2013]