

Recibido 10/08/2011,

aprobado ...

**DESEMPEÑO DE UN BIODIGESTOR CARGADO CON LODO SEPTICO Y EXCRETA DE CUY PARA LA PRODUCCION DE BIOGAS Y BIOL**

**“PERFORMANCE OF A BIODIGESTER LOADED WITH SEPTIC SLUDGE AND CAVY MANURE FOR THE PRODUCTION OF BIOGAS AND LIQUID FERTILIZER”**

**Lawrence Quipuzco Ushñahua\*, Wilfredo Baldeón Quispe\*,**

**RESUMEN**

Los sistemas ecológicos conocidos como ECOSAN permiten una recuperación casi total de todos los nutrientes y oligoelementos de las aguas servidas después de un tratamiento apropiado por separado de las heces fecales, orina y aguas grises contribuyendo a la reutilización del biol en la agricultura y generación de bioenergía mediante el biogas.

La investigación se realizó en la casa de retiro El Milagro, ubicada en el Km. 32 ½ de la carretera Lima - Huarochirí en la cuenca del río Lurín. La casa de retiro posee un sistema de saneamiento ecológico construido en el año 2007. Las aguas negras (mezcla de heces, orines y agua del excusado) provienen de 15 inodoros con un caudal promedio de 362.5 litros semanales.

Los residuos agropecuarios estuvieron constituidos por estiércol de cuy y rastrojos vegetales de maíz. El estiércol de cuy se recolectó de la granja de cuyes (aproximadamente 200 cuyes) y los rastrojos de maíz se recolectaron de los terrenos de cultivos. La carga semi-continua del biodigestor se realizó cada siete días, y consistió en una mezcla de estiércol de cuy y lodo séptico del tanque Imhoff. El volumen de mezcla alimentado al biodigestor fue 400 litros semanales, siendo la relación de la mezcla de 3 a 1 es decir; 300 litros de lodo séptico y 100 Kg de estiércol fresco de cuy.

El biodigestor logró reducir en tres unidades logarítmicas los coliformes fecales, es decir, de  $6.3 \times 10^7$  NMP/100 ml a  $3.31 \times 10^4$  NMP/100 ml. Con respecto a los parásitos (helmintos y protozoos) se redujo de 35 Org/L a 7 Org/L en el biol, logrando así una eficiencia de 80%. El biol no cumple con los límites máximos para ser utilizado como riego según la Organización Mundial de la Salud, la cual menciona que el líquido utilizado como riego sea menor a 1000 NMP/100 ml en coliformes fecales y menor a 1 Org/l en parásitos.

El porcentaje de remoción DBO<sub>5</sub> y DQO en el biodigestor fue 45.5% y 69% respectivamente. La eficiencia alcanzada por el biodigestor es típico en biodigestores chinos (redondos), donde por el corto recorrido (diámetro corto) no se da una degradación significativa.

**Palabras claves:** Saneamiento ecológico, digestión anaeróbica, lodo séptico, biodigestor, biogas, biol.

\*Ingeniería Ambiental, Física y Meteorología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Agraria La Molina. E-mail: lquipuzco@lamolina.edu.pe

## ABSTRACT

Ecological systems known as ECOSAN allow a complete recovery of almost all nutrients and mineral nutrients in wastewater after a separately appropriate treatment from feces, urine and greynwaters contributing to reuse of biol in agriculture and bioenergy through biogas.

The research was conducted in the retreat house El Milagro, located at 32 ½ Km of the Lima - Huarochiri highway in the Lurín river basin. The retreat house has an ecological sanitation system built in 2007.

The blackwaters (mixture of feces, urine and toilet water) come from 15 toilets with an average flow of 362.5 liters per week. The agricultural wastes were composed of cavy manure and corn plant waste. Cavy manure was collected from the cavy farm (about 200 cavies) and corn plant wastes were collected from the fields of crops. Semi-continuous load of the biodigester was done every seven days and consisted of a mixture of cavy manure and septic sludge from Imhoff tank.

The volume of mixture fed to the biodigester was 400 liters per week, with the mixing ratio of 3 to 1, that is, 300 liters of septic sludge and 100 kg of cavy manure.

The biodigester reduced in three logarithmic units of faecal coliforms from  $3.31 \times 10^4$  CFU/100 ml to  $6.3 \times 10^4$  CFU/100 ml. With respect to parasites (helminths and protozoa) was reduced from 35 Org/l to 7 Org/l in the biol, achieving an efficiency of 80%. Biol not meet the maximum allowable concentration to be used as irrigation according to the World Health Organization, which states that the liquid used as irrigation is less than 1000 CFU/100 ml faecal coliforms and less than 1 Org/l in parasites. The percentage of BOD<sub>5</sub> and COD removal in the biodigester was 45.5% and 69% respectively. The efficiency achieved by the biodigester is typical in Chinese biodigesters (rounds), where the short run (short diameter) no occurs significant degradation.

**Keywords:** Ecological sanitation, anaerobic digestion, septic sludge, biodigester, biogas, liquid fertilizer.

## I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas ecológicos conocidos como ECOSAN permiten una recuperación casi total de todos los nutrientes y oligoelementos en las aguas residuales domésticas y su reutilización en la agricultura después de un tratamiento apropiado. El tratamiento por separado de heces fecales, orina y aguas grises, minimizan el consumo de agua potable y tratan las aguas residuales ya separadas a bajo costo para su uso posterior en la mejora de la tierra, como fertilizante o como agua de irrigación o de servicio. La recolección de agua de lluvia y el tratamiento de los residuos orgánicos de la casa, el jardín y el estiércol animal puede integrarse a los conceptos ECOSAN (Werner *et al.*, 2003). La separación de las aguas residuales y sus posibles sistemas de saneamiento ecológico se puede ver en la Figura N°1.

Werner *et al.* (2003) señalan que las aguas negras son heces fecales y orina con o sin agua de descarga. La materia fecal humana obtenida después de la separación tiene valiosas cualidades que mejoran la

tierra (una estructura mejorada y un aumento en la capacidad de retención del agua). Los nutrientes y materiales orgánicos contenidos en las heces fecales pueden usarse de forma concentrada e higiénicamente segura como fertilizante seco, composta o fertilizante líquido. Dependiendo del tipo de tratamiento, la energía puede producirse, si es necesario, en forma de biogás después de la digestión anaeróbica (Werner *et al.*, 2003).

Los desechos animales representan en el medio rural una significativa fuente de sustrato para los procesos de bioconversión siendo el estiércol el principal sustrato de origen animal para la producción de biogás.

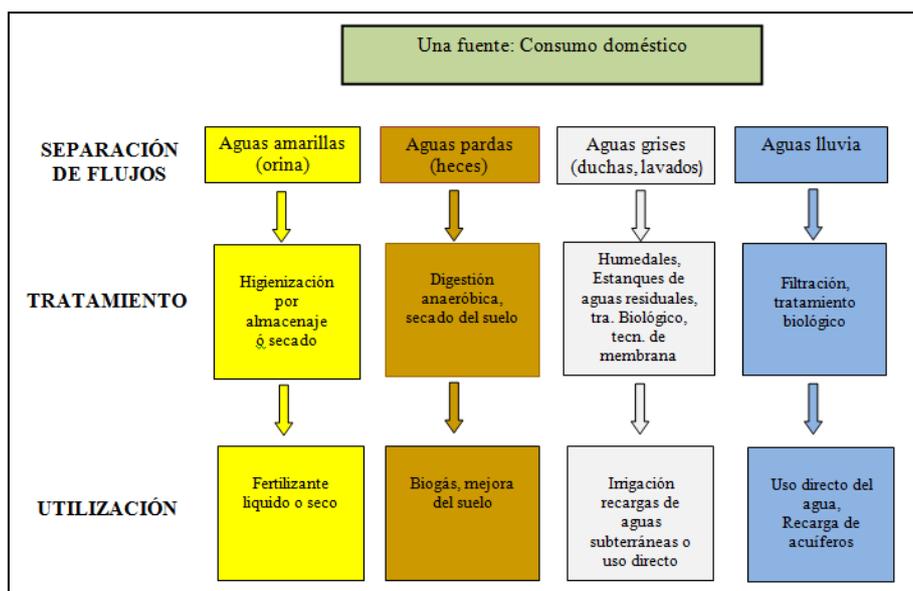
Lewis (1991) menciona que generalmente los desechos agrícolas como rastrojos de cosechas, pajas, etc. son utilizados en el medio rural como alimentos para el ganado, pero aun así existe un remanente que unido a las malas hierbas y desechos no utilizados para la alimentación de animal representan un potencial significativo para la producción de biogás.

Un biodigestor es un sistema natural que aprovecha la digestión anaerobia de las bacterias que habitan en el estiércol, para transformarlo en biogás y fertilizante. El biogás es originado en el proceso de la biodegradación de la materia orgánica bajo condiciones anaeróbicas. La generación natural del biogás es una parte importante en el ciclo bioquímico del carbono.

La metanogénesis (producción de metano por bacterias) es el último eslabón de la cadena de microorganismos que degradan la materia orgánica y retornan los productos de la descomposición hacia el ambiente. En este proceso de biogás se generan fuentes de energía renovables (Kossmann *et al.*, 1999).

El biol es un producto que está formado por organismos vivos o en estado de latencia (esporas), los mismos que liberan metabolitos que se componen de proteínas, enzimas, antibióticos, vitaminas, toxinas, fenoles, esteroides y ácidos, inclusive de acción fitohormonal. Éstos mejoran la nutrición de las plantas en los suelos y son capaces de realizar funciones como: fijar el nitrógeno, movilizar el fósforo, potenciar la acción de algunos nutrientes, y producir sustancias activas (Barros, 2006).

**Figura N°1. Separación de las aguas residuales y ejemplos de posibles sistemas ECOSAN**



FUENTE: Werner *et al.*, (2003)

En la presente investigación se evaluó el desempeño de un sistema ecológico constituido por un biodigestor para el tratamiento de lodo séptico y excreta de cuy para la producción de biogás y biol.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### *Localización y estudios previos*

La investigación se realizó en la casa de retiro El Milagro, ubicada en el Km. 32 ½ de la carretera Lima - Huarochirí en la cuenca del río Lurín. El valle de Lurín posee características propias de la costa peruana y tiene una temperatura media de 19°C. La casa de retiro tiene una capacidad de albergar para 100 personas. El agua de consumo doméstico es obtenida de un pozo subterráneo donde el agua es bombeado hacia un reservorio situado en la parte alta y distribuido por gravedad hacia las duchas, baños y el lavadero de cocina. La casa de retiro posee un sistema de saneamiento ecológico construido en el año 2007. El sistema evaluado trata las aguas negras y los residuos agropecuarios generados en la casa de retiro y consta de un tanque Imhoff y un biodigestor con gasómetro incorporado de geomembrana de PVC.

Las aguas negras (mezcla de heces, orines y agua del excusado) provienen de los 14 inodoros ubicados en los dormitorios y de un inodoro instalado en la casa del guardián. Los inodoros tienen una capacidad

de almacenamiento de 4 litros. El flujo de las aguas negras producido durante una semana fue de 362.5 litros en promedio.

Los residuos agropecuarios fueron recolectados dentro de la casa de retiro. Se utilizó el estiércol de cuy y los rastrojos vegetales del maíz. El estiércol de cuy se recolectó de la granja de cuyes (aproximadamente 200 cuyes) y los rastrojos de maíz se recolectaron de los terrenos de cultivos.

### ***Equipos y Análisis***

Se tomaron datos de la temperatura ambiental y de la temperatura del sustrato dentro del biodigestor. Se midieron las temperaturas mencionadas desde las 07 horas hasta las 18 horas, durante 12 semanas (octubre - diciembre del año 2010). La temperatura ambiental se midió con un termómetro de mercurio, Marca BRAND. El termómetro fue cuidadosamente ubicado a 3 metros del biodigestor y a 1.5 metros del nivel del suelo. La temperatura del sustrato se midió con un multítester calibrado Marca TRUPER modelo MUT-39. El sensor para medir la temperatura del sustrato se introdujo por el sello de agua de la cúpula de geomembrana del biodigestor a 50 cm del nivel del sustrato.

Para medir el pH del sustrato se utilizó un peachímetro digital marca WTW Modelo pH 330 con medidas de temperatura incorporada. La sonda del peachímetro fue introducida dentro de de la cámara de digestión por el tubo de salida del biol. La medición del pH se realizó una vez por semana durante 12 semanas.

Se determinó la composición del biogas una vez por semana durante toda la evaluación. Se utilizó un equipo monitor de gases por extracción marca LANTEC y modelo GEM 500. Este quipo mostró la composición del biogás en porcentajes volumen (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, y otros).

Se plantearon varios métodos para medir la producción de biogás: el método por desplazamiento de agua, el método por flotación (Schlaefli, 2010) y el método por almacenamiento en un volumen conocido. Se hicieron pruebas con los tres métodos llegando a la conclusión que el mejor método para la investigación fue el método por almacenamiento de biogás, la cual consistió en almacenar el biogás en una geomembrana de forma tubular de 1 m<sup>3</sup> de volumen producido durante una semana en las 24 horas del día. La desventaja de este método fue que no se pudo realizar la medición de la producción diaria del biogás, por lo tanto se cuantificó el volumen acumulado durante una semana.

La caracterización del biol se realizó cada 15 días, después de iniciado la producción de biogás en el biodigestor. La evaluación del biol se realizó durante tres meses (6 muestreos en total). Los parámetros evaluados del biol fueron los siguientes: determinación de macro y micro-nutrientes, pH, sólidos totales; para lo cual se tomó una muestra de biol en una botella de plástico de polietileno de 1 litro de capacidad, luego fue llevada al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina - UNALM. Las muestras de biol fueron tomadas en el momento que se realizaron la carga semanal del biodigestor. Para la determinación de la DBO<sub>5</sub>, las muestras fueron recolectadas en frascos de plástico de polietileno de 1 litro de capacidad y trasladadas hacia el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la UNALM. Se

utilizó el método del Electrodo de Membrana según APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Para la determinación de la DQO, las muestras fueron recolectadas en frascos de plástico de polietileno de 1 litro de capacidad y trasladadas dentro de un cooler hacia el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la UNALM. Se utilizó el método de reflujó cerrado con dicromato según APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Por último se determinó los coliformes fecales y parásitos. Para determinar los coliformes fecales las muestras se recolectaron en una botella de vidrio 500 ml y una botella de plástico de 1 litro y se trasladaron hacia el Laboratorio de la Dirección General de Salud Ambiental-DIGESA. Se utilizó el método estandarizado de tubos múltiples APHA, AWW, WEF. Los resultados se reportaron en NMP/100ml. Para determinar los parásitos (protozoos y helmintos) se recolectó las muestras en frascos de vidrio de 500 ml y en dos frascos de plástico de 1 litro de capacidad. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de la DIGESA. Se utilizó el método Bailenger modificado tomada como referencia del manual de técnicas parasitológicas y bacteriológicas de laboratorio para el uso de aguas residuales en la agricultura de la Organización Mundial de la Salud. Los resultados se registraron en Org/l.

El porcentaje de nitrógeno fue determinado por el método de micro-Kjendahl. El porcentaje de carbono fue determinado por el método de dicromato de potasio (combustión) y el porcentaje de humedad fue determinado por el método de secado (Laboratorio de Suelos - UNALM).

### **III. METODOLOGÍA**

Se evaluó el desempeño de un sistema ecológico constituido por un biodigestor para el tratamiento de lodo séptico (proveniente de un tanque Imhoff) y excreta de cuy para la producción de biogas y biol. El tanque Imhoff fue construido con cemento y ladrillos. Está construido sobre el nivel del suelo y tiene una cubierta por la parte superior. Las aguas negras ingresan a la cámara de sedimentación del tanque Imhoff. Una vez allí las aguas negras sedimentan hacia otro compartimento llamado cámara de digestión de lodo. El lodo del tanque Imhoff es extraído por un tubo de 4 pulgadas de diámetro hacia el biodigestor. Una llave de paso de 4 pulgadas de diámetro regula el paso del lodo séptico hacia el biodigestor. El biodigestor fue construido con paredes de ladrillos fuertemente cocidos y cristalizados usando una mezcla bastante concentrada de cemento. A diferencia del biodigestor chino, este biodigestor tiene una cúpula de geomembrana de PVC de 6 mm de espesor para el almacenamiento del biogás. Ver Foto N°1.

La cámara de alimentación del biodigestor está constituido por un tubo (20 cm de diámetro) hecho de concreto colocado con una inclinación de 45° respecto del nivel horizontal, en la cual ingresa la mezcla de estiércol cuy y lodo séptico dentro de la cámara de fermentación del biodigestor. La cámara de fermentación esta hecho de ladrillo fuertemente cocido de forma cilíndrica y forma ovoide en el fondo. La capacidad total de esta cámara es de 10 m<sup>3</sup> (2 m<sup>3</sup> para el almacenamiento del biogás y 8 m<sup>3</sup> para el almacenamiento del sustrato). La cámara de salida del biol está conectado a la cámara de fermentación

por medio de un tubo de concreto (20 cm de diámetro) con una inclinación es de 45° ubicado 30 cm por debajo del nivel del tubo de entrada. En esta cámara se almacena el biol que posteriormente es conducido por un tubo de PVC de 2 pulgadas hacia un cilindro externo de 200 litros de capacidad.

La cúpula de almacenamiento de biogás está construida de geomembrana de PVC de 6 mm de espesor. La cúpula está conectada al biodigestor mediante ganchos de anclaje de acero alrededor de la boca de la cámara de fermentación y sellado con agua.

La cúpula de geomembrana tiene instalado en la parte baja un tubo de PVC de 1 pulgada de diámetro por donde sale el biogás. En el tramo horizontal del tubo de PVC se instalaron una trampa de agua para regular la presión del biodigestor y una trampa de H<sub>2</sub>S (viruta de hierro).

Para la primera carga se utilizó una cantidad pre-compostada de estiércol de cuy, restos vegetales de maíz, agua de riego y como inóculo se utilizó el lodo séptico proveniente del tanque Imhoff. Muestras homogéneas de estiércol de cuy y restos vegetales de maíz se llevaron al Laboratorio de Suelos de la UNALM donde se determinó el porcentaje de carbono (%C), porcentaje de nitrógeno (%N), porcentaje de humedad (%Hd) y el porcentaje de la materia seca (%MS). En el Cuadro N°1 se observa los valores obtenidos en el Laboratorio de Suelos de la UNALM.



**Foto N°1. Biodigestores con cúpula de geomembrana PVC**

**Cuadro N°1. Caracterización del estiércol de cuy y los restos vegetales de maíz**

<b>Restos agropecuarios</b>	<b>% C</b>	<b>% N</b>	<b>% Hd</b>	<b>% M.S.</b>	<b>C/N</b>
<b>Estiércol de cuy</b>	35.4	1.86	17.4	82.54	19
<b>Rastrojos de maíz</b>	50	0.92	11.1	88.9	54.9

Con estos datos se calculó la cantidad de sustratos para el pre-compostaje para el biodigestor, necesitando 509.87 Kg de estiércol de cuy y 426.47 Kg de rastrojo de maíz. El precompostaje duró tres semanas.

Se calcularon el contenido de humedad (%Hd) y materia seca (%MS) del pre-compost. Ver Cuadro N°2.

**Cuadro N°2. Contenido de humedad (%Hd) y materia seca (%MS) del pre-compost**

<b>Material</b>	<b>%MS</b>	<b>%Hd</b>
Pre-compost	88.6	11

Se llenó el biodigestor con 903 Kg de pre-compost y 1100 litros de lodo séptico (10-15% del volumen) y completando con agua de riego los 8 m<sup>3</sup> del volumen de la cámara de fermentación del biodigestor.

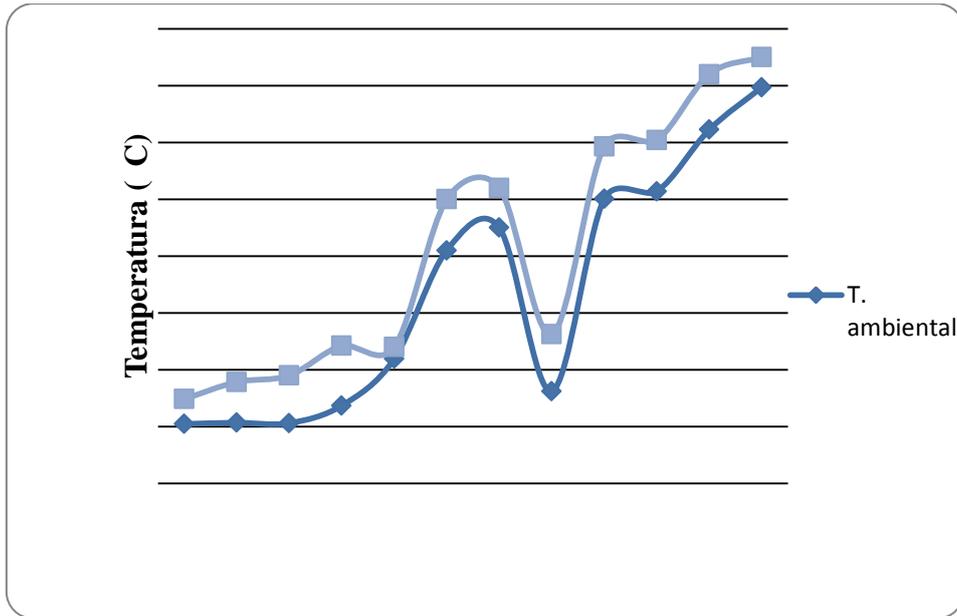
En la presente investigación la carga semi-continua del biodigestor se realizó cada siete días, y consistió en una mezcla de estiércol de cuy y lodo séptico del tanque Imhoff. El volumen de mezcla alimentado al biodigestor fue 400 litros semanales, siendo la relación de la mezcla de 3 a 1 es decir; 300 litros de lodo séptico y 100 Kg de estiércol fresco de cuy.

Se determinaron los valores máximos y mínimos, las medias, las medianas, la desviación estándar y los coeficientes de variabilidad (CV), usándose la media muestral cuando el CV es < a 50% y la mediana cuando CV > 50%.

## **VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

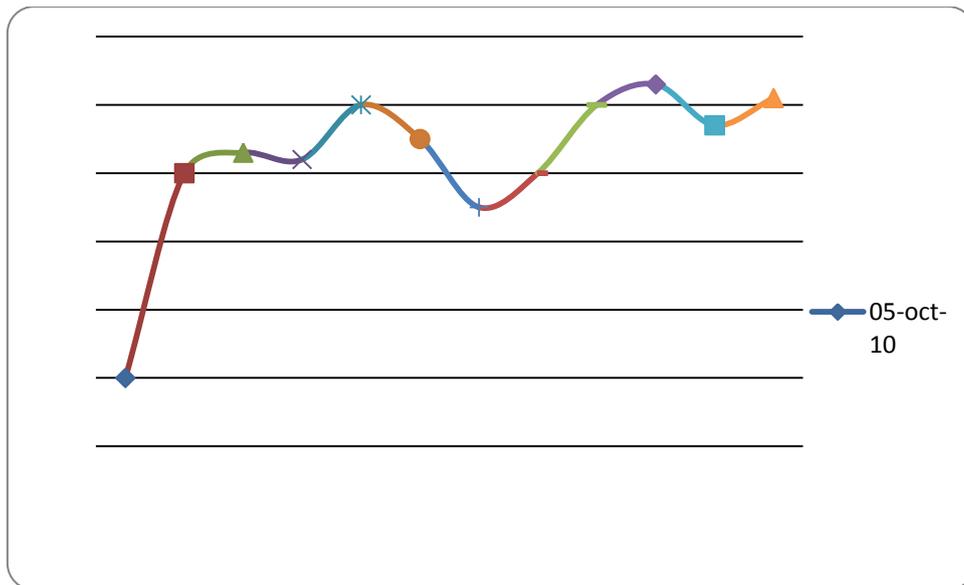
Durante la evaluación la temperatura en el biodigestor fue ligeramente mayor a la temperatura del ambiente. En el Gráfico N°1 se observa las temperaturas promedio monitoreadas durante todo el día, una vez por semana, en un tiempo de tres meses. También se puede observar un aumento de temperatura a medida que se acerca el verano, esta tendencia favoreció la producción de biogás.

**Gráfico N°1. Temperatura ambiental y la temperatura en el biodigestor**



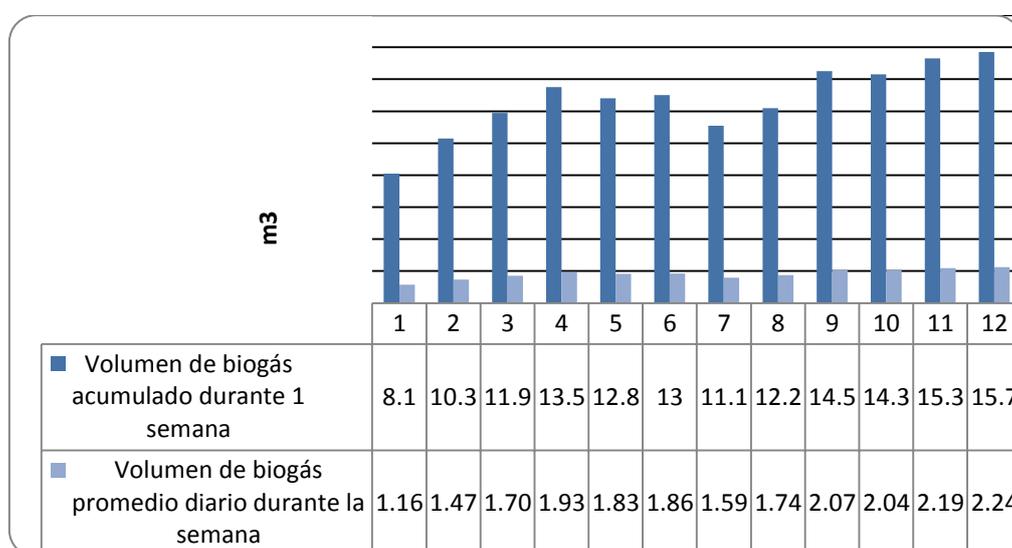
El pH se midió cada siete días. En el Gráfico N°2 se puede observar el comportamiento del pH en el biodigestor durante los tres meses de evaluación. Todos los valores reportados se encuentran dentro del rango que menciona Guevara (1996), en el cual indica que el valor óptimo para la digestión es de 6.5-7.5. Cuando baja de 5 o sube de 8 puede inhibir el proceso de fermentación o incluso detenerlo. El valor promedio del pH durante toda la evaluación fue 7.12, el pH máximo registrado fue de 7.23 y el pH mínimo fue 6.8.

**Gráfico N°2. Variación del pH en el biodigestor**



El tiempo que se demoró el biodigestor en producir biogás después de la carga inicial fue de 20 días, después de este tiempo se pudo apreciar la cúpula de geomembrana llena de biogás almacenado. Esto indicó que el inóculo utilizado fue el adecuado para el arranque. En el Gráfico N°3 se puede observar la cantidad de biogás acumulado durante la semana y la producción de biogás promedio diaria. Cabe mencionar que la carga se realizó una vez por semana. Durante la investigación el biodigestor produjo 1.82 m<sup>3</sup>/d en promedio; registrándose 1.26 m<sup>3</sup>/d como volumen mínimo y 2.24 m<sup>3</sup>/d como volumen máximo producido por el biodigestor. La producción promedio diaria de biogás (1.82 m<sup>3</sup>) dividida entre el volumen de digestión (8 m<sup>3</sup>) da un valor de 0.22 metros cúbicos de biogás por día por metro cúbico de digestión.

**Gráfico N°3. Evaluación temporal de la producción de biogás**



En el Cuadro N°3 se observa los valores en porcentaje de volumen del metano (CH<sub>4</sub>), del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y de otros componentes. Durante la investigación el promedio de la composición fue de 57.6% de CH<sub>4</sub>, 32,2% de CO<sub>2</sub> y 11.5% de otros gases. Los porcentajes del CH<sub>4</sub> y del CO<sub>2</sub> se encuentran dentro del rango indicado en la bibliografía.

**Cuadro N°3. Composición del biogás**

FECHAS	COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS		
	%CH <sub>4</sub>	%CO <sub>2</sub>	%Otros
05-oct-10	45.4	38.0	16.6
12-oct-10	51.2	34.4	14.4
19-oct-10	57.2	29.1	13.7
26-oct-10	59.8	31.8	8.4
02-nov-10	53.4	31.3	15.3
09-nov-10	54.4	32.5	13.1
16-nov-10	59.1	31.5	9.4
23-nov-10	60.9	32.1	7.0

30-nov-10	58.1	30.1	11.8
07-dic-10	55.2	32.7	12.1
14-dic-10	60.2	34.2	5.6
21-dic-10	61.0	28.1	10.9

En el Cuadro N°4 se observan los valores promedios de los macronutrientes y micronutriente del biol.

**Cuadro N°4. Valores promedio de los macronutrientes y micronutrientes del biol**

<b>PARÁMETROS</b>	<b>VALOR PROMEDIO</b>
pH	7.23
C.E. (ds/m)	12.74
Sólidos totales g/l	10.11
M.O. en solución g/l	4.32
N total mg/l	882.50
P total mg/l	90.77
K total mg/l	3036.67
Ca total mg/l	205.67
Mg total mg/l	156.33
Na total mg/l	532.83
Fe total mg/l	5.53
Cu total mg/l	0.34
Zn total mg/l	1.63
Mn total mg/l	0.93
B total mg/l	6.34

El biol obtenido tiene una buena cantidad de N-P-K que podrían ser aprovechadas por las plantas como fertilizante liquido.

El valor promedio de coliformes fecales de la mezcla de ingreso al biodigestor fue de  $6.3 \times 10^7$  NMP/100 ml y el valor promedio de coliformes fecales del biol o efluente del biodigestor fue de  $3.31 \times 10^4$  NMP/100 ml. Se logró reducir tres unidades logarítmicas lo cual significó una remoción de 99.9% de coliformes fecales. Con referente a los parásitos (protozoos y helmintos) el valor promedio de la mezcla de ingreso al biodigestor fue 35 Org/l y a la salida del efluente del biodigestor fue de 7 Org/l. Se logró

una eliminación del 80% de parásitos. Respecto a la DBO<sub>5</sub> y la DQO los valores promedio de la mezcla en el ingreso del biodigestor fueron 788.5 mg/l y 2908.5 mg/l respectivamente. El valor promedio en el biol de la DBO<sub>5</sub> fue 429.3 mg/l y de la DQO fue 893 mg/l. El porcentaje de remoción obtenido por el biodigestor fue 45.5% con respecto a la DBO<sub>5</sub> y 69% referido a la DQO.

## VII. CONCLUSIONES

El lodo séptico y el pre-compost resultaron ser eficientes en la puesta en marcha del biodigestor, logrando así, producir biogás a los 20 días del arranque del biodigestor.

El biodigestor logró reducir en tres unidades logarítmicas los coliformes fecales, es decir, de  $6.3 \times 10^7$  NMP/100 ml a  $3.31 \times 10^4$  NMP/100 ml. Con respecto a los parásitos (helminths y protozoos) se redujo de 35 Org/L a 7 Org/L en el biol, logrando así una eficiencia de 80%. El biol no cumple con los límites máximos para ser utilizado como riego según la Organización Mundial de la Salud, la cual menciona que el líquido utilizado como riego sea menor a 1000 NMP/100 ml en coliformes fecales y menor a 1 Org/l en parásitos.

El porcentaje de remoción DBO<sub>5</sub> y DQO en el biodigestor fue 45.5% y 69% respectivamente. La eficiencia alcanzada por el biodigestor es típico en biodigestores chinos (redondos), donde por el corto recorrido (diámetro corto) no se da una degradación significativa (Guevara, 1996). El biodigestor tuvo una eficiencia de  $0.22 \text{ m}^3/\text{d}/\text{m}^3$  de digestión. Esta producción de biogás está entre lo informado por Marchaim (1992) que indica un rango de  $0.15$  a  $0.6 \text{ m}^3/\text{d}/\text{m}^3$  de digestión en biodigestores tipo chino.

## VIII. REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS

1. Barros, M., Da Silva, J. 2006. Biofertilizante líquidos y sustentabilidad agrícola. Brasil. pp. 56-61.
2. Guevara A. (1996). Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. CEPIS. Lima. pp. 18-19.
3. Kossmann, W., Pönitz, U., Habermehl, S., Klingler, B., Kellner, C., Wittur, T., Klotek, A., Euler, H., Hoerz, T., Krämer P. 1999. Biogas Digest. V.1. Biogas Basic. GTZ Alemania. pp 4-15.
4. Lewis, F. 1991 Producción de biogás a partir de estiércol de vacuno adaptado al diseño chino para la cuenca lechera de Arequipa. Tesis. Universidad Nacional Agraria La Molina Facultad de Ciencias.
5. Marchaim U., 1992. Biogas processes for sustainable development. Roma. FAO. pp 51-88.
6. Werner, C., Abdoulaye, P., Schlick, J., Mang, H. Principios y razones del saneamiento ecológico. En: 2º Simposio Internacional sobre Saneamiento Ecológico: 11 de abril del 2003. Luebec, Alemania. German Technical Cooperation GTZ.
7. World Health Organization. 2006. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. V.2. Wastewater use in agriculture. Switzerland. pp 199.