



DESIGN OF A BIODIGESTOR OF GARBAGE CAN TO OBTAIN GAS METHANE AND FERTILIZERS TO LEAVE OF THE FERMENTATION OF EXCREMENTS OF PIG

DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DE CANECAS EN SERIE PARA OBTENER GAS METANO Y FERTILIZANTES A PARTIR DE LA FERMENTACIÓN DE EXCREMENTOS DE CERDO

Ramón, J. A.; Romero, L. F., Simanca, J. L.

Grupo de Investigaciones Ambientales Agua, Aire y Suelo (GIAAS) Programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona, Tel: 5685303 (ext. 140) e-mail: jacipt@unipamplona.edu.co, luisromero@unipamplona.edu.co

Abstract: You designs and it built a biodigestor six garbage can in series 55 gallons of 0.6 m of diameter each garbage can and a height average of 0.9 m approximately. For the design of the biodigestor they were conditioning factors the energy that is wanted to obtain, the available biomass, the volume of the biodigestor and the half temperature of the place, using as biomass pig manure (porquinaza) for a load system in continuous. The volume of each garbage can was of 208.197 L, for a total volume of the biodigestor of 1249.182 L (1.3 m³). The temperature average of the place was of 30 °C. The longitudinal walls of the grave were with a bank of 10%. The difference along the floor was of 0.05%, the biodigestor was provided of a system of pipes biogás collector, besides an entrance box and another of exit. A net of pipes interconnected in the bottom of the six garbage can for the distribution of the stabilized biomass extended. To determine the efficiency of the process in the biodigestor experimental results of the parameters physicals chemical they were evaluated in the laboratory like they are the solids, the chemical demand of Oxygen (DQO) and the analysis of the activity methanogenica (AM).

Resumen: Se diseño y construyó un biodigestor seis canecas en serie de 55 galones de 0.6 m de diámetro cada caneca y una altura promedio de 0.9 m aproximadamente. Para el diseño del biodigestor fueron factores condicionantes la energía que se desea obtener, la biomasa disponible, el volumen del biodigestor y la temperatura media del lugar, utilizando como biomasa estiércol de cerdo (porquinaza) para un sistema de carga en continuo. El volumen de cada caneca fue de 208.197 L, para un volumen total del biodigestor de 1249.182 L (1.3 m³). La temperatura promedio del lugar fue de 30 °C. Las paredes longitudinales de la fosa quedaron con un talud de 10%. El desnivel a lo largo del piso fue de 0.05%, el biodigestor estaba provisto de un sistema de tuberías colectora de biogás, además de una caja de entrada y otra de salida. Se extendió una red de tuberías interconectadas en el fondo de las seis canecas para la distribución de la biomasa estabilizada. Para determinar la eficiencia del proceso en el biodigestor se evaluaron resultados experimentales de los parámetros fisicoquímicos en el laboratorio como son los sólidos, la demanda química de Oxígeno (DQO) y el análisis de la actividad metanogénica (AM).

Keywords: Biodigestor, diseño, biomasa, biogás, bioabono, biofertilizantes, excretas, porquinaza.





1. INTRODUCCIÓN

Actualmente las proyecciones del uso de la energía global se basa en escenarios que son contruados alrededor de suposiciones acerca de cuán lejos la economía se expandirá, el rápido crecimiento de la población mundial, el grado de avance tecnológico, medidas de conservación, adopción de tecnologías energéticamente eficientes, las disponibilidad relativa y el precio de los combustibles. Sugieren el uso de energías renovables, como la biomasa que es un recurso renovable cuya utilización presenta características singulares y beneficios notables. Además, se trata de una fuente prácticamente inagotable, producida cíclica y continuamente por el reino vegetal y animal y el sistema urbano e industrial.

La biodigestión es una alternativa para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos, en la que se combinan procesos aeróbicos (que funcionan con oxígeno) y anaeróbicos (sin presencia de oxígeno), se han de obtener productos como abono agrícola (compost) y gas biológico (60% metano, 40% CO₂), que puede ser utilizado como combustible. Los alimentos y otros residuos orgánicos (estiércol, madera, hojas, vegetales) pueden ser transformados a través de procesos bioquímicos, dando como resultado estos productos que son de alto valor energético y económico. Estos sistemas permiten su aplicación en ciudades pequeñas e intermedias del país dado que, además permite su utilización a gran escala permitiendo convertirlas en un excelente modelo de apropiación de tecnología y una importante fuente de empleo para las industrias y microempresas de la región. La digestión anaerobia para obtención de biogás se puede aplicar a residuos de tipo orgánico como: lodos de tratamiento de aguas residuales, residuos animales y vegetales, alimenticios, etc.

Dentro de las utilidades que hasta el momento se han dado al biogás están: producción de electricidad; funcionamiento de motores (combustible para vehículos), tanto solo como mezclado con fuel oil, producción de

energía mecánica para el funcionamiento rural de fábricas de procesos agrarios; funcionamiento de refrigeradores de kerosene y funcionamiento de cocinas de gas

En este contexto el presente trabajo muestra el diseño de un biodigestor de canecas en serie para la producción de gas metano y fertilizantes a partir de excrementos de cerdos.

Marco teórico

Las excretas contienen nutrientes que los cultivos pueden utilizar, pero también poseen altas concentraciones de coliformes fecales que producen enfermedades infecciosas, capaces de causar hasta la muerte en los humanos. Por ello, para utilizarlas como fertilizantes, es necesario darles un tratamiento que elimine estos agentes infecciosos. Una forma de hacerlo es mediante la biodigestión. Al usar un biodigestor se utilizan los nutrientes contenidos en las excretas y, además, se reduce la contaminación ambiental, ya que convierte las excretas que contienen microorganismos patógenos como bacterias, protozoos, larvas, huevos, pupas de insectos, etc., en residuos útiles y sin riesgo de transmisión de enfermedades (McCaskey, 1990).

La actividad agrícola siempre ha dependido de la aplicación de estiércoles sólidos, esto se debe a que los suelos predominantes en zonas extremadamente pedregosos, delgados y permeables que baja rápidamente la fertilidad original cuando se les utiliza en forma continua. La utilización de estiércoles es una forma de mantener la fertilidad del suelo, ya que se ha demostrado que en suelos pedregosos existe muy poca respuesta a la fertilización química, cuando ésta se hace en forma tradicional (Soria et al., 1994), sólo cuando se dosifica en el agua de riego se han observado buenos resultados (Soria et al., 2000). Sin embargo, cada día los estiércoles son más escasos y costosos por lo que se considera necesario buscar fuentes alternativas de abonos orgánicos. Una opción viable consiste en utilizar la biomasa vegetal, que en la zona tropical es abundante, y las excretas líquidas de cerdo como activadores microbianos.





La digestión anaerobia es un proceso complejo desde el punto de vista microbiológico; al estar enmarcado en el ciclo anaerobio del carbono, es posible en ausencia de oxígeno, transformar la sustancia orgánica en biomasa y compuestos inorgánicos en su mayoría volátiles: CO_2 , NH_3 , H_2S , N_2 y CH_4 (Soubes, 1994). Naturalmente ocurre en el tracto digestivo de animales y debajo de aguas estancadas o pantanos, pero también puede realizarse en depósitos cerrados herméticamente, llamados digestores. Estos se utilizan cuando se quiere captar todos los productos obtenidos de la descomposición anaerobia (gases y sólidos), ya que al haber en su interior un ambiente oscuro y sin aire se favorece el medio óptimo para el cultivo intensivo de bacterias anaerobias (Salazar, 1993). En esta condición, cuando se acumulan polímeros naturales orgánicos como proteínas, carbohidratos, celulosa, etc., se produce un rápido consumo de oxígeno, del nitrato y del sulfato por los microorganismos, produciéndose la metanogénesis; en estas condiciones, el nitrato se transforma en amonio y el fósforo queda como fosfato. También se reducen los iones férrico y mangánico, debido a la ausencia de oxígeno. El método básico consiste en alimentar al digestor con materiales orgánicos y agua, dejándolos un período de semanas o meses, a lo largo de los cuales, en condiciones ambientales y químicas favorables, el proceso bioquímico y la acción bacteriana se desarrollan simultánea y gradualmente, descomponiendo la materia orgánica hasta producir grandes burbujas que fuerzan su salida a la superficie donde se acumula el gas (Verástegui, 1980).

La digestión anaerobia, a partir de polímeros naturales y en ausencia de compuestos inorgánicos, se realiza en tres etapas: 1) hidrólisis y fermentación, en la que la materia orgánica es descompuesta por la acción de un grupo de bacterias hidrolíticas anaerobias que hidrolizan las moléculas solubles en agua, como grasas, proteínas y carbohidratos, y las transforman en monómeros y compuestos simples solubles; 2) acetogénesis y deshidrogenación, donde los alcoholes, ácidos grasos y compuestos

aromáticos se degradan produciendo ácido acético, CO_2 e hidrógeno que son los sustratos de las bacterias metanogénicas; 3) metanogénica en la que se produce metano a partir de CO_2 e hidrógeno, a partir de la actividad de bacterias metanogénicas (Marty, 1984).

La concentración de hidrógeno juega un papel fundamental en la regulación del flujo del carbono en la biodigestión. Los microorganismos que en forma secuencial intervienen en el proceso son: 1) bacterias hidrolíticas y fermentadoras; 2) bacterias acetogénicas obligadas reductoras de protones de hidrógeno (sintróficas); 3) bacterias sulfato reductoras (sintróficas facultativas) consumidoras de hidrógeno; 4) bacterias homoacetogénicas; 5) bacterias metanogénicas; 6) bacterias desnitrificantes (Soubes, 1994).

Para que las bacterias aseguren su ciclo biológico en el proceso de digestión anaerobia es necesario que se presenten en condiciones óptimas los siguientes factores: Temperatura. Las bacterias mesófilas completan su ciclo biológico en el ámbito de 15 a 40°C con una temperatura óptima de 35°C. Las bacterias termofílicas cumplen sus funciones en el ámbito de 35 a 60°C con una temperatura óptima de 55°C. Hermetismo. Para que el proceso de digestión se lleve a cabo en forma eficiente, el tanque de fermentación debe estar herméticamente cerrado. Presión. La presión subatmosférica de 6 cm de agua dentro del biodigestor se considera la presión óptima (Kennedy y Berg, 1982). Tiempo de retención. Es el tiempo promedio en que la materia orgánica es degradada por los microorganismos. Se ha observado que a un tiempo corto de retención se produce mayor cantidad de biogás, pero un residuo de baja calidad fertilizante por haber sido parcialmente digerido. Pero para tiempos largos de retención se obtendrá un rendimiento bajo de biogás, pero con un efluente (residuo) más degradado y con excelentes características como fuente de nutrimentos. Relación C/N. La relación óptima de C/N es de 30:1, cuando la relación es muy estrecha (10:1) hay pérdidas de nitrógeno asimilable, lo cual reduce la calidad del material





digerido. Si la relación es muy amplia (40:1) se inhibe el crecimiento debido a falta de nitrógeno. Porcentaje de sólidos. El porcentaje óptimo de sólidos en la mezcla a digerir es de 7 a 9 y se consigue al diluir el material orgánico con agua. pH. En digestores operados con estiércol de bovino, los valores óptimos de operación oscilan entre 6.7 y 7.5 con límites de 6.5 a 8.0 (Hayes et al., 1979). Agitación. Esta práctica es importante para establecer un mejor contacto de las bacterias con el sustrato.

Ventajas de los Biodigestores

* Se optimiza el material orgánico utilizado, ya que se captan todos los productos y subproductos (gases y líquidos con sólidos disueltos) generados en la degradación, por lo cual existe poca pérdida de elementos nutritivos, cosa que no sucede en la biodegradación aerobia.

* Los residuos orgánicos obtenidos después de la biodegradación anaerobia (efluente) tienen mayor riqueza nutricional que los obtenidos en la biodegradación aerobia (Noyola y Monroy, 1994).

Desventajas de los Biodigestores

* El material orgánico obtenido de este tipo de biodegradación es líquido.

* Al aplicarse en forma líquida en suelos permeables existe mucha pérdida por lixiviación de algunos de sus componentes.

* Es necesario tener el suelo húmedo para hacer la aplicación del efluente porque si el suelo está seco existe gran pérdida de nitrógeno del efluente por volatilización (Feigin et al., 1991).

Tipos de Digestores

En forma general se clasifican, según su modo de operación, en los siguientes: de régimen estacionario o de Batch, de régimen semicontinuo, horizontales de desplazamiento y de régimen continuo. Los de régimen estacionario son muy utilizados para obtener fertilizante orgánico y consisten de tanques herméticos con una salida de gas. Se cargan una sola vez y se descargan cuando han dejado de generar gas (CEMAT, 1977). Los de régimen semicontinuo se construyen enterrados, se

cargan por gravedad una vez al día, en la parte superior flota una campana donde se almacena el gas (Viñas, 1994). Los horizontales de desplazamiento también se construyen enterrados semejantes a un canal, se operan a régimen semicontinuo, entrando la carga por un extremo del biodigestor y saliendo el efluente por el extremo opuesto. Los de régimen continuo se utilizan principalmente para tratamiento de aguas residuales; son plantas muy grandes que emplean equipos para proporcionar calefacción y agitación, éstos generalmente son de tipo industrial (Mandujano, 1981).

Uso del Bioabono

Además de generar gas combustible, la fermentación anaerobia de la materia orgánica produce un residuo orgánico de excelentes propiedades fertilizantes, evitando en esta forma la competencia que se podría presentar con el aprovechamiento tradicional de los residuos animales y agrícolas con fines fertilizantes o como combustibles. La composición del bioabono en promedio tiene 8.5% de materia orgánica, 2.6% de nitrógeno, 1.5% de fósforo, 1.0% de potasio y un pH de 7.5 (Botero y Thomas, 1987). El bioabono sólido o líquido no posee mal olor, a diferencia del estiércol fresco, tampoco atrae moscas y puede aplicarse directamente al campo en forma líquida, en las cantidades recomendadas (McCaskey, 1990); o bien, el bioabono sólido puede deshidratarse y almacenarse para usarlo posteriormente en el entendido de que al deshidratarse puede haber pérdidas por volatilización hasta 60%, sobre todo de nitrógeno (Day, 1987). De acuerdo con Mandujano (1981), un metro cúbico de bioabono producido y aplicado diariamente, puede fertilizar más de 2 ha de tierra por año y proporcionar hasta 200 kg N ha⁻¹ de los que estarán disponibles en el primer año entre 60 y 70 kg. El bioabono no deja residuos tóxicos en el suelo, eleva la calidad del mismo y puede considerarse como un buen fertilizante que puede competir o complementarse con los fertilizantes químicos. Con el objeto de dar utilidad a la excreta líquida de cerdo, en la producción de biofertilizante y tratar de eliminar a los patógenos (coniformes principalmente) que la excreta contiene, se





evaluó el proceso de biodigestión anaerobia.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Descripción del biodigestor

Se utilizó el prototipo de biodigestor tipo canecas tubulares en serie de polietileno soportados en una base de madera como se muestra en la figura 1. El biodigestor se construyó con las siguientes características: 6 canecas de 55 galones de 0.6 m de diámetro cada caneca y una altura promedio de 0.9 m aproximadamente. El volumen de cada caneca es 208.197 L, para un volumen total del biodigestor de 1249.182 L (1.3 m³). La temperatura promedio del lugar fue de 30°C. Las paredes longitudinales de la fosa quedaron con un talud de 10%. El desnivel a lo largo del piso fue de 0.05%, el biodigestor estaba provisto de un sistema de tuberías colectora de biogás, además de una caja de entrada y otra de salida. Se extendió una red de tuberías interconectadas en el fondo de las seis canecas para la distribución de la biomasa estabilizada.

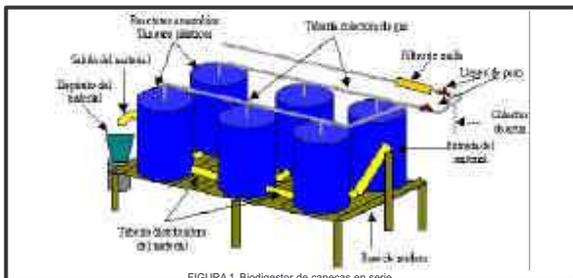


Figura 1. Biodigestor de canecas en serie

2.2. Toma de muestras y determinaciones analíticas

La presente investigación se ha realizado y evaluado bajo condiciones de laboratorio las variables del proceso como sólidos en suspensión totales (SST), Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Actividad Metanogénica (AM), determinado si el proceso llevado a cabo en el biodigestor es el óptimo y si presenta una eficiencia. A parte de lo anterior se ha realizado el seguimiento del control de la temperatura y pH, factores indispensables para un buen

crecimiento exponencial de los microorganismos y obtención de biogás o gas metano (CH₄) y bioabono. Esta fase se realizó del 19 de septiembre hasta el 7 de octubre de 2005. Los métodos analíticos han sido extraídos del Standard Methods for the Examination of Water APHA (1995).

3. DISEÑO DEL BIODIGESTOR

Para el diseño del biodigestor fueron condicionantes la energía que se desea obtener, la biomasa disponible, el volumen del biodigestor y la temperatura media del lugar. Según los condicionantes mencionados en esta primera experiencia se utilizó sólo estiércol de cerdo (porquinaza) para un sistema de carga en continuo.

3.1 Diseño del Biodigestor de Canecas en Serie

· Metodología de diseño del biodigestor

* Cálculo de la biomasa disponible (tabla 1)

Tabla 1. Cantidad y peso vivo de los cerdos

Animales Cerdos	Cantidad N°	Peso promedio Kg.	Peso vivo (p.v) Total Kg.
Macho reproductor	1	160	160
Hembra gestante	2	165	330
Levante	7	180	1260
Total	10	175	1750

* Total horas de consumo = 4 aproximadamente

* Se usará un quemador, con un consumo individual de 350 L/h de biogás

* Consumo total de gas = 4 h * 350 L/h = 1400 L de biogás

* Horario de consumo de biogás

8:00 - 10:00 AM

4:00 - 6:00 PM

* De acuerdo a la tabla 2 los cerdos tienen un promedio de producción de gas de 450 L/Kg. MSO

$$\frac{1400 \text{ L}}{450 \text{ L/kg. MSO}} = 3.11 \text{ kg. MSO}$$





* Como la MSO equivale al 12% de porquinaza producida por los animales, según la tabla 2 se requieren:

$$\frac{3.11 \text{ kg.MSO}}{0.12 \text{ kg.MSO/kg.porquinaza}} = 25.91 \text{ kg} \approx 26 \text{ kg.porquinaza}$$

Tabla 2. Características de desechos animales y producciones estimadas de gas

Clase de animal	Cantidad diaria de		% de material de fermentación		Rango producción gas l/kg MSO	Promedio producción gas l/kg MSO
	Estiércol en % del peso vivo	Orina en % del peso vivo	% MST	% MSO		
Vacunos	5	4	15,5	13	150-350	250
Cerdos	2	3	16	12	340-550	450
Caprinos	3	1,5	30	20	100-310	200
Ovejas						
Caballos	1	4	25	15	200-350	250
Aves	4,5	4,5	25	17	310-620	460
Humanos	1	2	20	15	310-640	450

Fuente: El Biogás y sus Aplicaciones. PESENCA

* Calculo del número de cerdos. La producción diaria de porquinaza equivale al 2% del peso vivo (P.V) del animal, según la tabla 5.1 entonces:

$$\frac{26 \text{ kg.porquinaza}}{0.02 \text{ kg.porquinaza/kg.p.v}} = 1300 \text{ kg.p.v}$$

* Estabulación de los cerdos: 5:00 PM - 9:00 AM = 17 horas

$$1300 \text{ kg.p.v.} \cdot \frac{24 \text{ h/día}}{17 \text{ h/día}} = 1835 \text{ kg.p.v}$$

* Considerando que el peso vivo promedio de los cerdos es de 175 Kg. estabulados 17 horas/día, tenemos:

$$\frac{1835 \text{ kg.p.v}}{175 \text{ kg/cerdo}} = 10.48 \approx 11 \text{ .cerdos}$$

* Producción estimada de biogás
26 Kg de porquinaza * 12% MSO = 3.12 Kg/día de MO
3.12 Kg/día * 450 L/Kg de MSO = 1404 L/día

* Volumen de carga, relación estiércol - agua (1:1,5)

* Mezcla de carga total = 26 Kg. porquinaza + 39 Kg. de agua = 65 Kg/día

El volumen de la mezcla:

$$V_m = 0,065 \text{ m}^3/\text{día}$$

* La densidad de la mezcla:

$$\rho_{\text{mezcla}} = 0,94 \text{ Kg/L} = 940 \text{ Kg/m}^3$$

* Tiempo de retención hidráulico (TRH)

$$V_{\text{necesario}} = V_{\text{mezcla}} * \text{TRH}$$

$$\text{TRH} = V_{\text{mezcla}} / V_{\text{necesario}}$$

$$\text{TRH} = 1.25 \text{ m}^3 / 0.065 \text{ m}^3/\text{día} = 24 \text{ días}$$

* Relación entre el volumen de mezcla y Volumen del biogás 3:2 respectivamente (60% Vmezcla y 40% Vbiogás), lo que indica:

$$V_{\text{total de mezcla}} = 55 \text{ gal} * 3.7854 \text{ L/gal} * 3/5 \text{ partes} * 6 \text{ canecas}$$

$$= 749.5 \text{ L de mezcla estiércol -agua}$$

* Depósito del biogás (campana)

$$V_{\text{total biogás}} = 55 \text{ gal} * 3.7854 \text{ L/gal} * 2/5 \text{ partes} * 6 \text{ canecas}$$

$$= 499.67 \text{ L de biogás}$$

* Vtotal biodigestor = 749,5 + 499,5= 1249 L ~ 1,25 m³ de biogás

* Producción de biogás por hora aproximada

$$1404 \text{ L-día} / 24 \text{ horas} = 58.5 \text{ Litros de biogás}$$

3.2 Materiales para la construcción del biodigestor de Canecas en Serie

* 6 canecas plásticas de 55 galones cada una

* 3 metros de tubo pvc de 4"

* 2 tee de 4"

* 1 codo de 4"

* 6 metros de tubo pvc de 1/2"

* 30 centímetros de tubo pvc de 2"

* 2 uniones dreck de 1/2"

* 11 acoples machos de 1/2"

* 1 tapón de 1/2" para acoplé macho de 1/2"

* 4 codos de 1/2"

* 5 tee de 1/2"

* 2 llaves de paso de bola de 1/2"

* 50 centímetros de tubería galvanizada de 1/2" con rosca en ambos extremos

* 1 frasco en plástico transparente, sin tapa, de un galón de capacidad

* 1 rollo de teflón

* 1 tubo de silicona

* 1 frasco de limpiador y uno de pegante soldadura para pvc





* 6 unidades de síntesis de transparente de secado rápido

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los resultados experimentales de los parámetros fisicoquímicos en el laboratorio como son los sólidos, la demanda química de Oxígeno (DQO) y el análisis de la actividad metanogénica (AM) determinará la eficiencia del proceso en el biodigestor y mostrará si es apta para cualquier tipo de biomasa en cualquier condición de funcionamiento.

4.1. Sólidos en suspensión Volátiles (SSV)

En la tabla 3 se puede observar los resultados obtenidos de los sólidos en unidades de mg/l. La calidad del efluente resultante de la biodigestión del estiércol de res que entra al biodigestor, varía de acuerdo con la cantidad de sólidos sedimentables totales contenidos en ésta, que representa un 62% de los sólidos totales. Por lo tanto, se puede afirmar que la cantidad de sólidos que entran al biodigestor son suficientes para alimentar a los microorganismos responsables de la biodigestión y en consecuencia, entre mayor sea la concentración de sólidos totales mayor es el contenido de nutrientes en el efluente.

Tabla 3.- Resultados obtenidos de los sólidos

Parámetro	MSF (mg/l)
SST	37655
STF	2005
STV	35650
Parámetro	MF (mg/l)
SDT	14295
SDF	2865
SDV	11430
Parámetro	Resultados (mg/l)
SST	23360
SSF	860
SSV	24220

Los Sólidos en Suspensión Volátiles representan un 64% respecto a los Sólidos

Totales, lo cual indica una alta eficiencia en el proceso de biodigestión, permitiendo obtener elevadas concentraciones de biogás.

4.2. Evaluación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Se ilustra en la tabla 4 una reducción del 70% en la demanda química de oxígeno, después de haber sido sometido al proceso de fermentación anaeróbica. Esto indica que la actividad de los microorganismos, así como las condiciones del ambiente anaerobio, fue responsable de la degradación, reduciendo su actividad y con ello el consumo de oxígeno. Por ser este parámetro un indicador de contaminación, que mide la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica degradable, así como también los restos de materiales fibrosos, ligninas y otros; los valores obtenidos se encuentran dentro del un rango óptimo para una conversión a biogás deseable con respecto al alimento.

Tabla 4.- Resultados de la DQO inicial y final

DQO	Resultados (mgO ₂ /l)
Inicial	7900
Final	2360
Eficiencia	70.12%

4.3 Actividad metanogénica

La evolución de la actividad metanogénica durante el proceso de digestión se puede observar en la figura 2. Se puede ver inicialmente para las dos primeras horas que no hay volumen desplazado, al cabo de las tres horas la columna de aguas se ha desplaza 72 ml y se alcanza un máximo de desplazamiento de 311 ml a la cuarta hora después de haber iniciado el proceso y finalmente se observa un descenso de 264 ml en la quinta hora. Por consiguiente, a la cuarta hora se alcanza la máxima producción de biogás por hora que corresponde a cada kilogramo de sólidos volátiles alimentados al biodigestor, indicando que toda la materia orgánica se ha transformado biológicamente para obtener una producción de 82,7 ml/h de biogás.



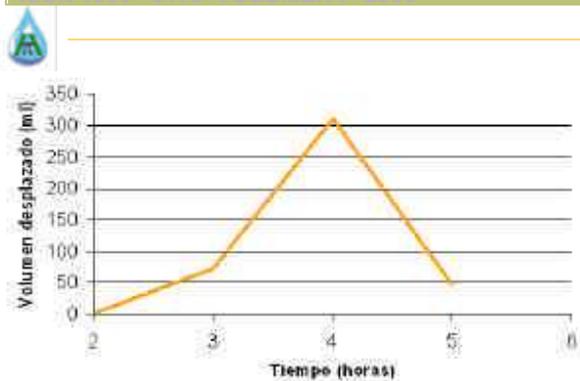


Figura 2. Evolución de la Actividad Metanogénica

4.4 Evaluación del pH

La evaluación del pH en el proceso de biodigestión se realizó durante el periodo comprendido entre los meses de agosto y diciembre de 2005. se pudo observar en la figura 3 las variaciones del pH que se encuentran entre 6 y 7 para la entrada y salida del biodigestor, existe una disminución bastante significativa en el pH para las semanas comprendidas 6 y 9 que corresponden a finales de del mes de septiembre y mediados del mes de octubre. Se puede afirmar para este periodo de tiempo hubo un aumento en la acidez existente en el biodigestor inhibiendo fuertemente la actividad de las bacterias metanogénicas y por lo tanto la producción total de biogás. A demás, al no existir un sistema de agitación mecánico la distribución de la biomasa no fue uniforme y por ende se observan dichas variaciones en el pH llegándose a formar altas concentraciones de espumas por encima del lodo que inhiben la producción de gas. Sin embargo en las semanas posteriores se observó una corrección del pH, presentando un rango optimo de operación entre 6,6 a 7,0 que es el mejor para que los microorganismos realicen los procesos de digestión anaerobia.

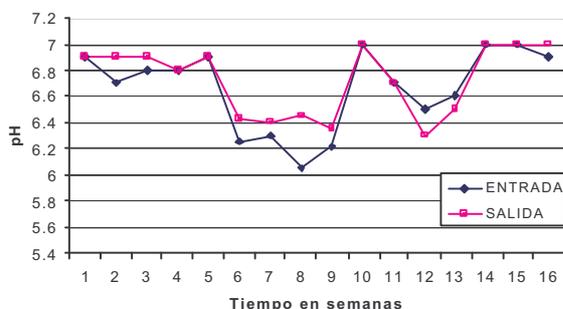


Figura 3. Evolución del pH a la entrada y salida de biodigestor

5. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados obtenidos del diseño y evolución del biodigestor de canecas en serie, se pueden destacar las siguientes conclusiones:

-A la vista de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta la metodología del diseño se procedió a la construcción del biodigestor de canecas en serie, con la tubería de transporte del biogás, válvula de seguridad, filtro para ácido sulfhídrico, el quemador o estufa y por último iniciar con el llenado del mismo con la porquinaza relación 1:1,5. Pero por motivos de falta de tiempo para comprobar la existencia de biogás no fue posible determinar eficiencia de este sistema y realizar el laboratorio de los parámetros fisicoquímicos de la mezcla.

-Con la comprobación de la existencia de biogás era la oportunidad de evaluar las variables Físico-Químicas al proceso de biodigestión como los Sólidos Suspendidos Volátiles que representan un 64% respecto a los sólidos totales indicando una eficiencia alta al proceso de biodigestión y permitiendo obtener elevadas concentraciones de biogás, la DQO que dio como indicios una buena actividad de los microorganismos en el ambiente anaeróbico removiendo un 70% de la carga y enmarcándolo dentro de un rango optimo para una conversión a biogás, la actividad metanogénica que se dio en el proceso tuvo una buena evolución, debido a que la cantidad de materia orgánica se había transformado biológicamente en sólidos volátiles para obtener una producción de biogás del 82,7 ml/h.

-Este trabajo está enfocado a desarrollar una alternativa de solución al proceso de biodigestión, a la obtención de biogás y bioabono para ser luego utilizados como combustible en el caso del metano para la cocción de los alimentos de los mismos cerdos y otros animales que lo necesiten, y el biosólido para la recuperación de suelos o aplicado directamente a las plantaciones como pastos u hortalizas en forma de suspensión o someterse a secado para su posterior uso como abono orgánico.





REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA (1995). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th edition. American Public Health Association, Washington, D.C:

Botero, B.M. y R.P. Thomas. 1987. Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.

Bruce, A. Kouzeli-Katsiri y P.J. Newman. Anaerobic digestion of sewage sludge and organic agricultural wastes. Elsevier. New York.

CEMAT. Centro Mesoamericano de Estudios sobre Tecnología Aplicada. 1977. Planta de biogas a pequeña escala de la India. Handbook of Appropriate Technology of the Canadian Munger Foundation. Guatemala, Guatemala.

EL BIOGAS Y SUS APLICACIONES. Pág. 11 - 18.

Feigin, A., I. Ravina y J. Shalnet. 1991. Irrigation with treated sewage effluent. Management for environmental protection. Adv. Ser. Agric. Sci. 17: 60-68. Springer-Verlag. Berlin, Germany.

Kennedy, J.K. y D.V. Berg. 1982. Anaerobic digestion of piggery waste using a stationary fixed film reactor. Agric. Wastes 4: 151-158.

Mandujano M., I. 1981. Biogás: Energía y fertilizantes a partir de desechos orgánicos. Manual para el promotor de la tecnología. Organización Latinoamericana de Energía. Cuernavaca, Morelos, México.

Marty, B. 1984. Microbiology of anaerobic digestion. pp. 72-85. In: A.M.

McCaskey, A.T. 1990. Microbiological and chemical pollution potential of swine waste. pp. 12-32. In: Memorias del Primer Ciclo Internacional de Conferencias sobre Manejo y Aprovechamiento de Estiércol de Cerdos. CINVESTAV.

Noyola A. y Monroy O. 1994. Experiencias y expectativas del tratamiento de residuales porcinos en México. Universidad Autónoma Metropolitana. Iztapalapa. pp. 331-340. In: III Taller y Seminario Latinoamericano "Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales". Montevideo, Uruguay.

Prasad C. R., Krishna Prasad K, Reddy A., Biogás plants: prospects, problems and tasks. Economic and Political Weekly Special number august 1974, pp 1347-1364.

Salazar G., G. 1993. Los digestores: Una alternativa energética en la porcicultura y un medio para evitar la contaminación. SARH-INIFAP-CIPAC. Campo Experimental Centro de Jalisco. Guadalajara, Jalisco, México.

Soria F., M., J. Tun S., A. Trejo R. y R. Terán S. 1994. Producción de hortalizas en la península de Yucatán.

Soubes, M. 1994. Biotecnología de la digestión anaerobia. pp. 136-148. In: III Taller y Seminario Latinoamericano "Tratamiento de Aguas Residuales". Montevideo, Uruguay.

Tchobanoglous, G. y E.D. Schoeder. 1985. Water quality: Characteristics, modeling, modification. Addison-Wesley. Reading, MA.

Vázquez B., E. y A. Manjarrez R. 1993. Contaminación del agua subterránea por la actividad porcícola. Tecnología del Agua (España) 109: 38-43.

Verastegui L., J. 1980. El biogas como alternativa energética para zonas rurales. OLADE (Organización Latinoamericana de Alternativas de Energía). Boletín Energético del Ecuador 14: 57-94.

Viñas, M. 1994. Criterios de diseño y escalado de reactores anaerobios. pp. 111-123. In: III Taller y Seminario Latinoamericano "Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales". Montevideo, Uruguay

Torres, D. María. Un Biodigestor de Boñiga de Cabra Calefaccionado con Colectores Planos.

