



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA

TRABAJO DE GRADUACION

**Evaluación de la producción de biogás y porcentaje de
descontaminación de dos Biodigestores tubulares plásticos
alimentados con estiércol porcino y bovino en la Hacienda
Santa Rosa UNA – Managua**

AUTORES

Br. Noelia del Carmen Averruz Siles

Br. René Antonio Cruz Aguirre

ASESOR

Ing. MSc. José Adolfo González Sobalvarro

Managua, Nicaragua

Junio, 2015



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA

TRABAJO DE GRADUACION

Evaluación de la producción de biogás y el porcentaje de descontaminación de dos Biodigestores tubulares plásticos alimentados con estiércol porcino y bovino en la Hacienda Santa Rosa UNA – Managua

AUTORES

Br. Noelia del Carmen Averruz Siles

Br. René Antonio Cruz Aguirre

ASESOR

Ing. MSc .José Adolfo González Sobalvarro

Presentado a la consideración del Honorable tribunal
examinador como requisito para optar al grado de Ingeniero
Agrícola

Managua, Nicaragua,

Junio, 2015

INDICE DE CONTENIDO

SECCION	PÁGINA
DEDICATORIA	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
INDICE DE CUADROS.....	iv
INDICE DE FIGURAS.....	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
I INTRODUCCIÓN.....	1
II OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
III MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
3.1 Ubicación del área de estudio.....	4
3.2 Descripción de instalación de los biodigestores.....	4
3.3 Materiales de construcción.....	5
3.4 Instalación de los Biodigestores.....	5
3.5 Descripción de los biodigestores y fuentes de estiércol.....	6
3.6 Variables evaluadas.....	6
3.6.1 Cantidad de materia orgánica.....	6
3.6.2 Adición de agua	7
3.6.3 Producción de biogás.....	7
3.6.4 Producción de bioabono.....	7
3.6.5 Eficiencia del sistema de reciclaje.....	7
3.6.6 Temperatura del material en ambas cajas.....	7
3.6.7 DBO5 del material en caja de entrada y salida.....	8
3.6.8 pH del material en ambas cajas.....	8
3.7 Análisis estadístico.....	8
3.8 Análisis de laboratorio.....	8
3.9 Manejo del experimento.....	9
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	10
4.1 Producción de estiércol.....	10
4.2 Adición de agua.....	11
4.3 Producción de biogás.....	12

4.4 Producción de efluente.....	13
4.5 Porcentaje de remoción de coliformes fecales.....	14
4.6 pH.....	15
4.7 DBO.	17
4.8 Temperatura.....	18
4.9 Porcentaje de humedad.....	19
V CONCLUSIONES.....	21
VI RECOMENDACIONES.....	22
VII LITERATURA REVISADA.....	23
VIII ANEXOS.....	26

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a DIOS PADRE TODO PODEROSO por haberme dado la vida y permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres Noel Averruz y Martha Lorena Siles que estuvieron siempre animándome a seguir adelante, con su esfuerzo y apoyo me ayudaron a culminar esta meta propuesta.

A mi princesita la luz de mi ser; mi bella hija Thaiz Itzayana Cruz Averruz, quien será una gran persona con muy buenos valores y con un futuro brillante, en lo cual quiero ser parte para que pueda lograrlo.

A mi profesor y tutor de tesis Ing. MSc José Adolfo González Sobalvarro quien se merece todo el agradecimiento por su esmero, paciencia, apoyo y tomar parte de su valioso tiempo para que lográramos concluir este trabajo de tesis.

A mi familia en general por compartir momentos buenos y malos de la vida y apoyarme incondicionalmente.

Br.Noelia del Carmen Averruz Siles

DEDICATORIA

Agradezco primeramente a DIOS por darme las fuerzas de seguir adelante en mis estudios y metas.

A mi señora madre Cristina Aguirre que con su esfuerzo y sacrificio incondicional me apoyó a culminar mi carrera.

A mi hermosa hija Thaiz Itzayana Cruz Averruz quien es mi razón de ser.

A mi profesor y tutor de tesis MSc José Adolfo González Sobalvarro quien se merece todo el agradecimiento por su esmero, paciencia, apoyo y tomar parte de su valioso tiempo para que lográramos concluir este trabajo de tesis.

Br. René Antonio Cruz Aguirre

AGRADECIMIENTO

Primeramente a DIOS por ser nuestro guía y darnos las fuerzas necesarias día a día.

A nuestros padres por darnos el privilegio de coronar una carrera universitaria.

En especial agradecemos al Ing. MSc José Adolfo González Sobalvarro por sus aportes tan valiosos, dedicación y paciencia que ayudaron a la realización y culminación de este trabajo.

Nuestro más sinceros agradecimientos al personal docente de la Universidad Nacional Agraria en especial a la Facultad de Agronomía quienes impartieron sus enseñanzas y compartieron sus conocimientos durante los cinco años de estudios universitarios, y a la Facultad de Ciencia Animal que dio alojamiento para llevar a cabo nuestros ensayos para dicha investigación.

Br. Noelia del Carmen Averruz Siles
Br. René Antonio Cruz Aguirre

INDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1. Promedios diario para las variables: adición de agua, producción de estiércol, de gas y efluente.....	12
2. Coliformes fecales en los tratamientos evaluados.....	15

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Dimensiones de la fosa para un biodigestor plástico. Fuente: CIPAV, 1995.....	4
2. Esquema de las cajas de entada y salidas con sus respectivas dimensiones. Fuente: CIPAV, 1995.....	5
3. Adición de Estiércol proveniente de animales porcino y bovino.....	10
4. Promedio de adición de Agua en los dos Biodigestores	11
5. Producción de Biogás proveniente de estiércol porcino y bovino.....	13
6. Promedio de producción de efluente	14
7. Promedio de la medición del pH en afluente porcino y bobino.....	16
8. Promedio de la medición del pH en efluente porcino y bovino.....	16
9. Promedio de la medición del DBO (mg/l) en Biodigestor bovino.....	17
10. Promedio de la medición del DBO (mg/l) en Biodigestor porcino.....	18
11. Promedio de la medición de temperatura en Biodigestor Bovino.....	18
12. Promedio de la medición de temperatura en Biodigestor porcino.....	19
13. Porcentaje de humedad en Biodigestor Bovino.....	19
14. Porcentaje de humedad en Biodigestor Porcino.....	20

INDICE DE ANEXOS

ANEXOS	PÁGINA
1. Tablas de registro utilizadas en la toma diaria de datos.....	27
2. Porcentaje de nitrógeno, fosforo y potasio del estiércol porcino y bobino.....	29
3. Fotos de los Biodigestores.....	30
4. Glosario.....	34

RESUMEN

La presente investigación se efectuó en la Hacienda Santa Rosa Facultad de Ciencia Animal (FACA) de la Universidad Nacional Agraria (UNA- Managua) localizada en el Km 13 carretera norte, desvío a la comunidad de Sabana Grande, Managua, Nicaragua; ubicada a los 86°09'36" longitud oeste y los 12° 08' 15" latitud norte con una altitud de 56 msnm con precipitación anual de 1,132.07 mm., temperatura anual de 27.08 °C, una humedad relativa de 73.2%.

La finalidad de esta investigación fue evaluar la producción de biogás en Biodigestores tubulares plásticos alimentados con estiércol porcino y bovino respectivamente y el porcentaje de descontaminación del efluente. Este estudio se inició en el mes de noviembre del año 2008 y finalizó en enero del 2009. Para este experimento se utilizaron dos Biodigestores tubulares plásticos, para instalarlos previamente se excavó una fosa en suelo firme tomando como dato un total de 20 cerdos distribuidos en dos corrales, los cuales tenían un peso entre 20 a 30 kg, y 10 bovinos con un peso promedio de 400 kg. Durante el desarrollo del experimento se midieron las variables. Cantidad de materia orgánica, Adición de agua, Producción de biogás, Producción de bioabono (efluente), eficiencia del sistema de reciclaje, temperatura del material en ambas cajas, oxígeno disuelto en el agua (DBO5) del material en caja de entrada y salida, pH del material. Para las variables producción de biogás, cantidad de estiércol y agua (afluente) y (efluente) producido se realizó una prueba de "t student" Una vez instalado los biodigestores, se iniciaron todas las mediciones dando seguimiento para determinar el tiempo de retención hidráulica.

Palabras claves: Biogás, Biodigestores, afluente, efluente

ABSTRACT

This research was conducted in the experimental farm of Santa Rosa Animal Science Faculty (FACA) of the National Agrarian University (UNA-Managua) located at Km 13 North Road, turned right to Sabana Grande, Managua, Nicaragua, located at $86^{\circ} 09'36''$ W and $12^{\circ} 08'15''$ north latitude and altitude 56 m the annual rainfall 1132.07 mm., annual temperature 27.8°C , and relative humidity of 73.2% the purpose of this research was to evaluate the production of biogas digesters tubular fed plastic pig and cattle manure respectively and the degree of effluent decontamination, the study began in November 2008 and ended in January 2009. For this experiment was used two plastic tubular biodigestores to install previously dug a pit in firm ground taking as input a total of 20 pigs divided into two pens, which had a weight between 20-30 kg, and 10 cattle weighing average 400 kg. During the course of the experiment were measured quantity variables organic matter, adding water, production of biogas, biofertilizer production (effluent), efficiency of the recycling system, material temperature in both cases, dissolved oxygen in water (BOD5) the material inlet and outlet box, pH of the material. For variables biogas production, amount of manure and water (influent) and (effluent) was produced proof "student t" biodigesters Once installed, all measurements were started following up to determine the hydraulic retention time.

Keywords: Biogas digesters, afluent, effluent

I. INTRODUCCIÓN

Resulta necesario encontrar fuentes de energía alternativa, basada en la mejor utilización de recursos locales que, mediante la utilización de una tecnología apropiada (como es el Biodigestor) aseguren el suministro de combustibles baratos y accesibles, que sirvan para devolver al suelo los nutrientes que este necesita y preserven el medio ambiente de la contaminación por el uso irracional de pesticidas y fertilizantes químicos y deforestación.

La falta de leña para cocinar en diferentes regiones hace a estos sistemas interesantes para su utilización, divulgación y diseminación a pequeña y gran escala. Las familias dedicadas a la agricultura, suelen ser propietarias de pequeñas cantidades de ganado (dos, tres vacas o cerdos) y pueden, por tanto, aprovechar el estiércol para producir su propio combustible y un fertilizante natural mejorado. Se debe considerar que el estiércol acumulado cerca de las viviendas supone un foco de infección, olores y moscas que desaparecerán al ser introducido el estiércol diariamente en el biodigestor familiar (Wikipedia, la enciclopedia libre).

En los hogares pobres de los países en desarrollo, la leña, el carbón vegetal, y otros combustibles sólidos (principalmente residuos agrícolas y carbón) se queman a menudo en fogones abiertos o estufas de mal funcionamiento. La combustión incompleta libera pequeñas partículas de otros componentes cuya nocividad para la salud humana en el ambiente del hogar se ha demostrado (www.fao.org/docrep/009/).

También es importante recordar la cantidad de enfermedades respiratorias que sufren, principalmente las mujeres y los niños, por la inhalación de humo al cocinar en espacios cerrados con leña. La combustión del biogás no produce humos visibles (los cuales además no son tóxicos) y su carga en ceniza es infinitamente menor que el humo proveniente de la quema de madera.

El uso de los biodigestores podría contribuir a la reducción de los problemas de contaminación de las aguas residuales por excretas, mantener un equilibrio ambiental y mejorar la estructura del suelo (www.aaporcinos.com.ar).

Un Biodigestor es un sistema natural el cual posee un ducto de entrada (afluente) y un ducto de salida (efluente) que es alimentado con estiércol, donde aprovecha la digestión anaeróbica (en ausencia de oxígeno) de las bacterias que ya habitan en el estiércol, para transformar este en biogás y fertilizante. El biogás puede ser empleado como combustible en las cocinas, o iluminación, y en grandes instalaciones se puede utilizar para alimentar un motor que genere electricidad. El fertilizante, llamado bioabono, inicialmente se ha considerado un producto secundario, pero actualmente se está considerando de la misma importancia, que el biogás ya que provee a las familias campesinas de un fertilizante natural que mejora fuertemente el rendimiento de las cosechas (Wikipedia, la enciclopedia libre).

La finalidad del trabajo de graduación es evaluar la utilidad que tienen para la familia campesina los biodigestores tubulares plásticos alimentados con estiércol porcino o bovino, ya que con esta tecnología natural mejoran su bienestar, asegurando una vida más saludable, y por ende preservando nuestros recursos naturales, contribuyendo no sólo a mejorar y preservar nuestro medio ambiente, sino también fomentar alternativas para el futuro de nuestras generaciones.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Aportar al conocimiento de la producción de biogás en biodigestores tubulares plásticos alimentados con estiércol porcino y bovino en la Hacienda Santa Rosa UNA -MANAGUA y el porcentaje de descontaminación del efluente.

2.2. Objetivos específicos

- Medir la producción diaria de biogás en los 2 biodigestores.
- Determinar el gasto diario de agua en el sistema de biodigestores tubulares plásticos.
- Determinar la producción diaria de bioabono o efluente producido por cada sistema.
- Reciclar el estiércol producido por los bovinos y cerdos existentes en la Hacienda, haciendo un uso eficiente de este, como alternativa para la preservación de nuestro medio
- Determinar el grado de descontaminación del efluente de los biodigestores alimentados con estiércol bovino y porcino.
- Promover la implementación de biotecnologías en la Universidad Nacional Agraria mediante la construcción de biodigestores tubulares plásticos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del área de estudio

Este estudio se inició en el mes de noviembre del año 2008 y finalizó en enero del 2009. Los biodigestores de la presente investigación se encuentran ubicados en la hacienda Santa Rosa de la Universidad Nacional Agraria (UNA), localizada en el km. 13 carretera norte, desvío a Sabana Grande, Managua, Nicaragua; ubicada a los 86°09'36" longitud oeste y los 12°08' 15" latitud norte con una altitud de 56 msnm con precipitación anual de 1,132.07 mm., temperatura anual de 27.08 °C, una humedad relativa de 73.2%.

3.2 Descripción de instalación de los biodigestores

Para este experimento se utilizó dos biodigestores tubulares plásticos. Para instalarlos previamente se excavó una fosa en suelo firme la cual sirve de aislante térmico, de protección y sostén, evitando así que las paredes se derrumben. Sus dimensiones son de 9.0 metros de largo por 1.10 metros de ancho en la parte superior, y 0.90 metros en la parte inferior (base), de tal manera que se forme un talud, tal como se ilustra en la Figura 1.

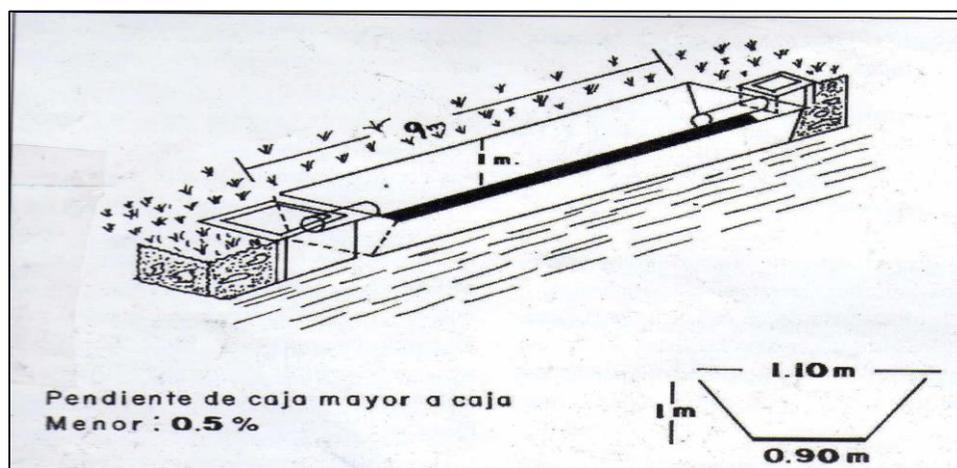


Figura 1. Dimensiones de la fosa para un biodigestor plástico. Fuente: CIPAV, 1995.

A la entrada y salida del biodigestor se construyen dos cajas. Por la primera entra el material que viene de los corrales sin procesar (afluente), por la segunda sale el material procesado (efluente) o bioabono.

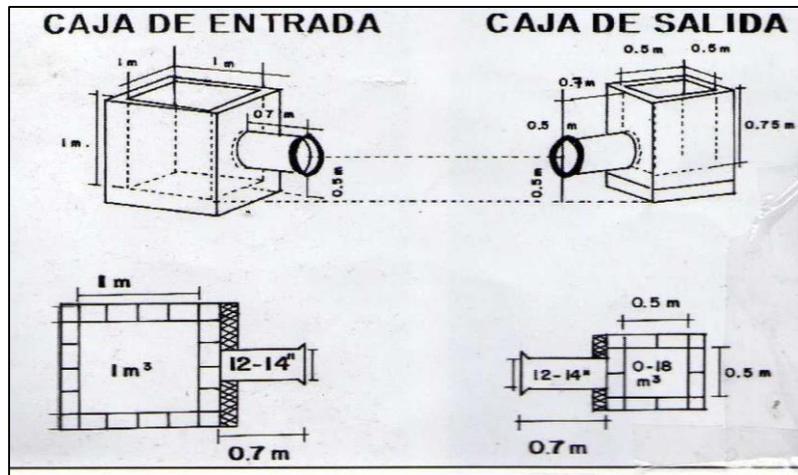


Figura 2. Esquema de las cajas de entrada y salida con sus respectivas dimensiones.
Fuente: CIPAV, 1995.

3.3 Materiales de construcción

Los materiales que se utilizaron para la instalación de estos biodigestores fueron dos tubos PVC de 1 metro de longitud y de 8, 10, 12 o 14 pulgadas de diámetro (20.32 cm, 25.4 cm, 30.48 cm, o 35.56 cm respectivamente). Una T de PVC de 1 pulgada de diámetro (2.54 cm), tubos de PVC de 1 pulgada de diámetro (2.54 cm) para conectar el biodigestor al reservorio y este a los quemadores de gas (su cantidad depende de la distancia entre ambos), se utilizó accesorios de PVC como adaptadores, codos T, y llaves de pase. Dos arandelas de neumático de 20 cm de diámetro con un agujero en el centro de una pulgada, dos arandelas de 19 cm de diámetro, un agujero al centro de una pulgada, puede ser acrílica, bronce o de cualquier material que no se oxide. Fajas de neumáticos de 5 cm de ancho y 8 a 10 metros de longitud. Otros tipos de materiales como tijeras para cortar hule, pegamento para PVC, dos galones plásticos vacíos.

3.4 Instalación de los Biodigestores

Teniendo ya lista la fosa con las cajas de entrada y salida (ver fig. 2), se procedió a instalar el biodigestor. Previamente se coloca el plástico en un lugar liso sin peligro de daño, luego se trazan dos líneas de un metro de los extremos hacia adentro y a la mitad de la longitud de la bolsa tubular. Desde la parte interna del plástico se hace un orificio de 3/4 de

pulgada (se perforan las dos capas de plástico) desde el interior, por el orificio, se introduce un extremo de tubo PVC con rosca de una pulgada.

Luego se procedió a instalarlos en la fosa atando con las fajas de neumático, los extremos del tubo plástico a los tubos de PVC de las cajas, doblando para ello el plástico en pliegues. Una vez hecho esto, se procede a conectar el biodigestor con el reservorio donde se almacenara el gas producido.

Antes de la suministración del material es necesario inflar la bolsa del biodigestor con humo o aire, esto para acomodarlo de manera correcta que este quede sin arrugas o quiebres para asegurarse que no tenga ningún tipo de daño que afecte su funcionamiento.

3.5 Descripción de los biodigestores y fuentes de estiércol

Los biodigestores fueron de forma tubular plástica elaborados de polietileno con filtro solar contra rayos ultravioletas, con una capacidad de 9m³, alojados dentro de una fosa de 10 metros de longitud por 1m de alto. La caja de entrada tiene una capacidad de 1 m³ y de salida de 0.35 m³, construidas con ladrillos de barro. A cada biodigestor se le colocó un reservorio con capacidad para almacenar 3 m³ de gas, del mismo material conectado a este por la parte superior. El área donde se encontraban los biodigestores fue entechada y cercada para protegerlos de algunos factores climáticos como: la lluvia, el viento, e impidiendo también que los animales de la finca y sus alrededores causaran daños.

La fuente de estiércol fue: a) de cerdos, los cuales fueron alojados en corrales de 7.5 m², localizados de Sur a Norte. Los corrales se conectaron a la caja de entrada del por medio de un tubo PVC de 4 pulgadas de diámetro. b) De bovinos, y éstos se encontraban alojados en corrales cercanos al biodigestor instalado.

4.6 Variables evaluadas

3.6.1 Cantidad de materia orgánica

Es la cantidad promedio de estiércol (kg/d) adicionado. Esta consistió en la recolección diaria de excremento, el cual posteriormente era pesado en una balanza, seguidamente lo depositábamos en la caja de entrada, lo cual se realizó a una hora definida (7: 00 am).

3.6.2 Adición de agua

Fue el suministro de agua (l/d) al biodigestor lo obtuvimos mediante la relación 1: 4 lo que significa que por 1 libra de excremento se depositaban 4 litros de agua. Se calculó el agua que se ocupó en el lavado con un medidor de agua potable instalado en la caja de entrada. El suministro de agua en los biodigestores porcino, y bovino, cubrió un 75% del volumen total, procedía de la recolección en una pila que se encontraba cerca del área de trabajo.

3.6.3 Producción de biogás

Es la Cantidad de biogás (m^3/d) producido. Se evaluó la obtención de gas durante el proceso de biodigestión, para lo cual se instaló un medidor de gas natural con una presión de 10 kPa entre el biodigestor y el reservorio de gas, se registraron los datos cada 24 horas.

3.6.4 Producción de bioabono (efluente)

Se midió en (l/d) la cantidad de efluente producido al final del proceso de biodigestión para lo cual se utilizó un medidor de agua potable. Fue analizado en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) donde se obtuvo el análisis microbiológico.

3.6.5 Eficiencia del sistema de reciclaje

Es el porcentaje en el cual se logra disminuir la contaminación del producto, considerando los análisis microbiológicos de la entrada (afluente) y salida (efluente), el DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días) el que se mide en ppm, además de la temperatura (°C) y el pH para conocer la inhibición o toxicidad de las bacterias. La eficiencia de los biodigestores se valoró mediante el grado de descontaminación que existe entre el afluente y el efluente. También se valoró mediante la producción diaria de biogás.

3.6.6 Temperatura del material en ambas cajas

Se tomaron los datos semanalmente de temperatura con el instrumento YSI 55 Dissolved Oxigen and temperatura en afluente y efluente.

3.6.7 DBO₅ del material en caja de entrada y salida

Se midió semanalmente el DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno) para calcular el porcentaje de descontaminación del material procesado, se hizo semanalmente para obtener el resultado del saneamiento ambiental. Este midió el oxígeno disuelto en el agua, con el instrumento YSI 55 Dissolved oxygen, en afluente y efluente.

3.6.8 pH del material en ambas cajas

Esta toma se hizo semanalmente con el instrumento pHmetro portátil de campo modelo PHep 3. El control de calidad de pH se registró semanalmente y la temperatura para saber la Inhibición o toxicidad de las bacterias que estaban interactuando.

Una vez instalado los biodigestores, se iniciaron todas las mediciones dando seguimiento para determinar el tiempo de retención hidráulica.

3.7 Análisis estadístico

Se realizó un análisis descriptivo de las variables temperatura, oxígeno disuelto y pH del material de entrada y salida, así como el análisis de laboratorio de las muestras en ambos biodigestores.

Para las variables producción de biogás, cantidad de estiércol y agua de entrada (afluente), y efluente producido, se realizó una prueba “t de student SAS” utilizando el software INFOSTAT versión 2009.

3.8 Análisis de laboratorio

Se realizaron análisis microbiológicos del material proveniente (afluente, efluente) para conocer el valor de concentración después del proceso de biodigestión, empleado con el Método Internacional: Standard Methods, 21 st 2005 decreto No 33-95 utilizado por el Laboratorio Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) – Managua.

Este análisis se hizo para cumplir con el Decreto 33-95 Disposiciones para el control de la contaminación proveniente de las descargas de aguas residuales, domesticas, industriales y agropecuarias (Asamblea Nac., junio 1995).

3.9 Manejo del experimento

El trabajo se desarrolló en la granja Santa Rosa de la Universidad Nacional Agraria, se utilizaron un total de 20 cerdos distribuidos en dos corrales, ellos tenían un peso entre 20 a 30 kg y 10 bovinos con un peso promedio de 400 kg.

El estudio se inició en el año 2008, la toma de datos se hizo diario durante un periodo de 80 días. La duración del estudio fue hasta que los cerdos alcanzaron los 90 kg de peso siendo el tiempo que duró el ensayo, anotando la información necesaria en hojas de registro.

Una vez instalados los biodigestores, el trabajo principal fue cargarlos con estiércol diariamente hasta que empezara la producción de gas, la que puede darse entre 20 a 60 días dependiendo de la cantidad así como el tipo de estiércol adicionado. La cantidad de biogás producido por un digestor dependerá, entre otras cosas, de la cantidad de desecho alimentado diariamente por los animales.

Para obtener producción diaria de biogás es necesario alimentar el biodigestor con la misma frecuencia. Si el lavado en las instalaciones para el alojamiento de animales se realiza diariamente es conveniente que el desagüe de los pisos este en conexión directa con las cajas realizando un control de este.

Las excretas sólidas contenían en promedio 15-20 % aproximadamente de materia seca. Donde ingresaban al biodigestor como una suspensión en agua del 3 al 4 % de materia seca; esto significa en términos prácticos una mezcla de cuatro partes de agua por una parte de estiércol fresco. Se pueden utilizar hasta diez partes de agua por una de estiércol, según el número y especie de animales; por ejemplo, el estiércol de cerdo es más metanogénico que el de las otras especies animales.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Producción de estiércol

La cantidad y composición del estiércol producido por las diferentes especies animales varían con el peso del animal, la cantidad y calidad del alimento que consume.

En la figura 3 se presentan los resultados de la producción de estiércol procedente de porcinos y bovinos. Se demuestra que hay diferencias estadísticas significativas, encontrando que hubo mayor producción de estiércol porcino que bovino en el mismo período de estudio, esto se debe al tipo de alimento de cada especie. Los cerdos se alimentaron con desperdicios de cocina en suficiente cantidad y concentrado como suplemento; sin embargo, los bovinos fueron alimentados con forraje y en época seca, por tanto la producción de estiércol estuvo reducida.

La cantidad promedio de estiércol producido por los cerdos fue de 28.92 kg por día obteniendo un total de 202.44 kg por semana, los que están por arriba del rango encontrado por Zelaya y Somarriba (2000) quienes encontraron promedios de 2.39 kg de estiércol por día. La cantidad de estiércol bovino producido fue de 23.26 kg por día obteniendo un total de 162.82 kg por semana.

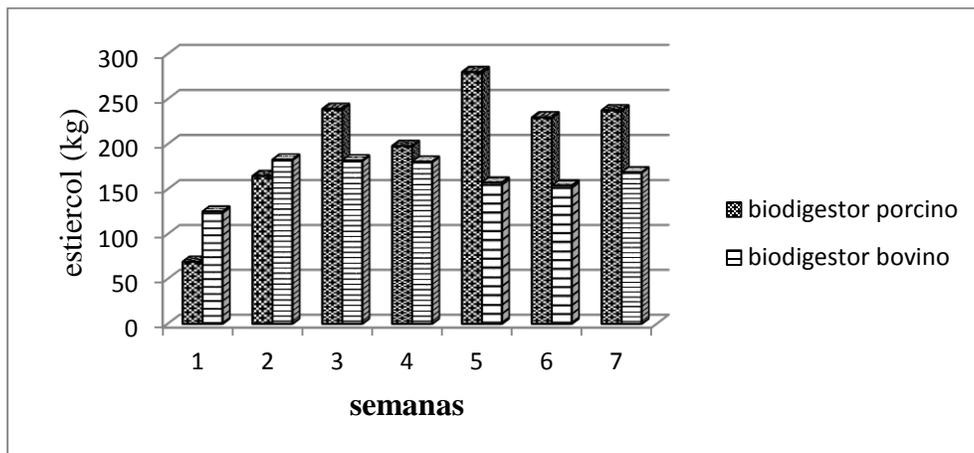


Figura 3. Adición de Estiércol proveniente de animales porcino y bovino

4.2 Adición de agua

El agua es un elemento importante para el reciclaje del estiércol y para la alimentación del biodigestor. De la relación de agua y estiércol depende en gran medida el correcto funcionamiento del biodigestor.

En el figura 4 se presentan los resultados de esta variable, donde se encontraron diferencias estadísticas significativas, siendo el biodigestor alimentado con estiércol porcino el que más demandó agua, donde se utilizó la cantidad de 249.61 litros por día obteniendo la cantidad de 1747.28 litros de agua por semana, los que sobrepasan por los datos encontrados por Zelaya y Somarriba (2000) con 224.37 litros por día esto se debe a que la producción de estiércol fue mayor en los cerdos que en los bovinos para el mismo período.

La producción de estiércol bovino fue menor dado que el tipo de alimento en ese período fue de forraje, por lo que se utilizó la cantidad de 206.53 litros de agua por día alcanzando 1445.71 litros de agua por semana por tanto su volumen fue menor. Cabe mencionar que a medida que los animales crecen producen mayor volumen de estiércol, por tanto se necesita mayor cantidad de agua para su dilución.

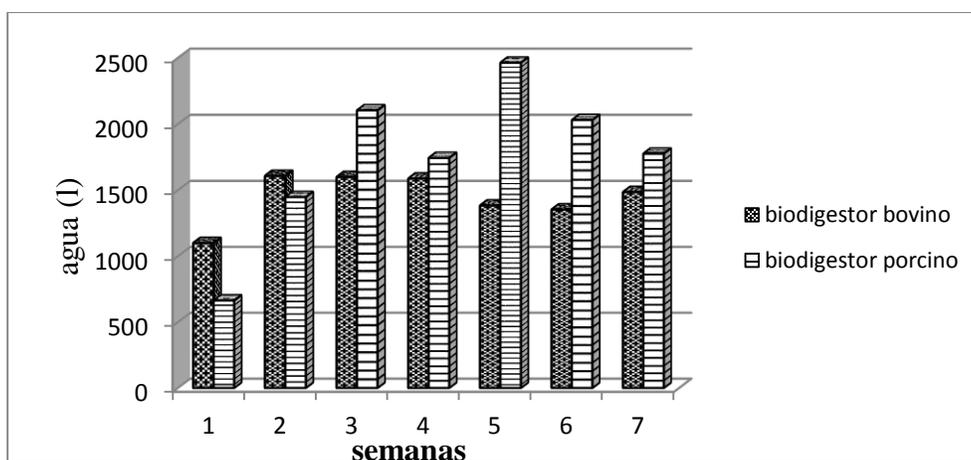


Figura 4. Promedio de adición de Agua en los dos Biodigestores

Cuadro 1. Promedios diario para las variables: adición de agua, producción de estiércol, de gas y efluente.

Variable	Promedio de Biodigestor Porcino	Promedio de Biodigestor Bovino	Diferencias Estadísticas
Agua (l/día)	249.61	206.53	43.08
Estiércol (kg/día)	28.92	23.46	5.46
Gas (m ³ /día)	0.55	0.24	0.31
Efluente (l/día)	13.42	12.92	0.5

4.3 Producción de biogás

Una forma de aprovechar esta energía es a través del proceso de la digestión animal, que utiliza la acción de diversas bacterias para generar bajo condiciones controladas un gas inflamable denominado biogás, el cual está compuesto mayoritariamente de dióxido de carbono y metano.

La producción de biogás consiste en la licuefacción y digestión de la materia orgánica, gracias a microorganismos presentes en los mismos desechos. Como producto de este proceso se obtiene un gas combustible que tiene 2/3 partes de metano y 1/3 partes de dióxido de carbono (Chará, 1995).

El proceso de descomposición de los materiales orgánicos para producir biogás es conocido como fermentación anaeróbica y consiste en tres fases: Periodo de licuefacción, periodo de acidogénesis y periodo productor de metano (TEC.1985).

Según Schanbacher *et al.* (2005), la grasa vegetal posee un alto potencial energético debido a su composición química y alto contenido de lípidos degradables por bacterias anaeróbicas utilizadas en biodigestores para la producción de biogás, las grasas vegetales pueden elevar hasta 2400 % la productividad de biogás de biodigestores operados con excretas animales.

La cantidad de litros de biogás promedio producido con sustrato porcino fue de 550 litros o 0.55 m³ diario, logrando una producción de biogás de 3850 litros o 3.85 m³ a la semana

superando los datos obtenidos por Zelaya y Somarriba (2000) quienes obtuvieron una producción diaria de 421.57 litros de biogás.

En cambio la producción de biogás promedio producido con sustrato bovino fue de 240 litros o 0.24 m³ diario, adquiriendo una producción de 1680 litros o 1.68 m³ a la semana.

En la figura 5 se presentan los resultados de la producción de biogás proveniente de estiércol porcino y estiércol bovino, obteniéndose diferencias estadísticas significativas según la prueba de “t aplicada Pr: 0.0001.

Las diferencias encontradas entre las medias entre el BDp (0,55 m³) y el BDb (0,24 m³) son significativas obteniendo una mayor producción de biogás con el BDp (biodigestor porcino).

Esta diferencia se fundamenta en que el estiércol porcino es más metanogénico (proceso productor de metano), que el estiércol bovino.

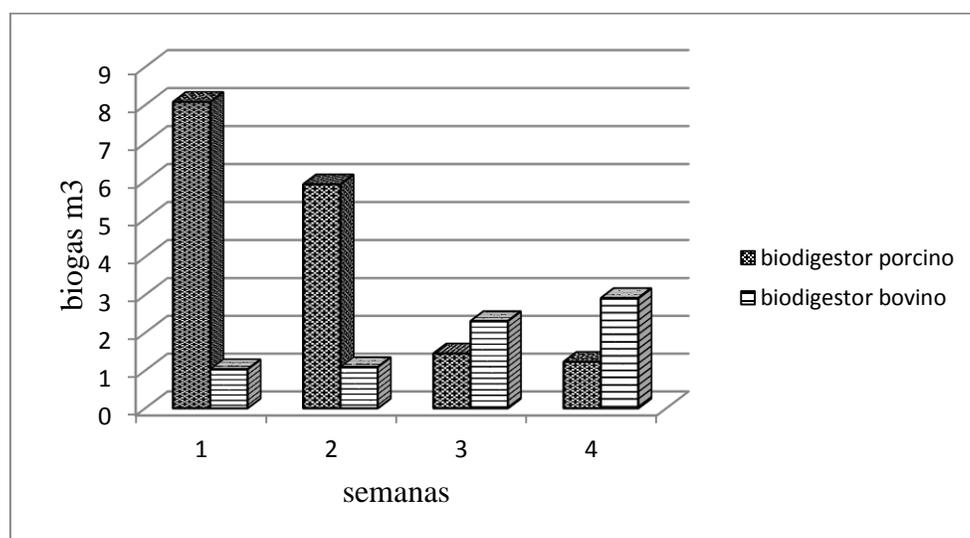


Figura 5. Producción de Biogás proveniente de estiércol porcino y bovino.

4.4 Producción de efluente

El efluente es el material líquido que se forma durante el proceso de biodigestión del sustrato (estiércol y agua) que entra al biodigestor, el mismo, es un producto con muy buenas propiedades como fertilizante orgánico (Chará, 1995).

El efluente del biodigestor es un material casi libre de elementos patógenos y sumamente ricos en minerales como nitrógeno, fósforo, calcio, zinc y otros, por lo que su uso como bioabono mejora los nutrientes y la estructura del suelo, por esto se constituye en una magnífica opción para sustituir el uso de fertilizantes químicos en la agricultura.

En la figura 6 se presentan los resultados de la producción de efluente del biodigestor porcino que fue de 14.8 litros diario, alcanzando una producción de 104.05 a la semana esto a partir de la 5ta semana encontrando diferencias estadísticas significativas $P > 0001$, superando los de Zelaya y Somarriba (2000) que fue de 13.90 litros en la 5ta semana. Esta producción de efluente está acorde con la cantidad de agua adicionada.

En el caso del biodigestor bovino la producción de efluente fue de 14.3 litros diario obteniendo una producción de 100.15 a la semana.

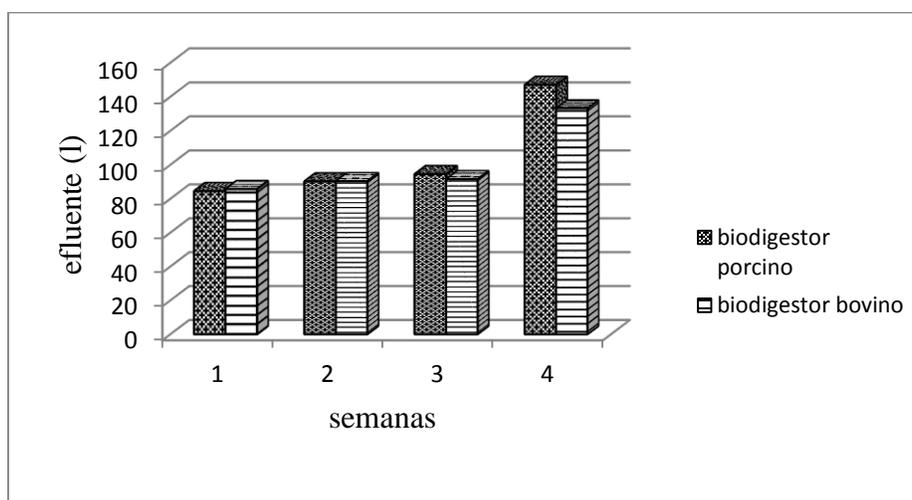


Figura 6. Promedio de producción de efluente.

4.5 Porcentaje de remoción de coliformes fecales

El análisis microbiológico realizado en muestras obtenidas de las cajas de entrada y salida del biodigestor, denotan una eficiencia del proceso de biodigestión en relación a la reducción del contenido de coliformes fecales, observándose en el cuadro 2 que el biodigestor bovino es más eficiente el proceso de remoción de Coliformes fecales con relación al biodigestor porcino, esto debido que el tipo de alimentación de las dos especies

animales son diferentes, también se tiene que tomar en cuenta que el estiércol porcino químicamente el porcentaje de nitrógeno, fosforo y potasio son más altos que el estiércol bovino (Ver anexo 2).

Cuadro 2. Coliformes fecales en los tratamientos evaluados

Tratamiento	Afluente	Efluente	% de Remoción
Biodigestor Bovino	$5.0 \cdot 10^6$	$1.3 \cdot 10^4$	99.74%
Biodigestor Porcino	$3.0 \cdot 10^6$	$2.4 \cdot 10^4$	99.2 %

Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente CIEMA-UNI. 2009.

4.6 pH

El valor óptimo para la digestión metanogénica es de 6.5 - 7.5, cuando baja de 5 ó sube de 8 puede inhibir el proceso de fermentación o incluso detenerlo. Normalmente cuando se trabaja con residuos domésticos y agropecuarios, la dinámica del mismo proceso ajusta el pH (OPS-CEPIS-1996).

De acuerdo a los datos obtenidos por Zelaya y Somarriba (2000), los promedios de pH fueron similares en ambos tratamientos 6.68 y 6.75 en la entrada y salida respectivamente, en cambio los datos obtenidos en esta investigación fue de 6.5 y 7 en la caja de entrada y salida en el biodigestor porcino y de 7 y 7.4 en la caja de entrada y salida del biodigestor bovino respectivamente.

Se puede observar en la figura 7 que para el biodigestor bovino en la segunda y tercera semana los niveles de pH aumentaron y disminuyó en la cuarta semana, esto se debió a que el estiércol en algunos momentos se adicionaba seco, en cambio para el de porcino fue hasta la cuarta semana que obtuvo un rango alto. También hay que tomar en cuenta de que el alimento siempre no es el mismo.

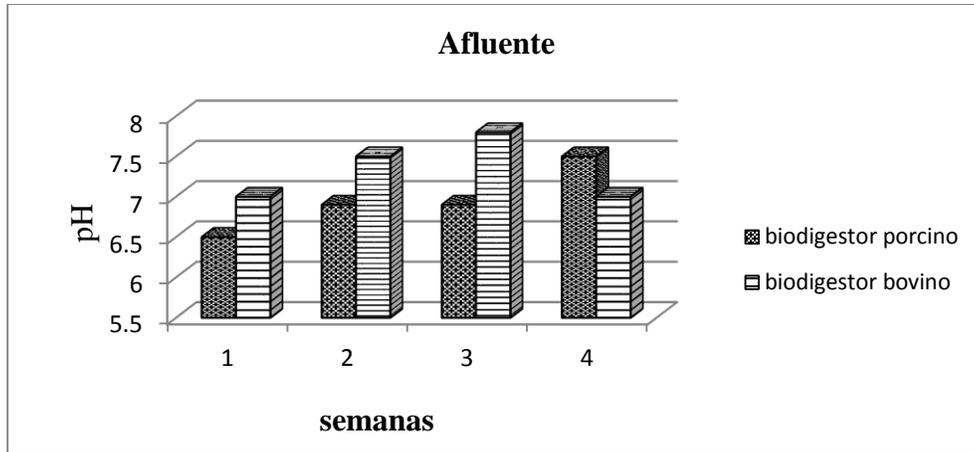


Figura 7. Promedio de la medición del pH en afluente porcino y bobino

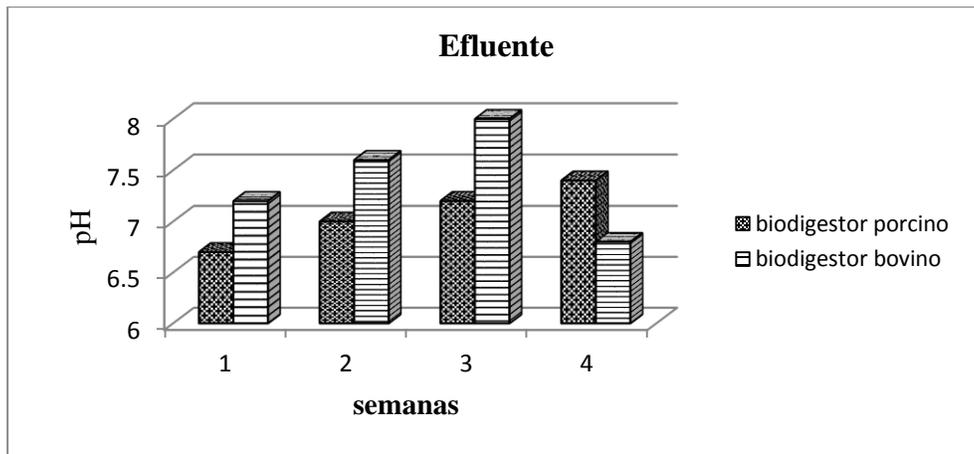


Figura 8. Promedio de la medición del pH en efluente porcino y bovino.

Una vez que se ha llenado el biodigestor, el tiempo de que tarda para obtener un pH apropiado dependerá de la temperatura del lugar donde se encuentren el biodigestor y del tipo y cantidad de materia prima a suministrársele.

4.7 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una prueba usada para la determinación de los requerimientos de oxígeno (mg/l, temperatura y porcentaje de humedad) para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas residuales; su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores.

Se midió semanalmente el DBO para calcular el porcentaje de descontaminación del material procesado, esto se realizó en el biodigestor porcino y bovino, se hizo semanalmente para obtener el resultado del saneamiento ambiental. Este midió el oxígeno disuelto en el agua, con el instrumento YSI 55 Dissolved oxygen, en afluente y efluente.

Los datos obtenidos fueron de 1.285 mg/l en el afluente y 0.982 mg/l efluente por semana en el biodigestor porcino, en cambio los del biodigestor bovino fueron de 2.63 mg/l en el afluente y 1.26 mg/l en el efluente por semana.

Lo que se logró con estos de datos obtenidos por el DBO fue un porcentaje de remoción de 99.2 % este dato es superior a los alcanzados por Zelaya y Somarriba (2000) 59.82%, y de Chará (1995) 35%. En cuanto los datos obtenidos por el DBO en el biodigestor bovino fueron con un porcentaje de remoción de 99.74 % superior al del biodigestor porcino.

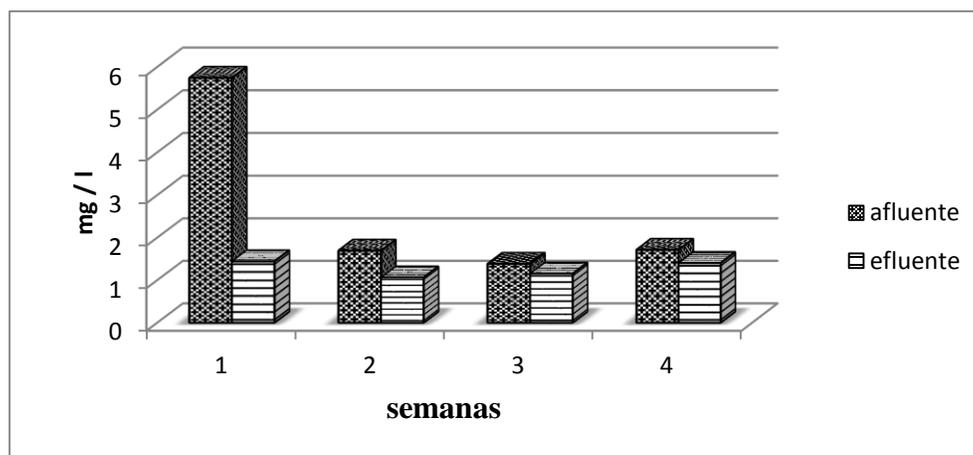


Figura 9. Promedio de la medición del DBO (mg/l) en Biodigestor bovino

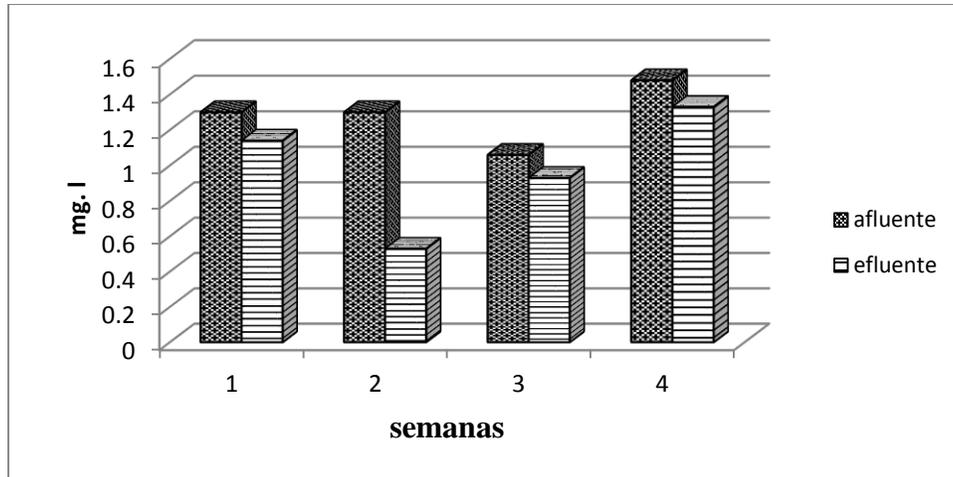


Figura 10. Promedio de la medición del DBO (mg/l) en Biodigestor porcino

4.8 Temperatura

Según los promedios de temperatura obtenidos en el biodigestor porcino en el afluente y efluente fueron de (25.9°C y de 26.3 °C) respectivamente. Estas temperaturas son inferiores a las obtenidas por Zelaya y Somarriba (2000) quienes reportan promedios de (29.2°C y 29.1°C) y similares a las reportadas por An y Preston (1999), que reportaron temperaturas de (25.8°C y 26.4°C). En cambio las temperaturas promedio obtenidas en el biodigestor bovino en el afluente y efluente fueron de (27.5°C y 26.6 °C).

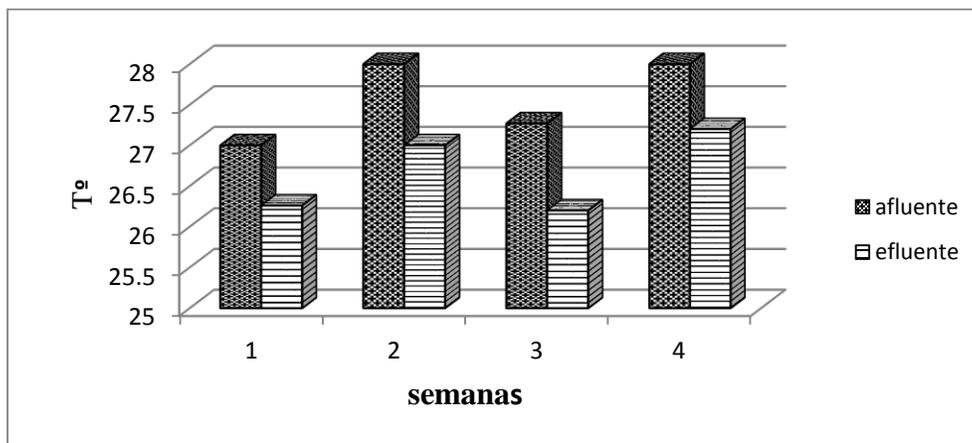


Figura 11. Promedio de la medición de temperatura en Biodigestor Bovino.

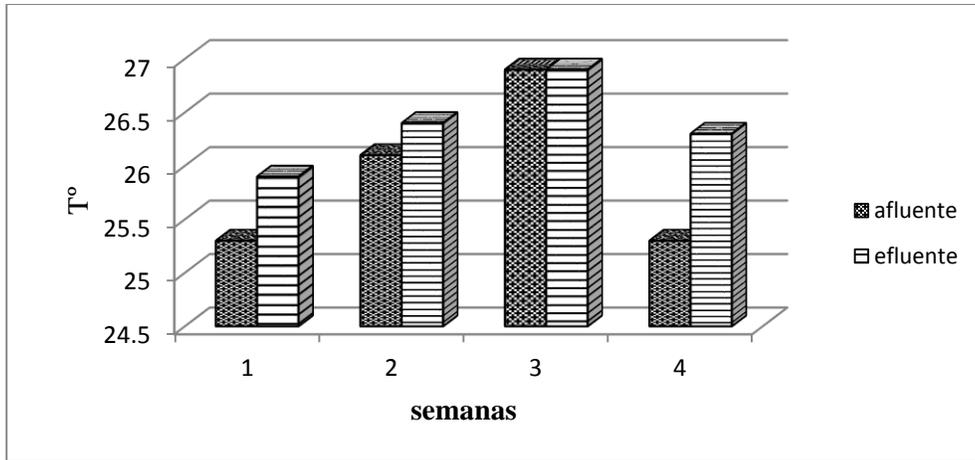


Figura 12. Promedio de la medición de temperatura en Biodigester porcino.

4.9 Porcentaje de humedad

Promedios obtenidos en el porcentaje de humedad en biodigester bovino los cuales fueron 33.5% afluente y 14.75 % efluente.

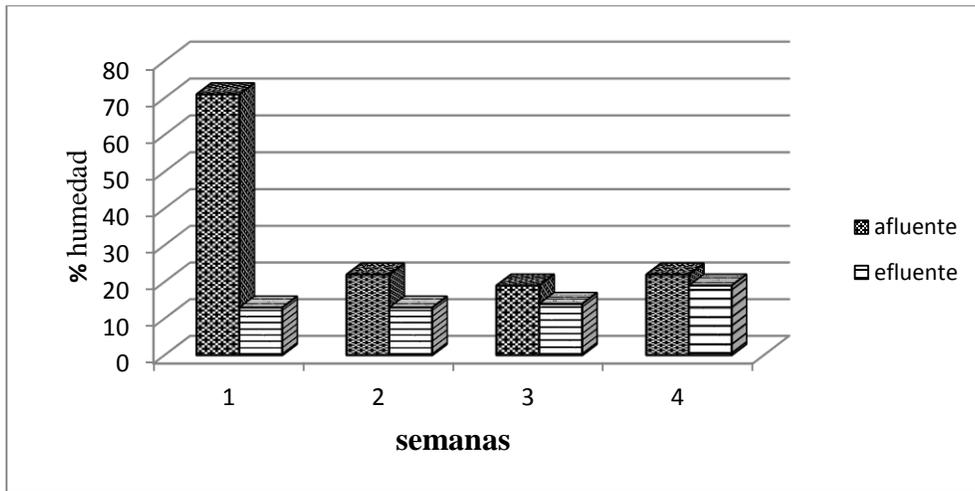


Figura 13. Porcentaje de humedad en Biodigester Bovino

Según los promedios obtenidos en el porcentaje de humedad se obtuvieron los siguientes datos en el biodigestor porcino de 15.82 % afluente y 12.17 % efluente, donde se encontró significancia $Pr > 0001$ con respecto a los datos alcanzados por el biodigestor bovino.

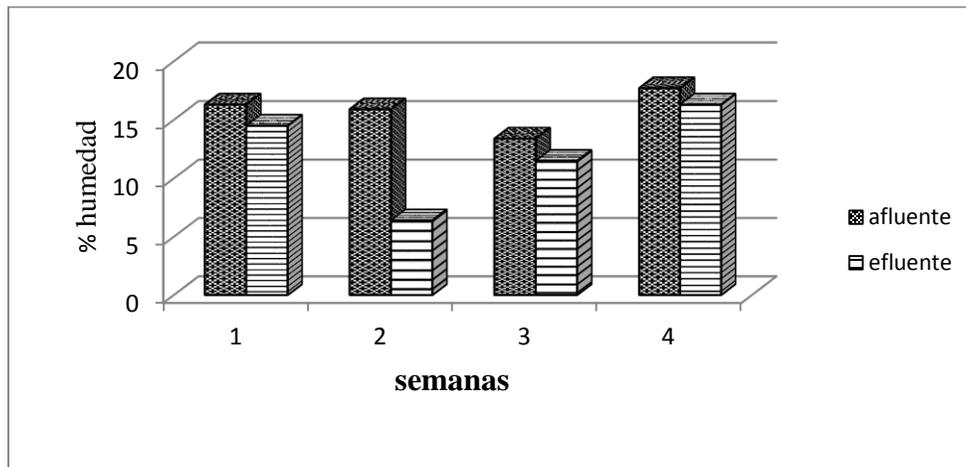


Figura 14. Porcentaje de humedad en Biodigestor Porcino

V. CONCLUSIONES

La producción de biogás fue de 550 litros diario para el biodigestor porcino y una producción de 240 litros por día para el biodigestor bovino, alcanzando mayor producción el biodigestor porcino.

La mayor cantidad de agua utilizada se obtuvo en el biodigestor alimentado con estiércol porcino, debido a que acá se produjo mayor cantidad de estiércol.

Las diferencias encontradas entre las medias entre el BDp (0,55 m³) y el BDb (0,24 m³) son significativas obteniendo una mayor producción de biogás con el BDp (biodigestor porcino).

Existieron diferencias en la producción de bioabono o efluente en los Biodigestores porcino y bovino, donde se obtuvo una producción diaria de 14.8 litros para el porcino y de 14.3 litros diario para el bovino.

En la recolección de estiércol se alcanzó reciclar la de 28.92 kg diario de estiércol porcino y de 23.26 kg diario de estiércol bovino. Esto nos representa que la alternativa de uso de Biodigestores tubulares plásticos nos ayuda a prevenir la contaminación de nuestro medio ambiente.

Se determinó que los Biodigestores alimentados con estiércol porcino y bovino funcionaron a la perfección, debido a que se pudo obtener un grado de descontaminación en el efluente producido, ya que se realizó la medición de DBO en el afluyente alcanzando la cantidad de 1.285 mg/l a la semana y en caso del efluente fue de 0.982 mg/l a la semana, lo cual nos indicó que se obtuvo un porcentaje de remoción de 99.2% en el biodigestor porcino.

En cambio la medición de DBO₅ en el biodigestor bovino demostró que el afluyente tuvo una medición de 2.63 mg/l a la semana y en el efluente de 1.26 mg/l a la semana.

En el biodigestor alimentado con estiércol bovino se obtuvo un porcentaje de remoción de 99.74%, que también aunque es mejor que el porcino, nos indica que el biodigestor contribuye grandemente a la remoción de contaminantes en su primera etapa.

VI. RECOMENDACIONES

Darle seguimiento a la instalación de los dos biodigestores ubicados en la Facultad de Ciencia Animal de esta Universidad ya que ofrecen grandes ventajas para el tratamiento de los desechos orgánicos de las explotaciones agropecuarias, además de disminuir la carga contaminante de los mismos, controlando de manera considerable los malos olores.

Adoptando este tipo de tecnología con una adecuada utilización de los biodigestores se obtienen un alto porcentaje de descontaminación de las materias.

Darles un uso debido; cargarlos a una hora definida, y protegiéndolos alrededor para evitar la entrada de animales que puedan dañarlos. Revisar periódicamente la caja de entrada que no se llene de basura, ya que esta obstaculiza el paso de la materia orgánica al biodigestor.

La utilización de los biodigestores en la hacienda Santa Rosa de la UNA –MANAGUA, pueden evitar la contaminación de las excretas producidas por los cerdos y bovinos, debido a que en las cercanías de las granjas se encuentran los comedores, aulas y oficinas. Utilización y aplicación del biofertilizante para los cultivos propios de la FACA y evitar así mismo la contaminación cuando se utiliza fertilizantes químicos.

Como consecuencia del uso del biodigestor se ha logrado la disminución en la acumulación de estiércol a los alrededores de la granja, lo que repercute directamente en la mejora de las condiciones ambientales y en la calidad de vida de las personas beneficiarias del proyecto, se disminuyeron los malos olores así como los insectos en el sector.

Es importante dar a conocer la tecnología de sistemas de tratamiento de excretas de ganado porcino o bovino utilizando biodigestores en las comunidades que lo requieran, ya que en la mayoría de nuestro país se conoce muy poco de los beneficios que tiene el tratar adecuadamente las excretas. Solo al crear conciencia en la población en general y en los funcionarios de las instituciones involucradas con el tema, se puede lograr que se le dé la debida importancia a los problemas sanitarios que generan las granjas porcinas y darles las soluciones correspondientes, demostrando que la tecnología de los biodigestores es adaptable a cualquier nivel cultural y técnico, y que además no requiere de aspectos complejos, ni compromete dependencia técnica.

VII. LITERATURA CITADA

An, B. A. y Preston, T.R. 1999. Gas production from pig manure fed at different loading rates to polyethylene tubular biodigesters. *Livestock Research for Rural Development*, Volume 11, Number 1. University of Agriculture & Forestry, Thu Duc, Ho Chi Minh City, Vietnam. pp 9.

Beteta Herrera, T, y González S, J.A. 2005. Guía técnica: Construcción y Uso de Biodigestores Tubulares Plásticos, Serie Técnica N° 7. UNA 2005, 500 Ejemplares

Biogás, Wikipedia, la enciclopedia libre. (en línea). Consultado en el 2009, disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Biogás>

BIODIGESTORES: Energías renovables.(en línea). Consultado en el 2010, disponible en <http://www.chilepotenciaalimentaria.cl/.../BIODIGESTORES-Energías-renovables>

Biodigestor – Wikipedia, la enciclopedia libre (en línea). Consultado en el 2009, disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Biodigestor>

Beneficios en el uso de Biodigestores - Universo Porcino,(en línea). Consultado en el 2014, disponible en www.aacporcinos.com.ar/.../internacionales_porcinas_01-2011_

CIPAV 1995. Biodigestor plástico de flujo continuo, generador de gas y bioabono a partir de aguas servidas. Cali. Colombia.

Chará, J. 1995. Producir y Descontaminar: Las ventajas de integrar las actividades agropecuarias con la acuicultura en condiciones tropicales. Tesis. Maestría en desarrollo sostenible de sistemas agrarios. Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. pp 88

Chará, J.D. y Pedraza, G.X. 2002a. Instalación de biodigestores plásticos de flujo continuo. In *Biodigestores plásticos de flujo continuo: Investigación y transferencia en países tropicales* Chará, J. 1ra edición. Cali, Colombia. p. 79-112

Decretos Ejecutivos 33-95.26 Asamblea Nac. Jun 1995... Decreto No. 7-2002, (Reforma al Arto. 42 del Decreto. 33-95, Disposiciones para el Control de la Contaminación Provenientes de las Descargas. legislacion.asamblea.gob.ni

El uso doméstico de leña en los países en desarrollo (en línea) disponible en : www.fao.org

Estrucplan, seguridad industria, gestión ambiental. (en línea). Consultado en 2010. disponible en : www.estrucplan.com.ar

Fermentación anaeróbica -Textos Científicos 27 Nov. 2005(en línea).consultado en 2009, disponible en : www.textoscientificos.com

Informe Estado del Ambiente en Nicaragua. Formato de archivo: PDF/Adobe Acrobat., disponible en: www.centrogeo.org.mx/unep/documentos/Nicaragua/NICARAGUA

MARENA 2005. Manual informativo de Biodigestores Elabore su propio biodigestor de bajo costo, basado en El manual elaborado por Raúl Botero y Thomas R. Preston, 25 págs. 3-17

Preston, T. R. and Botero R. 1995. Biodigestores de bajo costo para la producción de gas y fertilizante a partir de excretas, pp. 20.

Producción de gas a base de estiércol –opinión – El Nuevo Diario. 10 Ago. 2005... Miércoles 10 de Agosto de 2005 Hora local | Managua, Nicaragua. Consultado en 2009. disponible en : archivo.elnuevodiario.com.ni/2005/agosto/opinion-20050809-04.html

Schanbacher et al F.; Willett, L.; Morrison, M. 2005. Anaerobic digestion of biomass for energy and the environment (documento electrónico). Ohio, US, Ohio State University.

TEC.1985. Diseño y construcción de biodigestores. 2da edición. Cartago, Costa Rica Editorial Tecnológico de Costa Rica. 205 p.

Yañez, F. 1980. Evaluation of the San Juan stabilization ponds. Final research report of the first phase. CEPIS/OPS. Lima Perú.

Zelaya; E. Y Somarriba, E. 2000. Evaluación de Biodigestores plásticos utilizando dos tipos de sustratos. Tesis Ingeniero Agrónomo Zootecnista. Managua, Nicaragua, Facultad de Ciencia Animal. UNA.

ANEXOS

Anexo 1. Tablas de registro utilizadas en la toma diaria de datos

a. control de suministro diario

Semana: _____ Biodigestor N°: _____

Fecha del__ al__ del 20__	Cantidad de agua (l)	Cantidad de materia orgánica estiércol (kg)
Lunes		
Martes		
Miércoles		
Jueves		
Viernes		
Sábado		
Domingo		

b. Medición semanal del pH

Semana: _____ Biodigestor N°: _____

Fecha del__ al __ del 20__	hora	pH de caja de entrada	pH de caja de salida
semana 1	7:00 am		
semana 2	7:00 am		
Semana 3	7:00 am		
Semana 4	7:00 am		

c. Medición semanal de T° y DBO (oxígeno disuelto en el agua)

Semana: _____ Biodigestor N°: _____

Fecha del__ al__ del 20__	hora	Caja de entrada DBO/T° (mg/l , °C)	Caja de salida DBO/T° (mg/l , °C)
Semana 1	7:00am		
Semana 2	7:00am		
Semana 3	7:00am		
Semana 4	7:00am		

d. Medición diaria del biogás

Semana: _____ Biodigestor N°: _____

Fecha del__ al__ del 20__	Hora	Lectura anterior	Lectura actual	m ³	l
Lunes	7:00 am				
Martes	7:00 am				
Miércoles	7:00 am				
Jueves	7:00 am				
Viernes	7:00 am				
Sábado	7:00 am				
Domingo	7:00 am				

e. Medición diaria del efluente

Semana: _____ Biodigestor N°: _____

Fecha del__ al__ del 20__	Hora	Cantidad de bioabono (1)
Lunes	7:00 am	
Martes	7:00 am	
Miércoles	7:00 am	
Jueves	7:00 am	
Viernes	7:00 am	
Sábado	7:00 am	
Domingo	7:00 am	

Anexo 2. Porcentaje de nitrógeno, fósforo y potasio del estiércol porcino y bovino

Estiércol en 1000 kg	% Nitrógeno	% Fósforo	% Potasio
BOVINO	3.4	1.3	3.5
PORCINO	4.8	2.0	6.0

Anexo 3. Fotos de los biodigestores



a. Biodigestor porcino



b. Biodigestor bovino



c. Pesaje del estiércol



d. Caja de entrada



e. Medidor de pH



f. Medidor de DBO₅ y T°



g. Medidor de gas instalado en los biodigestores



h. Medición del efluente



i. Instalaciones de los cerdos



j. Instalaciones de los bovinos



k. Instalación de los biodigestores



l. reservorio instalado para la producción de biogás

Anexo 4. GLOSARIO

El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio $[H_3O]^+$ presentes en determinadas disoluciones.

El biogás es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos y otros factores, en ausencia de oxígeno.

El efluente es el material resultante del proceso de descomposición de la materia orgánica introducida en el biodigestor.

DBO5 La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Se utiliza para medir el grado de contaminación; normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción (DBO_5) y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO_2/l).

T STUDENT En probabilidad y estadística, la distribución t (de Student) es una distribución de probabilidad que surge del problema de estimar la media de una población normalmente distribuida cuando el tamaño de la muestra es pequeño.

Bacterias u organismos anaeróbicos son los que no utilizan oxígeno (O_2) en su metabolismo.

Metanogénesis es la formación de metano (gas) por microbios.