Evaluación de la producción de biogás y biol a partir de la torta de *Jatropha curcas L.*

Fredy Adalid Oyuela Barahona

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2010

ZAMORANO
CARRERA DE DESARROLLO SOCIOECONÓMICO Y AMBIENTE

Evaluación de la producción de biogás y biol a partir de la torta de *Jatropha curcas L.*

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente en el Grado
Académico de Licenciatura

Presentado por

Fredy Adalid Oyuela Barahona

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2010

Evaluación de la producción de biogás y biol a partir de la torta de *Jatropha curcas L.*

Presentado por:

Fredy Adalid Oyuela Barahona

Aprobado:

_____ Mily Cortés, Ph.D. Asesora Principal	_____ Arie Sanders, M.Sc. Director Carrera Desarrollo Socioeconómico y Ambiente
_____ Erika Tenorio, M.Sc. Asesora	_____ Raúl Espinal, Ph.D. Decano Académico
	_____ Kenneth L. Hoadley, D.B.A. Rector

RESUMEN

Oyuela, F. 2010. Evaluación de la producción de biogás y biol a partir de la torta de *Jatropha curcas L*. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 47p.

El estudio consistió en la construcción de siete biodigestores, seis modelo Batch y uno continuo. De los biodigestores modelo Batch, cuatro recibieron mezcla de estiércol y torta de *Jatropha* más agua y dos torta de *Jatropha* más agua, siendo evaluados durante 70 días. El modelo continuo se inicializó con estiércol de ganado y posteriormente se añadió torta de *Jatropha* con alimentaciones diarias cada dos días. Se determinó que la torta por sí sola no tiene la capacidad de producir biogás. La producción se ve afectada por el pH que oscila entre 5.5 y 6, ocasionando que el contenido de dióxido de carbono en el biogás sea mayor que el metano, evitando la combustión del biogás. Esto se atribuye a la toxicidad inicial de la torta de *Jatropha* que afecta las actividades de digestión anaeróbica dentro de los biodigestores. El contenido de N-P-K en el biol de torta de *Jatropha* demostró ser más alto que el biol de estiércol de ganado, debido a que la torta de *Jatropha* es más rica en carbohidratos, proteínas y aceites, que no son aprovechados en el proceso digestivo. A pesar de esto, este tipo de biol presenta un alto contenido de contaminantes, sólidos y producción de malos olores generados por la mala digestión y el contenido de aceites aún después del proceso de digestión, limitando su uso como fertilizante. Tras analizar cada uno de los resultados se concluyó que la torta de *Jatropha curcas L.* no cuenta con el potencial para la producción de biogás.

Palabras clave: bacterias anaeróbicas, biogás, biol, Biodigestor, torta de *Jatropha*.

CONTENIDO

Portadilla i
Página de firmas ii
Resumen iii
Contenido iv
Índice de cuadros, figuras y anexos v

1. INTRODUCCIÓN 1

2. REVISIÓN DE LITERATURA 4

3. MATERIALES Y METODOLOGÍA 10

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 19

5. CONCLUSIONES 27

6. RECOMENDACIONES 28

7. LITERATURA CITADA 29

8. ANEXOS 32

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Página

Cuadro

1. Porcentaje de composición de biogás. 6
2. Comparación de contenido de N-P-K (promedios ± E.S.) en estiércol de ganado fresco y biodigerido. 9
3. Identificación y descripción de los biodigestores modelo Batch y continuo utilizados en el proyecto 10
4. Relación de carbono nitrógeno de las diluciones de estiércol de ganado más agua y torta de *Jatropha* más agua. 21
5. Comparación de contenido de toxicidad en el biol del estiércol de ganado y la torta de *Jatropha* 26

Figura página

1. Fermentación de la materia orgánica bajo condiciones anaeróbicas.Fuente: Aprovechamiento energético de residuos ganaderos (Flotats *et al*. 1997). 7
2. Acoplamiento de Válvulas de balín, T de cobre y adaptadores 12
3. Tapón plástico perforado y colocación del casquillo de hule en el adaptador de T de cobre. 12
4. Corte y colocación de mangueras en las válvulas de balín y T de cobre 13
5. Biodigestor tipo Batch con neumático y manómetro 13
6. Biodigestores tipo Batch llenado con estiércol y torta de *Jatropha*. 14
7. Diseño del biodigestor chino modelo continuo. 15
8. Comparación de temperaturas entre la dilución de entrada, salida (biol) y punto medio del biodigestor 20
9. Comportamiento de pH entre la dilución de entrada y salida (biol) 21
10. Comparación de conteo bacteriológico de coliformes fecales y no fecales, de entrada y salida para estiércol de ganado y torta de *Jatropha*. 22
11. Comparación de reducción de DQO y sólidos volátiles entre entrada y salida de estiércol de ganado y torta de *Jatropha*. 23
12. Comparación de sólidos totales entre la dilución de estiércol de ganado y torta de *Jatropha*. 24
13. Comparación del porcentaje de materia seca entre el estiércol de ganado y torta de *Jatropha*. 24

14. Comparación de N-P-K entre el estiércol de ganado y torta de *Jatropha*. 25
15. Total producción de metano (CH_4) durante 60 días. 26

Anexos página

1. Análisis de DQO y Sólidos volátiles de torta de *Jatropha*, biodigestor continuo 32
2. Análisis de DQO y sólidos volátiles del estiércol de ganado, biodigestor Taiwán. ... 33
3. Análisis de N-P-K y relación carbono nitrógeno del estiércol de ganado y trota de *Jatropha*. 34
4. Primer análisis de toxicidad del estiércol de ganado y la torta de *Jatropha*. 35
5. Segundo análisis de toxicidad del estiércol de ganado y la torta de *Jatropha*..... 36
6. Calculo de producción de metano midiendo el poder calorífico del metano a partir de la torta de *Jatropha*. 37
7. Total de producción de metano producido en los Biodigestores con estiércol de ganado y torta de *Jatropha.* 38
8. Prueba estadística T de Student entre termómetro infrarrojo y de mercurio. 39
9. Cantidad de energía producida por hectárea de *Jatropha curcas L.* 40

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la demanda de combustibles provenientes de fuentes naturales en este caso fósiles, ha aumentado significativamente. Esta demanda es provocada por el crecimiento poblacional y el gran crecimiento de las industrias manufactureras que satisface las necesidades de las sociedades. Según Aliaga (2006), este crecimiento demandante por parte de las sociedades por combustibles fósiles impulsan cada vez más la llamada crisis energética. Crisis que impacta mayormente a los países importadores de petróleo o carburantes para abastecer la demanda energética, como el caso de Honduras, que suple la mayor parte de su demanda energética es abastecida de plantas térmicas (bunkers) privadas. La alta demanda experimentada en las últimas décadas ha causado la escasez de las fuentes de petróleo a nivel mundial. La escasez y demanda por estos carburantes aumenta cada vez más dando lugar a los altos precios en los últimos años y afectando directamente los altos precios de los alimentos, electrodomésticos, servicios públicos etc. Otro punto importante y de gran preocupación para la comunidad científica es el calentamiento global. Según estudios hechos por la FAO las actividades humanas son las que más han contribuido al calentamiento global, causado por la emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) tales como carbono, metano y dióxido de carbono, que en su mayoría son generados por las industrias manufactureras y de transporte.

Estas problemáticas han despertado el interés por parte de la sociedad política y científica a nivel nacional e internacional, en la búsqueda de nuevas alternativas de producción de energía más limpia. En los últimos años se han centrado esfuerzos en investigación sobre nuevas fuentes de energías renovables debido al agotamiento de combustibles fósiles y los impactos que estos generan en el ambiente (Banco Mundial 2008). A raíz de esto los biocombustibles son una de las alternativas para disminuir la dependencia de los fósiles. La *Jatropha curcas L*. ha demostrado ser uno de los cultivos más comprometedores en términos de potencial energético para la producción de energía. Sin embargo los costos de producción de los biocombustibles son más elevados comparados con los fósiles. Esto pone en desventaja tal cultivo para ser un sustituto económicamente viable. Por estas razones se busca además del aprovechamiento del aceite contenido en la semilla de *Jatropha*, la utilización de los subproductos que se generan durante la extracción.

La torta de *Jatropha* es un subproducto obtenido durante el proceso de extracción del aceite, esta puede ser aprovechada para la producción o elaboración de otros productos. En este caso la torta de *Jatropha* será utilizada para evaluar el potencial de producción de biogás y biol, a través de un proceso de fermentación anaeróbica. Se determinará su potencial de aprovechamiento y producción, de manera que ayude a mejorar la rentabilidad del cultivo de *Jatropha*.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años el tema energético ha experimentado grandes cambios. Debido a los altos precios de los combustibles fósiles, agotamiento de las fuentes de los mismos y la degradación del ambiente se buscan alternativas al petróleo y sus derivados. (Castro 2009). Otro aspecto importante en el tema de combustibles fósiles es que contribuyen al calentamiento global que se ha experimentado en las últimas décadas.

Además de la problemática petrolera y calentamiento global, está el problema de la generación de energía eléctrica, que en los últimos años ha crecido exponencialmente. Este crecimiento es causado por el desarrollo de los países, sobre todo en India. En el caso de Honduras, 61.5% de la energía eléctrica producida proviene de las plantas térmicas, un 34.2% de fuentes hídricas y un 4.3% de biomasa (ENEE 2010).

1.2 JUSTIFICACIÓN

El alto crecimiento de la demanda por combustibles por parte de las industrias, transporte, generación eléctrica y desarrollo de los países causan sobre las fuentes de petróleo gran presión y agotamiento de la mismas. A raíz de estos problemas se buscan alternativas viables en la generación de biocombustibles, con el objetivo de disminuir la dependencia de carburantes y los problemas de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

El estudio se basará en la torta de *Jatropha,* para evaluar la capacidad de producción de biogás y biol. Agregando valor al cultivo de *Jatropha* para que sea más competitivo en la producción de energía renovable y productos de insumos agrícolas naturales.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

- Evaluar la producción de biogás y biol a partir de la torta de *Jatropha*.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar la capacidad de generación y la calidad de biogás de la torta de *Jatropha*.
- Comparación de línea base entre los resultados de los biodigestores con torta de *Jatropha* y los resultados generados con biodigestores con estiércol de ganado.
- Definir la potencialidad del biol obtenido durante el proceso de generación de biogás.

1.4 ANTECEDENTES

La *Jatropha curcas L.* mejor conocida como piñón blanco, se ha perfilado en los últimos años como una nueva alternativa para la producción de energía renovable. Esta alternativa busca disminuir la problemática actual de la dependencia de combustibles fósiles que se ha experimentado actualmente. La búsqueda de alternativas de producción de biocombustibles está teniendo cada día más auge a nivel mundial, por lo que los países interesados en el tema, centran esfuerzo apoyando entidades de desarrollo en la ejecución de proyectos que se enfaticen en la siembra de cultivos oleaginosos para la producción de biocombustibles. Según Santologo *et al.* (2007), en los últimos años, países como Brasil, Honduras, Guatemala y algunos países africanos están incursionando en proyectos de siembra, monitoreo y producción de *Jatropha*, cultivo que en la última década ha dejado ver su fuerte potencial para la producción de biodiesel, biogás, biol, bioplaguicida y otros usos.

La *Jatropha* cuenta con un gran potencial para la producción de biocombustibles, pero también tiene el potencial para ser usado para la elaboración de otros productos de uso humano. Un ejemplo de ello es la torta de *Jatropha,* un sub producto que se obtiene después que se ha realizado la extracción del aceite. Es una mezcla de carbohidratos, fibras, proteínas y aceites que no pueden ser extraídos. Estos compuestos pueden ser usados para la generación de diferentes productos: producción de biogás, alimento animal, biofertilizante o bioinsecticida (Santologo *et al.* 2007). El biogás es obtenido por las actividades de microorganismos fermentadores, bajo condiciones anaeróbicas. Durante el proceso se obtiene además del biogás un sub producto conocido como biol, que es el líquido que se genera durante el proceso fermentación en los biodigestores. Este puede ser usado como un fertilizante orgánico aunque en el caso de la *Jatropha* pueda que también funcione como bioinsecticida por la toxicidad de algunas variedades de esta planta según se ha observado en pruebas realizadas en Zamorano.

La *Jatropha* por su carácter tóxico no es utilizada para alimentación humana por lo que atenta contra la seguridad alimentaria, en comparación a muchas de las investigaciones que buscan producir biomasa que contengan alto contenido de azucares y aceites para la producción de biocombustibles (caña de azúcar, palma aceitera, maíz, etc.). En la mayoría de los casos se trata de variedades que son usadas para consumo humano, causando una controversia si destinar cultivos para producción energética o para alimento humano. En el caso de la *Jatropha* no es así, ya que no es un producto alimenticio y por sus características pueden ser cultivados en terrenos no aptos para la agricultura o que ya no puede producirse en ellos cultivos para alimentación humana o animal (Chango 2009). Sin embargo, organizaciones de desarrollo y cooperación internacional, proyectan y ejecutan proyectos de desarrollo, basados en cultivos de *Jatropha* para apoyar a los pequeños agricultores que cuentan con terrenos en condiciones agroecológicamente desfavorables (Castro 2009). Según Villalta (2009), muchos de los agricultores pobres pueden beneficiarse de la producción de biocombustibles, especialmente cultivos que no compiten con la producción de alimentos, tales como la *Jatropha.*

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 *JATROPHA CURCAS L.* COMO ALTERNATIVA COMPETITIVA Y SOSTENIBLE EN ENERGÍA RENOVABLE

A lo largo de la historia humana y sus grandes avances tecnológicos, una gran parte de las necesidades energéticas de la población ha sido satisfecha con el uso de combustibles fósiles petróleo, carbón, y gas. (Guardado 2009). Al principio estas fuentes se consideraban infinitas, pero hoy en día este pensamiento ha cambiado en gran parte por el aporte negativo al calentamiento global, la problemática ambiental y la convulsa situación del déficit entre la demanda y oferta de petróleo, que es la principal fuente energética ha experimentado múltiples crisis en los últimos años (Guardado 2009). Esto ha ocasionando un gran impacto en la economía mundial, por los altos costos de producción, procesamiento, comercialización y transporte de los bienes y servicios. Con los avances científicos y tecnológicos en las últimas décadas, muchas de las investigaciones centralizan esfuerzos en la búsqueda de nuevas alternativas, para la producción de energía renovables.

La *Jatropha curcas L*. o piñón, es una planta que ha demostrado en los últimos años un gran potencial para la producción de energía renovable, en este caso biocombustible, y ha despertado el interés de los organismos nacionales e internacionales, para fomentar el desarrollar de dicho cultivo en el trópico (Parthiban *et al.* 2009). El porcentaje de aceite contenido en la semilla, la facilidad de manejo, variabilidad, distribución geográfica y su adaptabilidad en suelos pobres y resistencia a las épocas de sequias han colocado al cultivo como centro importante de la investigación de alternativas para la producción de biocombustibles (Casotti 2008). Además de las características antes mencionadas, la *Jatropha* no es utilizada como producto de consumo humano, en comparación al maíz, la caña de azúcar y palma africana. Podría existir un conflicto si se utilizan tierras de producción agrícola para plantaciones de *Jatropha* en lugar de cultivos de consumo humano. No obstante la *Jatropha* se distingue por su adaptabilidad y resistencia a terrenos pobres y secos, por lo cual se pueden usar para su cultivo en terrenos que ya no tienen alto potencial para la producción de cultivos para alimento.

El problema que enfrentan los biocombustibles es el alto costo que se incurre en la producción, aspecto que afecta la competitividad en relación al mercado de los combustibles fósiles. Esto impulsa a investigadores a hacer uso no solo del producto base en este caso biodiesel a partir de la semilla de *Jatropha curcas L*, sino también los subproductos que se obtiene durante su procesamiento y elaboración. Un caso distintivo es la torta de *Jatropha,* que es un subproducto que se obtienen durante el proceso de extracción de aceite, constituyendo entre el 55 y 70 % del contenido de la semilla (mas

detalles en Anexo 6). Este subproducto está constituido principalmente de carbohidratos, fibra, proteínas, un pequeño porcentaje de aceite que no se extrae. La calidad de la extracción depende de la tecnología utilizada (Santologo *et al.* 2007). Muchas investigaciones han buscado alternativas de uso, para hacer más competitiva y rentable la *Jatropha*. En los últimos años se han realizado varios experimentos relativos a la producción de biogás a partir de la torta de *Jatropha*. En el 2007 se realizó un estudio usando la torta de *Jatropha* para evaluar la digestión anaeróbica y potencial de uso para la producción de biogás, evaluando cuatro diferentes composiciones de diluciones. Al final de la investigación se determinó que se da un proceso de digestión y que la producción de biogás es alta debido al alto contenido de materia orgánica, pero el contenido de Metano (CH_4) fue menor a lo esperado (Visser *et al.* 2007).

2.2 EL USO DE LA TECNOLOGÍA DE BIODIGESTORES

El alto crecimiento poblacional, los costos crecientes y la disponibilidad decreciente de las fuentes de minerales para energía, especialmente en las zonas rurales; así como los elevados costos de fertilizantes químicos, hacen necesario el desarrollo de nuevas tecnologías eficientes con costos mínimos para el aprovechamiento de cualquier biomasa. Esto incluye efluentes, excretas para la producción de combustibles y biofertilizante para uso agrícola.

Según Botero *et al.* (1987), los biodigestores son una estructura ya sea de plástico o metálica, en cuya parte interna se lleva a cabo un proceso de fermentación anaeróbica causada por las mezclas de desechos orgánicos que se obtienen de las actividades humanas (efluentes, biomasa, estiércol animal). Como resultado de las actividades de fermentación que se dan por los microorganismos anaeróbicos descomponedores se obtiene el biogás como fuente de energía y el biol o Bioabono que puede ser usado como biofertilizante Secretaria de Recursos Natural (1991). Los biodigestores funcionan como una cámara hermética evitando que no se dé la salida de gas ni entrada de oxígeno, este debe ser llenado con una mezcla de material orgánico que no acidifique y agua. Una vez que se ha llevado a cabo el proceso de fermentación en la mezcla desaparecen los malos olores en el líquido obtenido en la salida del sistema llamado biol o biofertilizante.

El biol constituye una buena fuente de nitrógeno, fósforo y potasio, los cuales son nutrientes clave para los campos agrícolas (Biodigestores y Otras Soluciones Energéticas 2007). Los Biodigestores se han contemplado como una de las tecnologías para el aprovechamiento de los desechos que se generan en las diferentes actividades humanas. Aun así esta tecnología no es adecuada para escalas domésticas, por sus altos costos de construcción, mano de obra utilizada en mantenimiento y alimentación relacionándola a la cantidad de biogás y biofertilizante (biol) que se obtiene en el proceso (Botero *et al.* 1987). Existen diferentes modelos de biodigestores y muchas veces sus diseños dependerán en gran medida de la región, nivel económico, accesibilidad de materiales de construcción, aspecto social, disponibilidad de material orgánico etc. En la literatura se encuentran biodigestores a pequeña y gran escala como modelos chino, Taiwán, Indú e industriales.

2.3 DIGESTIÓN ANAERÓBICA

La digestión anaeróbica es un proceso de descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxigeno (O_2). El proceso de descomposición realizada por los microorganismos anaeróbicos, es favorecido por las condiciones herméticas que se dan en el interior del biodigestores. Debido a esto se generan temperaturas más altas en el interior del biodigestor, indicando que la digestión o descomposición de la carga de materia orgánica se está llevando a cabo por parte de las bacterias.

2.4 BIOGÁS Y SU COMPOSICIÓN

Se le llama biogás a la mezcla constituida por metano CH_4 que representa entre el 54% y 70% de CH_4 y entre el 27% y 45% de dióxido de carbono (CO_2), también contiene proporciones pequeñas de hidrogeno, nitrógeno y sulfuro de hidrogeno. Esta generación se debe a la descomposición que genera la actividad bacteriológica anaeróbica en la carga de materia orgánica. En la naturaleza hay una gran variedad de residuos orgánicos a partir de los cuales se puede generar biogás. La composición del biogás depende del tipo de material o desecho orgánico que se esté utilizando y las condiciones del proceso. Es difícil determinar exactamente cuál es la composición del biogás en sí. Los resultados obtenidos en el Instituto de Investigación Eléctricas en México (1980), determinaron que la composición del biogás está entre 60% y 70% CH_4 y 30% y 40% CO_2 (Botero *et al.* 1987). Sin embargo, en el 2002 la Sociedad de Agricultores de Colombia definió, que la composición de biogás está constituida por diferentes porcentajes como se ilustra en la cuadro a continuación.

Cuadro 1. Porcentaje de composición de biogás.

Componente	Porcentaje (%)
CH_4	54-70
CO_2	27-45
N_2	0.3-3
H_2	01-10
CO	0.1
O_2	0.1
H_2S	Trazas

Fuente: Sociedad de Agricultores de Colombia (2002)

2.5 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

El proceso de producción de biogás se da por diferentes factores, y lo más importante de su producción es que el CH_4 sea el de mayor contenido en su composición, como se muestra en el cuadro anterior. Según Kossmann (1989), para que se genere una óptima cantidad de metano en el biogás se deben llevar a cavo los siguientes tres pasos:

2.5.1 Hidrólisis.

Es el proceso por el cual la parte donde las enzimas de los microorganismos reaccionan sobre la materia orgánica, causando una descomposición de los carbohidratos, proteínas y grasas contenidos en el medio. Durante este proceso se generan tres elementos orgánicos complejos: el acido butírico, ácido propiónico y ácido láctico.

2.5.2 Acidificación.

Es la etapa donde las baterías acetogénicas convierten los sustratos orgánicos generados en la etapa de hidrólisis y los transforman en acido láctico, hidrógeno y dióxido de carbono. Estas bacterias desarrollan condiciones anaeróbicas, pero no son totalmente anaeróbicas por lo que tiene la capacidad de generar reacciones endotérmicas.

2.5.3 Formación de metano CH_4.

En este último paso las reacciones bacteriológicas se dan en ambientes totalmente anaeróbicos haciendo uso de del hidrógeno, dióxido de carbono y acido acético, causando finalmente la generación de metano.

Para entender mejor el proceso de generación de CH_4, se presenta un diagrama donde se refleja cada uno de las etapas antes mencionadas:

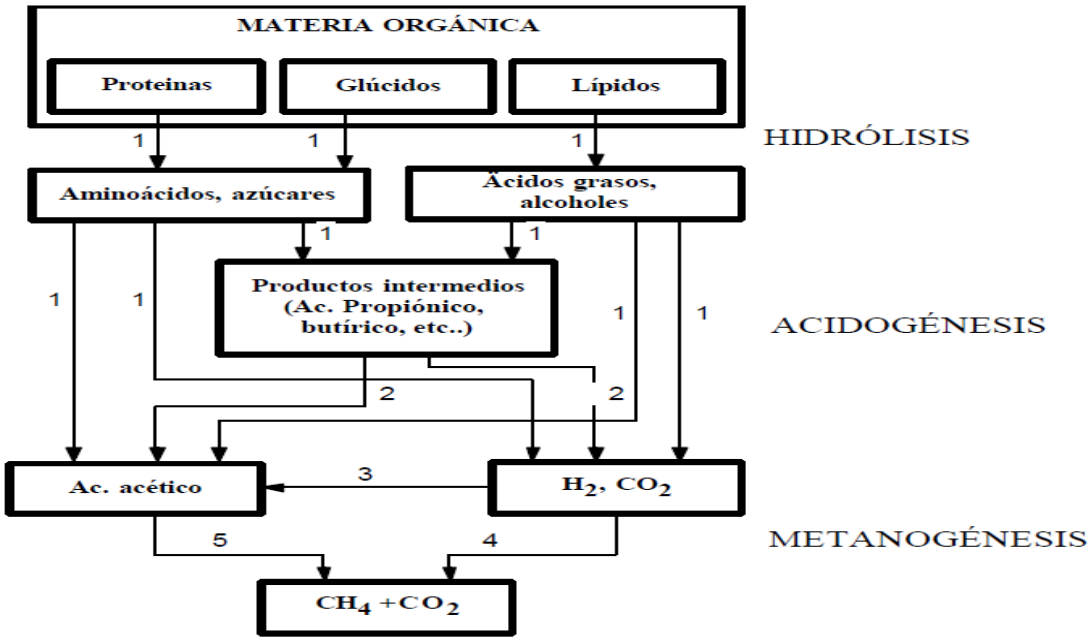

Figura 1. Fermentación de la materia orgánica bajo condiciones anaeróbicas. Fuente: Aprovechamiento energético de residuos ganaderos (Flotats *et al*. 1997).

2.6 FACTORES DETERMINANTES PARA EL PROCESO DE DIGESTIÓN

Para que se realice una descomposición y digestión óptima en los biodigestores, se debe tener en cuenta una serie de factores los cuales son detallados a continuación:

2.6.1 Rangos de Temperatura

La temperatura es primordial para la producción de biogás. Según Werner *et al*, el proceso de fermentación anaeróbica se da desde los 3 °C hasta los 70°C. Este amplio rango de temperatura se generan en tres niveles: en el nivel uno se encuentran los Psicrófilicos con temperaturas menores a los 20°C, en el nivel dos los Mesófilos con temperaturas ente 30°C y 40°C, y en el nivel tres los Termofílicos con temperaturas entre los 50°C y 70°C. Investigaciones hechas en el pasado han demostrado que la producción de biogás es mayor a medida aumenta la temperatura, la producción óptima de producción de biogás se da en el nivel Termofílico; sin embargo, a medida que aumenta la temperatura la producción de amonio incrementa, lo que puede ocasionar una disminución de la producción de biogás.

2.6.2 Porcentaje de composición de la dilución

La dilución es una mezcla de materia o desechos orgánicos con agua. Por lo general las diluciones son compuestas por excrementos de ganado, cerdos, o cualquier tipo de desecho generado por las actividades humanas. Esta dilución por lo general está dividida en 30% de materia solida o materia orgánica y 70% de agua.

2.6.3 Tiempo de retención

Se le llama tiempo de retención al tiempo adecuado o cantidad de días necesarios para que se dé una digestión eficiente de la materia orgánica, o también se interpreta como el tiempo que la materia orgánica o dilución permanece en el biodigestor. Según Aliaga (2006) el tiempo de retención óptimo en un proceso de digestión en Zamorano es de 50 días, pero puede ser afectado por diferentes factores como la temperatura, el tipo de dilución usada y el contenido de sustancias inhibidoras.

2.6.4 Contenido de sólidos

El contenido o porcentaje de sólidos en un proceso de fermentación anaeróbica en biodigestores depende de la capacidad de asimilación o descomposición de los organismos, y del tamaño o escala del biodigestor. En términos de digestibilidad las bacterias solo asimilan entre el 6% y 8% de la materia orgánica.

2.6.5 Rangos de pH

En la digestión se presentan diferentes rangos de pH, pero donde las bacterias presentan una mayor eficiencia en sus actividades es entre 6 y 8. Según Botero (1987) los factores que afectan o promueven la acidificación en la parte líquida dentro del biodigestor son:

- La cantidad de agua utilizada.
- Alimentación con productos tóxicos.
- Fluctuaciones bruscas en las temperaturas.

2.6.6 Relación C:N

La relación carbono y nitrógeno (C:N) juega un papel muy importante en las actividades microbianas. El nivel óptimo de esta relación se encuentra entre 9:1 y 25:1, permitiendo una mejor actividad en la digestión realizada por los organismos (Flotats *et al.* 1997).

2.7 BIO-FERTILIZANTE (BIOL)

Es una sustancia acuosa que se obtiene en las salidas de los biodigestores como un subproducto generado en el proceso. Está compuesto principalmente por una gran cantidad de sólidos disueltos, puede ser utilizado como fertilizante. El biol se deposita en la base del biodigestor, el cual lo conforma un 10% de sólidos y un 90% de agua (Claure *et al*. 1992). La descomposición de las excretas durante el proceso de digestión anaeróbica interna comparada con la descomposición que se da de forma natural disminuye las pérdidas para el nitrógeno del 18% al 1% y del 33% al 7% para el carbono (Botero *et al.* 1987).

Cuadro 2. Comparación de contenido de N-P-K (promedios ± E.S.) en estiércol de ganado fresco y biodigerido.

Tipo	Nitrógeno (% en M.S.)	Fósforo (% en M.S.)	Potasio (% en M.S.)
Estiércol fresco	2.0 + 0.08	0.6 + 0.2	1.7
Estiércol Biodigerido	2.6 +0.10	1.4 + 0.2	1.0

Fuente: adaptado por Raúl Botero y Thomas R. Preston (1987).

3. MATERIALES Y METODOLOGÍA

Para evaluar la capacidad de producción de biogás de la torta de *Jatropha,* se establecieron modelos a escala de biodigestores tipo chino. El modelo tipo chino ha sido implementado en comunidades rurales, por las experiencias y resultados obtenidos en varias zonas rurales de África. También en países centroamericanos como Guatemala y Honduras han utilizado este modelo en proyectos enfocados en la búsqueda de nuevas alternativas para la generación de energía a base de biogás, considerando siempre factores como facilidad de acceso a compra de materiales e instalación. (Aliaga 2006). Para la investigación se construyeron siete biodigestores tipo chino a escala, seis tipos Batch y uno continuo. Para los modelos se utilizaron diferentes diluciones como se muestra en el cuadro a continuación:

Cuadro 3. Identificación y descripción de los biodigestores modelo Batch y continuo utilizados en el proyecto.

Identificación	Control de almacenamiento	Sustrato	Fecha de inicio	Fecha final	Días
F1 Batch	Manómetro	Estiércol + *Jatropha*	22/07/10	01/10/10	70
F2 Batch	Manómetro	Estiércol + *Jatropha*	23/07/10	01/10/10	70
F3 Batch	Neumático #12	Estiércol + *Jatropha*	23/07/10	01/10/10	69
F4 Batch	Neumático #12	Estiércol + *Jatropha*	23/07/10	01/10/10	69
F5 Batch	Neumático #12	*Jatropha*	10/08/10	01/10/10	52
F6 Batch	Neumático #12	*Jatropha*	10/08/10	01/10/10	52
F7 Continuo	Neumático #12	Estiércol + *Jatropha*	23/07/10	01/10/10	70

3.1 UTILIZACIÓN COMO LÍNEA BASE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL BIODIGESTOR TAIWÁN DE LA UNIDAD DE GANADO LECHERO

Para la investigación se utilizó como línea base los resultados obtenidos del biodigestor Taiwán de la unidad de ganado lechero en Zamorano. El biodigestor fue reconstruido y utilizado por Daniel Moscoso en junio de 2010, para evaluar la factibilidad de utilización de biogás para el calentamiento de agua en la unidad de ganado lechero. Los análisis de línea base se realizaron en el mismo periodo de los análisis hechos para evaluar la producción de biogás de la torta de *Jatropha*.

3.2 OBTENCIÓN DE LA TORTA DE *JATROPHA*

Para llevar a cabo el estudio de evaluación de producción de biogás a partir de la torta de *Jatropha*, fue necesario realizar un viaje al departamento de Yoro, Honduras, al proyecto Gota Verde. Se le agradece al proyecto por su atención y hospitalidad durante la estadía en el mismo, y por haber apoyado la investigación con la donación de la torta de *Jatropha* que se utilizó para la investigación.

3.3 MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE BIODIGESTOR CHINOS A ESCALA TIPO BATCH Y CONTINÚO.

- Un bote de 5 galones o 19 litros (Botes de Agua Azul), preferiblemente que tengan tapón.
- 1.5 metros de manguera reforzada para gas de ½ de pulgada de diámetro.
- Un paquetes de pegamento sellador "Acero plástico"
- Una válvula de balín de ½ de pulgada.
- Una T de cobre de ¼ de pulgada.
- Un casquillos de hule negro
- Cinco abrazaderas para biodigestor con manómetro y cuatro para el diseño con neumático
- Dos adaptadores grandes de válvula de cobre.
- Dos adaptadores pequeños de válvula de cobre
- Un Niple de cobre.
- Un manómetro o neumático tamaño 12.
- Cinta teflón como sellador.
- Un tubo de PVC, para la salida de tres centímetros de diámetro y 33 centímetros de largo (aplica solo para el modelo continuo)
- Un tubo de PVC para la entrada de 4.5 centímetros de diámetro y 44 centímetros de largo (aplica solo para el modelo continuo)
- Neumático de bicicleta

3.4 COLOCACIÓN DE CINTA SELLADORA EN LAS VÁLVULAS Y ADAPTADORES.

Se utilizaron como recipiente de almacenamiento botes de 5 galones de Agua Azul con sus respectivos tapones. Tanto el bote como el tapón se lavaron para tener un mejor control a la hora de realizar el sellado de los Batch. Luego se tomaron todos los adaptadores para válvula de balín y T de cobre, y a cada uno se les colocó cinta selladora (teflón) para evitar fugas de gas. Esta cinta debe ir en el área de la rosca del adaptador donde se acopla con las válvulas.

Figura 2. Acoplamiento de Válvulas de balín, T de cobre y adaptadores.

3.5 PERFORACIÓN DE TAPÓN Y CASQUILLO DE HULE.

A los tapones se les realizó una perforación en el centro para colocar el casquillo de hule negro. La perforación debe ser relativamente igual al tamaño del casquillo de hule para que ejerza presión entre el tapón y casquillo. El casquillo de hule se perforó en la parte centro para introducir el niple, una vez acoplado el niple en el casquillo de hule se colocó en la parte centro del tapón. Luego de asegurarse que todos los adaptadores estuvieran colocados correctamente tanto para la válvula de balín como para el conector T de ¼ de pulgada de diámetro, se conectó al extremo vertical de la T de cobre.

Figura 3. Tapón plástico perforado y colocación del casquillo de hule en el adaptador de T de cobre.

3.6 CORTE DE MANGUERAS Y COLOCADO DE ABRAZADERAS

La manguera debe ir seccionada en tres partes, una con una longitud de 1.05 metros que se conecta a un extremo a la válvula de balín y el otro al mechero para hacer las pruebas de llama, la segunda sección tiene 20 centímetros de longitud y conecta el adaptador de la T de ¼ de pulgada la válvula de balín. La tercera sección de manguera tiene una longitud de 25 centímetros, conecta la T de ¼ de pulgada y el sistema de almacenamiento (en este

caso el neumático). Antes de conectar la manguera directamente a la válvula del neumático se debe retirar el centro de retención de aire que trae el neumático. Si el diseño es con manómetro este se conecta directamente a una de las salidas de la T de ¼ de pulgada, sin adaptador. Para cada uno de los extremos de las mangueras se les coloca una abrazadera, la cual presiona la manguera con la superficie de los adaptadores para evitar fugas de gas.

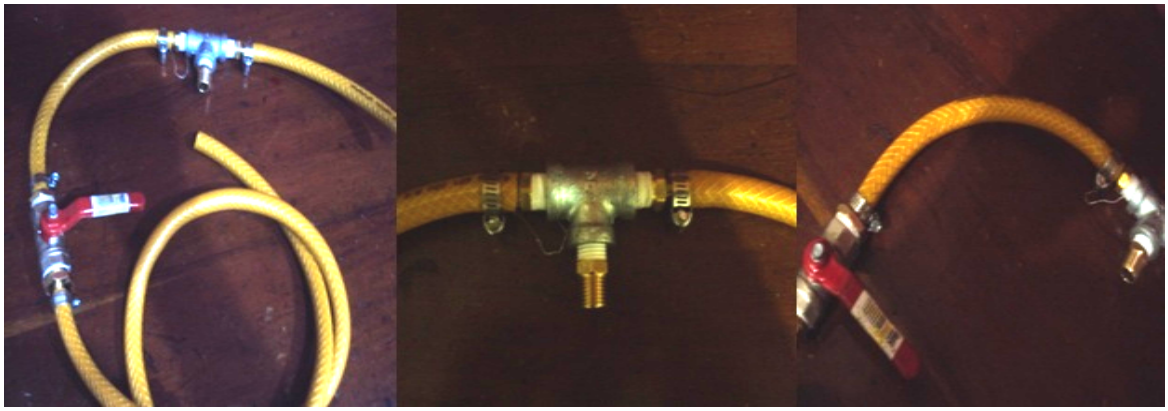

Figura 4. Corte y colocación de mangueras en las válvulas de balín y T de cobre.

3.7 COLOCACIÓN DE SELLADOR ACERO PLÁSTICO

Una vez realizados cada uno de los pasos anteriores se colocó el sellador de acero plástico tanto en la parte superior como en la inferior del tapón, dejando en reposo de 8 a 10 minutos para que seque totalmente.

Figura 5. Biodigestor tipo Batch con neumático y manómetro.

3.8 INTRODUCCIÓN DE DILUCIÓN AL MODELO BATCH

A este modelo Batch de 19 litros de capacidad, se le llenó con 18 litros de dilución de estiércol de ganado o torta de *Jatropha* y agua como se muestra en el (Cuadro 3), con una relación aproximada de 30-33% de estiércol/torta de *Jatropha* y 67-70% de agua (5.4

litros de estiércol/torta de *Jatropha* y 12.6 litros de agua). Una vez finalizado el proceso anterior se conectó el sistema cuidadosamente al sistema de almacenamiento de gas, evitando que el acero pastico se despegara. Luego se cortó el hule de bicicleta en cintas delgadas, al tener listas las cinta de hule se le realizó un amarre entre el tapón y la boca del botellón para sellar totalmente la entrada y evitar la salida de gas e ingreso de oxigeno.

Figura 6. Biodigestores tipo Batch llenado con estiércol y torta de *Jatropha*.

3.9 MODELO CHINO DISEÑO CONTINUO

Este modelo tiene el mismo diseño de construcción del modelo Batch. Para en el caso del modelo continuo se le realizó dos perforaciones para la entrada y salida de las diluciones. La primera perforación es diseñada para la entrada de dilución al interior del bote, para la perforación se midió desde la base del bote hasta aproximadamente 4 centímetros de alto, a esta altura se realizó una perforación aproximadamente del diámetro del tubo PVC de la entrada dejándola con una inclinación con respecto al bote de aproximadamente 35 y 45 grados, siempre teniendo la precaución de que el extremo del tubo no rose con la base en la parte interior para que el fluido pase libremente. Una vez colocado el tubo se le agregó el sellador (acero plástico) y se dejó en reposo de 8 a10 minuto. En el extremo opuesto al tubo de entrada se colocó el tubo de salida del fluido, esta parte se midió desde la base del bote hasta los 18 centímetros de altura, se hizo una perforación del tamaño del tubo en este caso de 3 centímetros de diámetro y se introdujo al interior del bote, la inclinación del tubo fue de 35 a 45 grados, luego se le colocó sellador (acero plástico) y se dejó en reposar el tiempo requerido.

Figura 7. Diseño del biodigestor chino modelo continuo.

3.10 INICIALIZACIÓN Y ALIMENTACIÓN DEL MODELO CHINO DISEÑO CONTINUO

El biodigestor continuo se inicializó con estiércol de ganado el cual se alimentó por aproximadamente un mes. Dicha alimentación consistió en dos litros de dilución diaria del cual 30% era estiércol de ganado y 70% agua. Aproximadamente al mes de haber inicializado el biodigestor se comenzó a alimentar con dilución de torta de *Jatropha*, en este caso la alimentación se realizaba cada dos o tres días, con la misma cantidad de dilución que se utilizó en la alimentación con estiércol de ganado.

3.11 MEDICIÓN DE TEMPERATURA

Durante el período de alimentación se tomó la temperatura en tres secciones del sistema chino modelo continuo, uno en la entrada, la segunda en la salida del sistema, y una tercera en el punto medio del biodigestor. Para la toma de datos se utilizaron dos diferentes termómetros, un infrarrojo para determinar la temperatura superficial de la dilución y un termómetro de mercurio para determinar la temperatura interna. Para la temperatura en el punto medio se utilizó solamente el termómetro infrarrojo. Cada medición se realizaba diariamente por triplicado tanto en la inicialización con estiércol de ganado coma la alimentación con torta de *Jatropha*, las lecturas se realizaban cada dos o tres días según se alimentaba el biodigestor.

3.12 MEDICIÓN DE PH

Para medir el pH se utilizó papel pH (colorímetro). Las mediciones se realizaron en la misma forma que la toma de temperatura eliminando el punto medio del biodigestor. Se tomaron tres lecturas tanto en la entrada de dilución (estiércol de ganado o torta de *Jatropha*), y salida del biol, que se obtiene después del proceso de fermentación en la parte interna del sistema del diseño continuo. Durante el periodo de inicialización la toma lectura de pH se realizaban diariamente, cuando se inició la alimentación con torta de *Jatropha* las lecturas se realizaban cada dos o tres días.

3.13 CONTEO BACTERIOLÓGICO; COLIFORMES FECALES Y NO FECALES

Se realizaron análisis bacteriológicos para determinar la cantidad de coliformes fecales y no fecales en la dilución de entrada y salida de biol. Para esto se utilizó el método de Petrifilm 3M. El Petrifilm 3M consiste en recolectar una muestra en una bolsa estéril tanto de la entrada como de las salidas del sistema.

Para la muestra de entrada se realizó una mezcla de 1 ml de dilución en 499 ml de agua deionizada y se agitó la dilución con magnetos aproximadamente un minuto. Se tomó una Pipeta de precisión de 1000 µl (1 ml) y se extrajo 1 ml de la dilución y se colocó cuidadosamente en el Petrifilm 3M. La placa de Petrifilm se colocó en la incubadora a una temperatura de 35°C por 24 horas. El proceso se realizó tres veces por semana de muestreo. El muestreo se realizó cada 21 días, que corresponde a las semanas de tesis según el calendario académico de la carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente (DSEA).

En el conteo bacteriológico para la salida de biol se utilizó un 1 ml de dilución en 99 ml de agua deionizada. Para la salida en este caso (biol) se tomaron muestras durante tres días en las semanas de muestreo. Cuando se inició la alimentación con torta de *Jatropha*, se utilizó una mezcla de 1 ml de dilución en 499 ml de agua deionizada, porque la mezcla de 1 ml de dilución en 99 ml era incontable en el papel Petrifilm 3M.

3.14 MEDICIÓN DEL PORCENTAJE DE MATERIA SECA

Para medir el porcentaje de materia seca, se utilizó el método gravimétrico. El método consiste en usar una bolsa estéril donde se coloca un poco de estiércol de ganado y/o *Jatropha*. (Aproximadamente 60 g). En el laboratorio se coloca la muestra en un recipiente de vidrio, el peso se determinó con una balanza de precisión para obtener el peso inicial (P_A). Luego se colocó el recipiente en un horno a 90°c por 24 horas. Una vez trascurridas las 24 horas, se sacó el recipiente y se pesó de nuevo para determina el peso final (P_B).

Para obtener el porcentaje de materia seca se utilizó la fórmula:

$$\%M.S = [(P_A - P_B)/P_A] \times 100 \quad [1]$$

Al igual que el conteo bacteriológico este procedimiento se repitió tres veces por cada semana de muestreo. Este análisis se realizó tanto en la etapa de inicialización usando estiércol de ganado como en la etapa de alimentación con torta de *Jatropha*.

3.15 MEDICIÓN DE SÓLIDOS TOTALES DEL LA DILUCIÓN

Para medir los sólidos totales de la dilución (estiércol de ganado, torta de *Jatropha* y agua), se utilizó el método gravimétrico. La muestra se colectó en una bolsa estéril y se tomo directamente de la dilución, una vez tomada la muestra se llevó al laboratorio. Como primer paso se pesó un recipiente de vidrio totalmente vacío y seco en la balanza de precisión para obtener el peso inicial (P_A). Con una jeringa se extrajo un Volumen (V) de 25 ml de la muestra de dilución, luego se colocó en el recipiente de vidrio y se dejó en un horno a 90°C por 24 horas. Una vez trascurrida las 24 horas la fase liquida se ha evaporado y se procedió a pesar la muestra nuevamente para obtener el peso final (P_B). La cantidad de sólidos volátiles del medio se determinó con la formula:

$$S.T = (P_B - P_A)/V \quad [2]$$

Al igual que los métodos anteriores, se realizaron análisis en la etapa de inicialización con estiércol de ganado y la etapa alimentación con torta de *Jatroph*a.

3.16 MEDICIÓN DE DQO Y SÓLIDOS VOLÁTILES EN EL SUSTRATO Y EFLUENTE

Para el análisis de DQO y sólidos volátiles se enviaron muestras al laboratorio de UNITEC en Tegucigalpa, Honduras, UNILAB. Los métodos utilizados fueron el método 5220 B. Reflujo abierto, Dicromato de Potasio para DQO y 2540 E “Fixed and Volátiles Solids Ignited at 550°C” para sólidos volátiles, que se encuentran descrito en el (Anexo 2).

La preparación de la muestras consistió en utilizar botes de 500 ml totalmente asépticos, los cuales son llenados y sellados totalmente. Dichas muestras se tomaron de la dilución de entrada y la salida (biol) y etiquetadas respectivamente. Estos análisis se realizaron durante las semanas de tesis de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente (DSEA).

3.17 MEDICIÓN DE LA RELACIÓN C/N EN LA DILUCIÓN DE ENTRADA Y N-P-K EN LA SALIDA (BIOL)

Estas mediciones fueron analizadas por el Laboratorio de Suelos de la Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria de Zamorano. Para determinación de nitrógeno "N": se usó método de Kjeldahl modificado. Para determinación de potasio "K" se usó el método de digestión húmeda con H_2SO_4 y H_2O_2, determinado por absorción atómica. Fosforo "P" se analizó con el método digestión húmeda con H_2SO_4 y H_2O_2, determinado por espectrofotometría (colorimetría) para mas detalles ver (Anexo 3)

Para estos análisis las muestras se recolectaron en frascos plásticos asépticos de 500 ml, que fueron llenados y sellados totalmente. Las tomas se realizaron en las semanas destinadas para la tesis de (DSEA).

3.18 EVALUACIÓN DE TOXICIDAD DEL BIOL DE LA TORTA DE *JATROPHA*

Para el análisis de toxicidad, se enviaron las muestras al Centro de Estudio y Control de Contaminante (CESSCO), laboratorio de toxicidad. Las muestras se enviaron en frascos plásticos asépticos de 500 ml, y fueron analizadas a través del método EC_{50}: concentración efectiva en el 50% de los organismos. $K_2 Cr_2 O_7$: solución de referencia de Dicromato de Potasio (Mg/L concentración en miligramos por litro). Se enviaron tres muestras, de las cuales una de ellas era biol de estiércol de ganado y las dos restante biol de torta de *Jatropha*.

3.19 MEDICIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN LOS BIODIGESTORES TIPO BATCH Y CONTINUO A ESCALA

Para determinar la cantidad de biogás producido en los biodigestores se definieron tres métodos. Para los Batch y continuo con neumáticos, es la diferencia de peso entre el neumático vacio y el lleno. Para los Batch con manómetro, la presión ejercida por el biogás. Para todos los biodigestores la quema del gas para el calentamiento de un litro de agua en un tiempo conocido.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CONSTRUCCIÓN Y MANEJO DE LOS BIODIGESTORES.

Los materiales utilizados para construcción de los biodigestores Batch y continuo son fáciles de encontrar, y su construcción no necesita tanto tiempo ya que son fáciles de construir. Sin embargo el modelo Batch durante el estudio presentó problemas a la hora de realizar las toma de datos, (tanto con neumáticos como de manómetro). Los Batch con neumáticos presentaron problemas al momento de tomar el peso del neumático conteniendo gas, ya que el peso era mínimo y la balanza utilizada no mostraba las diferencias de pesos entre el neumático con y sin biogás. Por otro lado a la hora de retirar el neumático del Batch presentaba problemas, ya que la manguera que conecta el neumático al biodigestor no contaba con una válvula de sellado o de balín, ocasionando incomodidad a la hora de retirarlo fácilmente del biodigestor sin que hubiera alguna fuga antes de pesarlo. Los modelos Batch con manómetro no funcionaron como se les esperaban, esto se debió a que la presión generada por los biodigestores no fue la suficiente para marcarla en las escalas de PSI fijadas en los manómetros. A causa de estos problemas que se dieron durante la toma de datos se decidió utilizar el método del poder calorífico del metano, que consistió en utilizar el biogás para calentar un litro de agua, donde se tomaba como variables el cambio de temperatura del agua, la cantidad y el tiempo que duro o se mantuvo la combustión del biogás.

4.2 RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS VARIABLES MONITOREADAS.

Un buen funcionamiento de las actividades bacteriológicas en un sistema de digestión anaeróbica o biodigestor, depende de diversas variables, algunas controlables y otras difíciles de controlar. Para tener una mejor comprensión de las variables que afectan la producción de biogás en la tota de *Jatropha*, se presentan los resultados obtenidos del análisis de datos que se tomaron durante la investigación, realizando una comparación entre el estiércol de ganado y la torta de *Jatropha*.

La implementación del biodigestor continuo fue para tener un mejor control sobre las toma de datos de cada uno de los parámetros como se mencionan en la parte de metodología. El comportamiento de las temperaturas generada por el biodigestor durante el estudio es uno de los parámetros controlados. Las temperaturas no fueron las óptimas, ya que no se alcanzaron temperaturas por encima de los 30°C de forma estable. Las temperaturas que corresponden a la parte interna del sistema en este caso el punto medio, que está representada por la línea verde, no alcanzaron temperaturas mayores de 33° como se observa en la (Fig. 8). Esto indica que no se estaba generando una buena actividad por

parte de las bacterias dentro del sistema. En un sistema de digestión anaeróbica, que cuente con una buena actividad bacteriológica se generan temperaturas mayores a los 35ºC, en la parte interna del sistema.

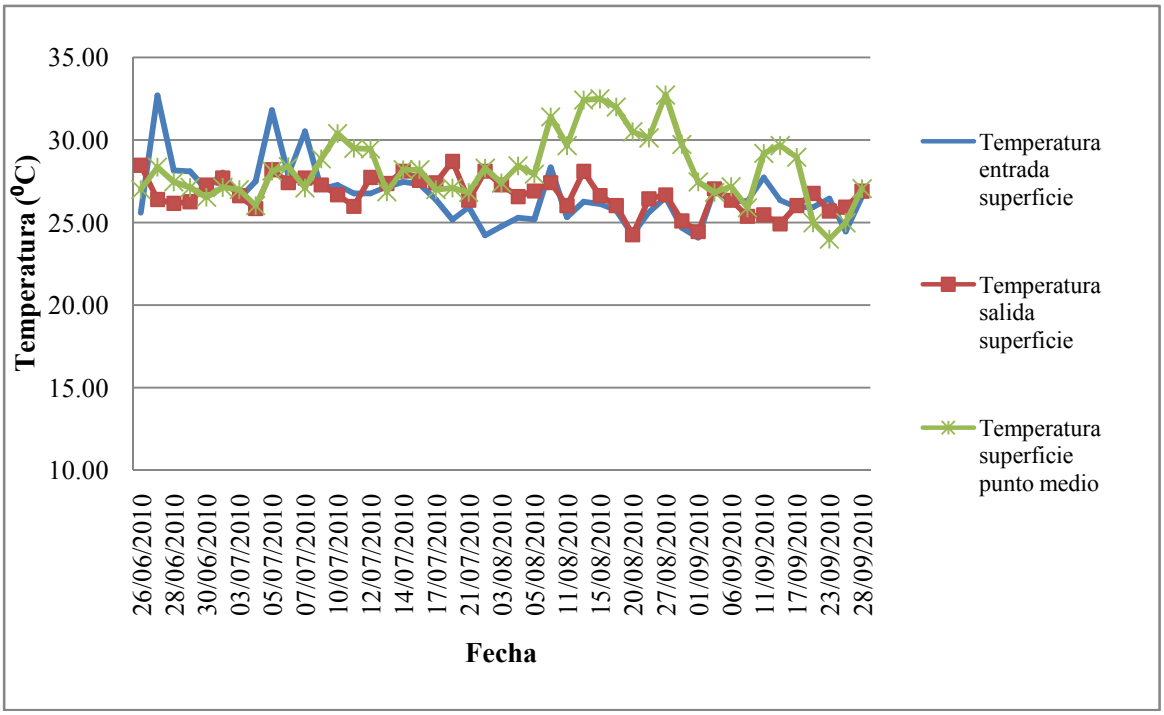

Figura 8.Comparación de temperaturas entre la dilución de entrada, salida (biol) y punto medio del biodigestor.

El pH juega un papel muy importante en las actividades bacteriologías. Este debe encontrarse en niveles neutro o cercano al neutro en la parte interna de los biodigestores entre 6.7 a 7.5 (Botero *et al*. 1987). El biodigestor continuo se inicializó con estiércol de ganado, por lo que el pH de inicio corresponde al estiércol de ganado. El pH de entrada en los primeros días que corresponde a la etapa de inicialización muestra una baja hasta 6, pero una vez dentro del sistema se estabiliza a 7 como se nota en la línea roja que corresponde a la salida (Fig. 9). Sin embargo, al utilizar torta de *Jatropha* como sustrato se ve una disminución del pH tanto de entrada como de salida, indicando que la torta de *Jatropha* es más ácida en comparación al estiércol de ganado. Lo más importante de esto es que el sistema no es capaz de estabilizar el pH a neutro como sucede en el caso del tiempo alimentado con estiércol de ganado.

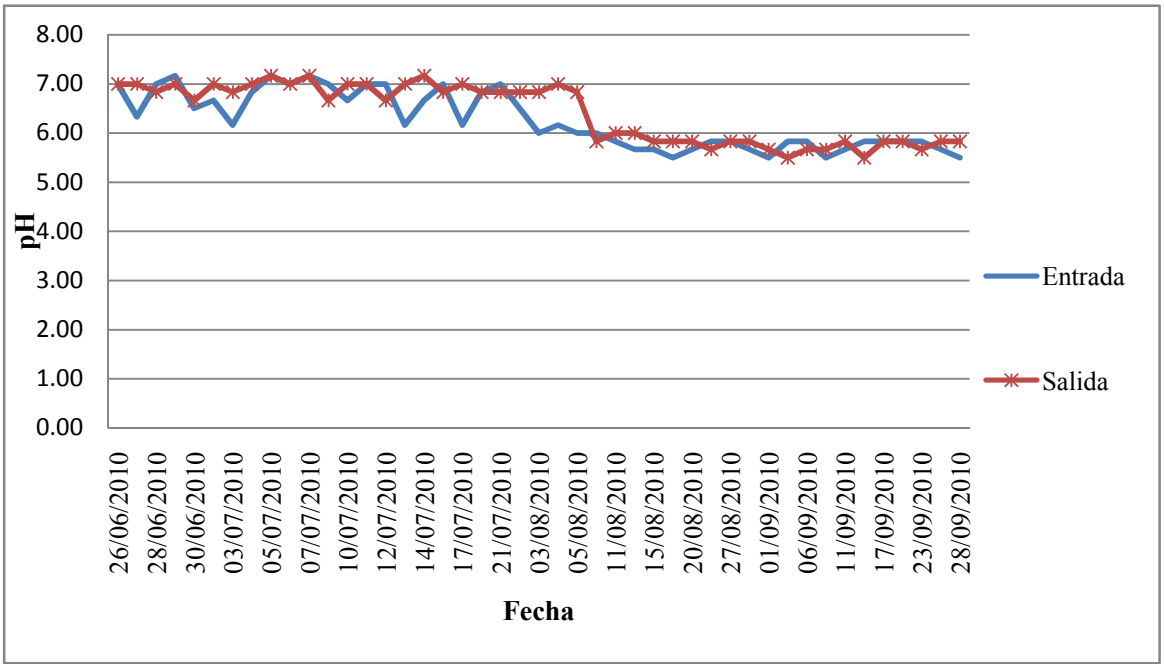

Figura 9. Comportamiento de pH entre la dilución de entrada y salida (biol).

Así como las variables antes mencionadas, la C:N es importante en el sustrato o dilución que se utiliza para un sistema anaeróbico. Esta proporción debe estar dentro de cierto rango para generar un ambiente adecuado. Por lo general este rango oscila entre 9:1 y 25:1. Un desbalance en esta relación puede afectar la actividad bacteriana, por ejemplo si en el sustrato o medio de dilución hay mayor presencia de nitrógeno este generará amoniaco que puede afectar la producción de metano. La presencia de tal elemento evita que se dé el cambio de carbono a metano (CH_4) (Botero *et al*. 1987). Sin embargo para ambos casos tanto el estiércol de ganado como la torta de *Jatropha*, las relaciones se encuentran entre los rangos óptimos. La relación carbono nitrógeno en un análisis realizado a la dilución de estiércol de ganado utilizado para la alimentación fue de 9:6, y para el caso de la *Jatropha* fue de 9:9 y 11:8 (Cuadro 4). Estos resultados fueron obtenidos de las muestras enviadas al laboratorio de suelos en Zamorano (Anexos 4).

Cuadro 4. Relación de carbono nitrógeno de las diluciones de estiércol de ganado más agua y torta de *Jatropha* más agua.

Descripción	Relación C:N
Estiércol de ganado biodigestor Chino	9.6
Jatropha biodigestor chino	9.9
Jatropha biodigestor chino	11.8

4.3 REDUCCIONES BACTERIOLÓGICAS Y CARGA DE MATERIA ORGÁNICA.

Inicialmente los biodigestores eran utilizados para el tratamiento de efluentes o aguas negras, con un alto contenido de materias orgánicas y coliformes. Además de realizar una reducción se obtenía otro beneficio, el biogás. Actualmente el biogás es en muchas ocasiones el centro de la digestión anaeróbica pero siempre es importante que el sistema mejore los parámetros ambientales del efluente. Se ve claramente una reducción del contenido bacteriológico en el biol de dos biodigestores utilizando solo estiércol de ganado (Fig. 10). Hay una reducción importante entre la dilución de entrada y el biol de salida, conteniendo más de 30,000 UFC/ml en la entrada y sólo 2,500 UFC/ml en la salida. Caso distinto se da en la torta de *Jatropha* que, en la dilución de entrada presenta algo más de 10,000 UFC/ml, y en la salida aproximadamente 33,000 UFC/ml. Ya que la torta de *Jatropha* no es una excreta animal, y aun así presenta ciertos niveles de coliformes, se estima que pudieron haberse debido a contaminación en el lugar de cosecha, manejo pos-cosecha, lugar de almacenamiento o traslado. El contenido alto de coliformes fecales en la salida de la torta de *Jatropha*, se estima se debe al estiércol de ganado utilizado para la inicialización que al introducir la *Jatropha* deja de ser digerido. Esto indica que la *Jatropha* afecta las actividades bacteriológicas anaeróbicas, afectando la reducción de coliformes dentro del biodigestor.

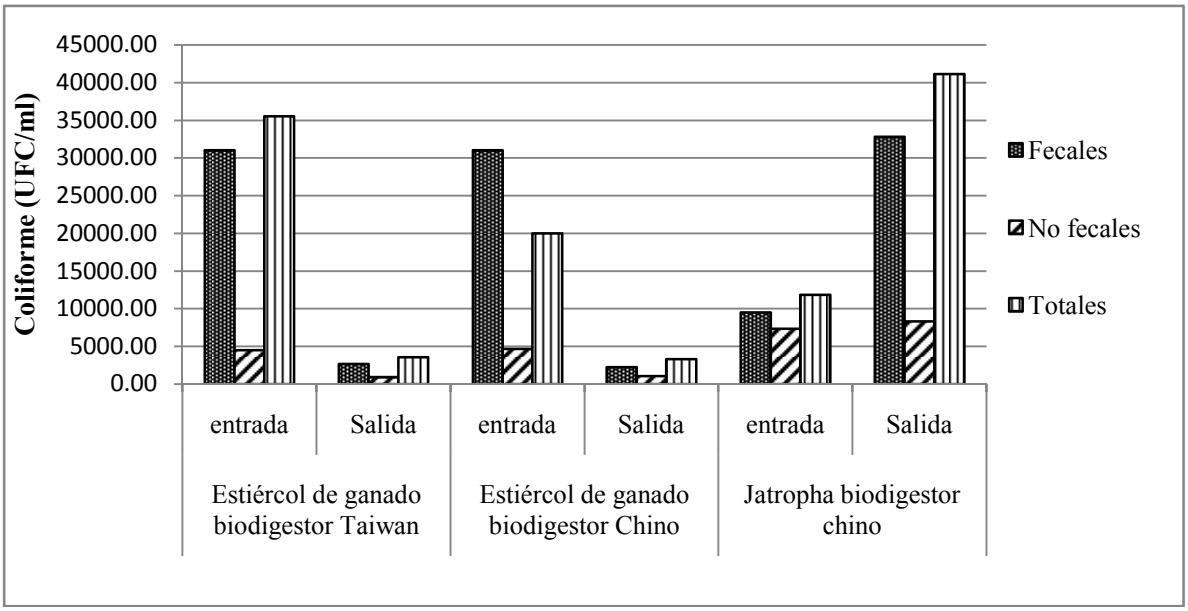

Figura 10. Comparación de conteo bacteriológico de coliformes fecales y no fecales, de entrada y salida para estiércol de ganado y torta de *Jatroph*a.

La demanda química de oxígeno (DQO) es una manera indirecta de medir la cantidad de materia orgánica que puede ser oxidada por elementos químicos en un líquido o dilución. Haciendo una comparación entre la dilución de estiércol de ganado y la de torta de *Jatropha*, se ve claramente que el contenido de materia orgánica en la dilución de torta de *Jatropha* es mucho mayor a la del estiércol de ganado, y así mismo es para los sólidos volátiles (SV). Los

valores de DQO de entrada se redujeron en el biodigestor con estiércol, no así en caso la torta de *Jatropha.* En el biodigestor alimentado con estiércol se nota más bien disminución de DQO y SV en la salida.

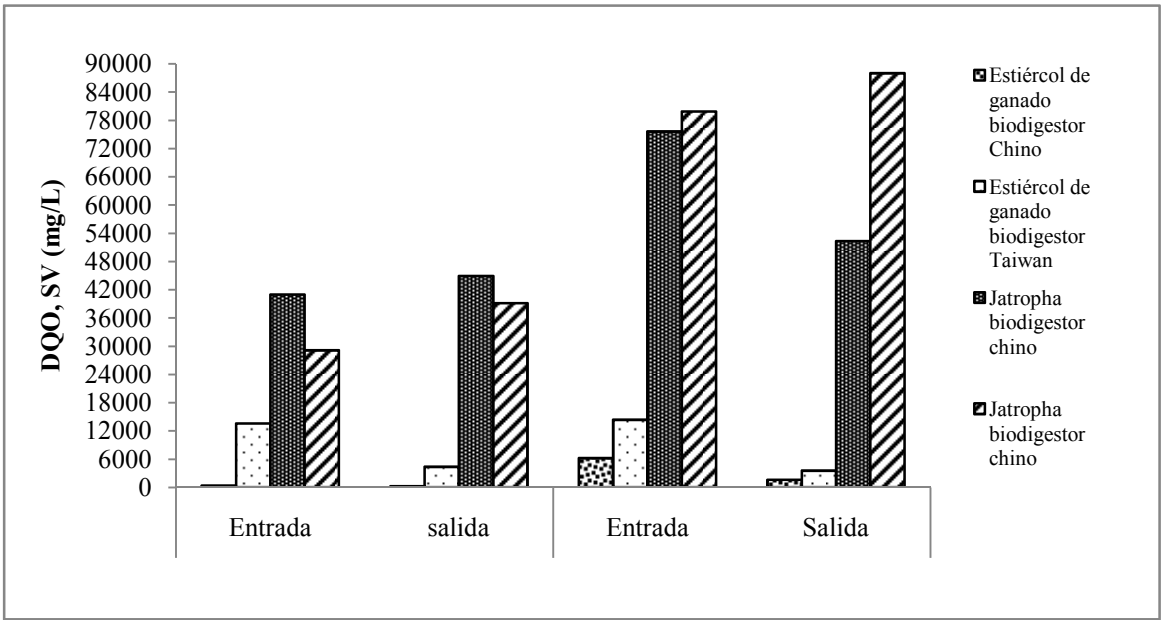

Figura 11. Comparación de reducción de DQO y sólidos volátiles entre entrada y salida de estiércol de ganado y torta de *Jatropha*.

Se encontró mayor cantidad de sólidos totales (ST) en la dilución de torta de *Jatropha* que en la de estiércol de ganado (Fig. 12). La torta de *Jatropha* en los tres análisis realizados se mantuvo por encima de los 4000 mg/L mientras los (ST) del biodigestor alimentado con excretas tenía en promedio 399 mg/L. De manera similar, el porcentaje de materia seca fue mayor para la torta de *Jatropha* con un promedio de 30% en comparación al estiércol de ganado que fue de 17% (Fig. 13).

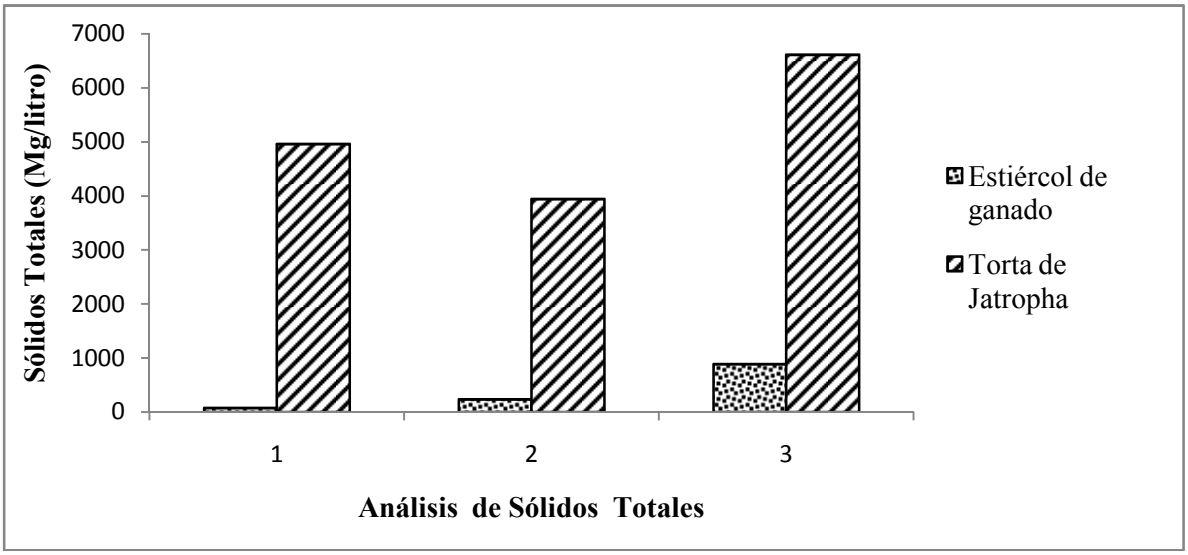

Figura 12. Comparación de sólidos totales entre la dilución de estiércol de ganado y torta de *Jatropha*.

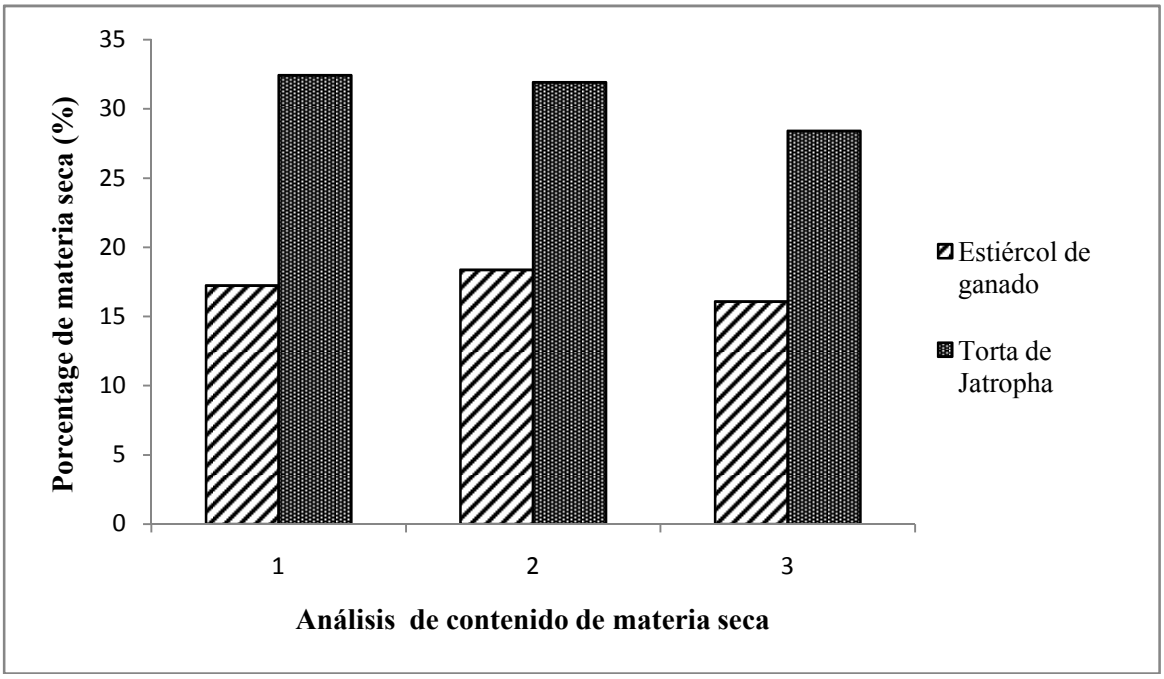

Figura 13. Comparación del porcentaje de materia seca entre el estiércol de ganado y torta de *Jatropha*.

4.4 CONTENIDO DE NUTRIENTES Y TOXICIDAD EN LA TORTA DE *JATROPHA*.

Otro beneficio que se obtiene además de la generación de biogás en los biodigestores, es la obtención de biol. Este puede ser utilizado como biofertilizante por el contenido de nitrógeno, fosforo, potasio entre otros elementos, estos compuestos de alta demanda en la

agricultura. Con los resultados de las muestras enviadas al laboratorio de suelos en Zamorano (Anexo 5), se realizó una comparación entre el biol obtenido del estiércol de ganado y el de la torta de *Jatropha* (Fig. 14). La torta de *Jatropha* presenta valores más altos entre los tres elementos N-P-K, en relación al biol de estiércol de ganado. Se considera que esto debe a que la torta de *Jatropha* es más rica en carbohidratos, fibras, proteínas y aceites; y a que resultan menos digeridas en el biodigestor porque no hay una condición adecuada para la acción de las bacterias. El biol obtenido de la torta de *Jatropha* es también menos líquido en comparación al biol de estiércol de ganado, esto concuerda con los datos de materia seca antes mencionados. El estado de salida del biol limita su uso.

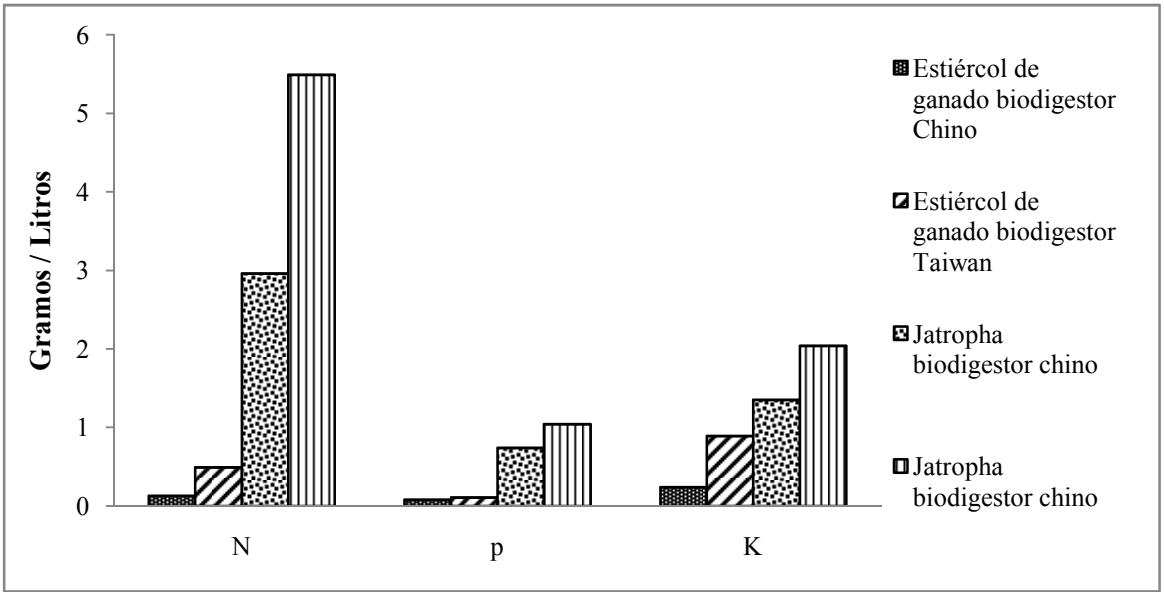

Figura 14. Comparación de N-P-K entre el estiércol de ganado y torta de *Jatropha*.

Como se mencionó anteriormente la torta de *Jatropha* utilizada para el estudio, proviene de una variedad con cierto contenido de toxicidad, el cual solo se evaluó en el biol. El contenido de toxicidad es más alto en el biol de estiércol de ganado que en el de la torta de *Jatropha*, a pesar de que esta última contenga una toxicidad mayor al inicio (Cuadro 5). Esto no confirma que el biol de estiércol de ganado es tóxico para ser usado como fertilizante. El casi 16% de toxicidad que se observó puede deberse a que la *Daphnia magna* es especialmente sensible a algún elemento contenido en el biol. En cuanto al biol de la torta, la reducción del contenido tóxico en este hace suponer que los componentes tóxicos, principalmente esteres de forbol, se quedan dentro del biodigestor (no pasan al biol). Esto concordaría con la baja actividad bacteriana en el biodigestor.

Cuadro 5. Comparación de contenido de toxicidad en el biol del estiércol de ganado y la torta de *Jatropha*.

Fecha	Tipo de dilución	Modelo de Biodigestor	ECO_{50}-24h %	Intervalo de confianza
18/08/10	Estiércol de ganado	Taiwán	15.96	95%
18/08/10	*Jatropha*	Chino	0.020	95%
14/09/10	*Jatropha*	Chino	0.052	95%

4.5 PRODUCCIÓN DE METANO.

En los biodigestores con solo torta de *Jatropha* no se produjo biogás, mientras que en los biodigestores que contenían una mezcla de estiércol de ganado más *Jatropha*, hubo una producción de biogás (Fig. 15). Al comienzo, la mayor parte del biogás producido fue (CO_2), iniciando aproximadamente al día 46 la producción de metano (CH_4). Las barras D1 y D2 corresponden a biodigestores que se utilizó solo estiércol de ganado, se ve claramente que tiene una mayor producción de metano (CH_4). Esto indica que el biogás obtenido en las diluciones de estiércol de ganado más *Jatropha*, se deba probablemente al estiércol de ganado, ya que los biodigestores F5 y F6 que corresponde a solo torta de *Jatropha*, no produjeron biogás.

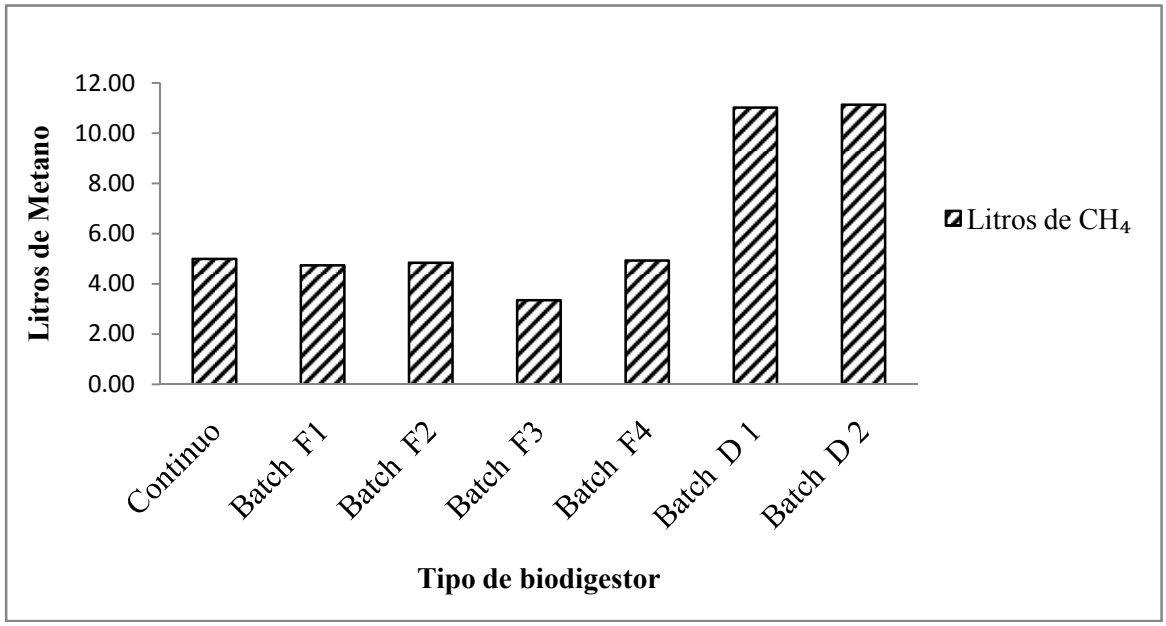

Figura 15. Total producción de metano (CH_4) durante 60 días.

5. CONCLUSIONES

- Para los sistemas analizados en este trabajo, no resulta factible la obtención de biogás y biol a partir de torta de *Jatropha* proveniente de una variedad tóxica. Esto se debe a que en el sistema no hay producción de metano y el biol generado no es recomendable para uso como fertilizante por su alto grado de contaminación producto de la baja actividad bacteriana.

- La torta de *Jatropha curcas* no genera producción de biogás, ya que la toxicidad contenida afecta las actividades de digestión de las bacterias. A pesar de que esta toxicidad disminuye con el paso del tiempo, la regeneración de las bacterias en los sistemas estudiados toma mucho tiempo como para considerar la generación de biogás factible.

- El pH de la torta de *Jatropha*, es ligeramente ácido, provocando que el dióxido de carbono (CO_2) no se diluyera en el sustrato, ocasionando que el contenido de dióxido de carbono en el biogás fuera mayor que el metano (CH_4). Al no generase esta dilución, no se dio la estabilización del pH en el medio de *Jatropha* contrario a lo sucedido en medio de estiércol de ganado.

- No se generó una reducción de coliformes totales, debido a que la actividad de las bacterias anaeróbicas fue afectada por el pH y toxicidad del sustrato de la torta de *Jatropha*. Tampoco se observó una reducción de DQO y sólidos volátiles, por la falta de actividad de las bacterias, por el contrario se observo un incremento en los valores de DQO y SV debido al estiércol contenido en el sistema.

- El contenido de materia seca y sólidos totales en la dilución de la torta de *Jatropha* es mayor en comparación al estiércol de ganado. Esto debido a qué el sustrato en este caso es un sólido mientras que en el caso del estiércol de ganado son excretas mezcladas con orines y agua de lavado.

- Los contenidos de nitrógeno, fosforo y potasio son mayores para el biol de la torta de *Jatropha* que para el biol de estiércol de ganado. No obstante la utilización del biol de la torta de *Jatropha* no es viable ya que está muy contaminado por la carencia de digestión anaerobia, y presenta problemas de olores y fluidez por el alto contenido graso.

6. RECOMENDACIONES

- Realizar nuevas investigaciones usando métodos alternativos que disminuyan el contenido toxico.

- Realizar el mismo estudio pero utilizando torta de *Jatropha* de variedades que no presentan contenidos tóxicos.

- Realizar estudios utilizando un agente alcalino como la cal para controlar el pH de las diluciones de torta de *Jatropha*.

- Realizar nuevas pruebas variables que pueden aumentar la acción bacteriana:

- Investigar si es económicamente factible aplicar un método químico para extraer el contenido de aceite que queda en la torta de *Jatropha* de tal manera que la torta tenga menos esteres de forbol y se aproveche ese aceite.

- Utilizar la torta de *Jatropha* en otros sistemas de generación de energía como quema directa a través de calderas.

- Investigar si se puede usar un tratamiento secundario para reducir la contaminación del biol y verificar si la toxicidad encontrada en el mismo tiene efectos sobre la agricultura.

7. LITERATURA CITADA

Aliaga, L. 2006. Evaluación de producción de biogás utilizando desechos porcícolas de Zamorano. Tesis Lic. Ing. Agr. Tegucigalpa, Honduras, Zamorano. 64p.

Banco Mundial, US. 2008. Biocombustible: Una promesa y algunos Riesgos. Washington, US (en línea). Consultado el 5 de agosto de 2010. Disponible en: http://siteresources.worldbank.org/INTWDR2008/Resources/27950871191440805557/4249101-1191956789635/02_biocombustibles.pdf.

Biodigestores y Otras Soluciones Energéticas. Guía de diseño y manual de instalación. (En línea) Consultado el 22 de septiembre del 2010. Disponible en**:** http://biodigestores.org/category/informacion-general/

Botero, R; Preston TR. 1987. Biodigestores de Bajos Costos para la Producción de Combustibles y Fertilizantes a partir de Excretas. Manual Para su Instalación, Operación y Utilización. Edición 1987. 20p.

Casotti, WJ. 2008. *Jatropha*, perspectivas para la república de Argentina. (En línea). Consultado el 28 de Septiembre del 2010. Disponible en: http://www.engormix.com/jatropha_perspectivas_republica_argentina_s_articulos_2085_AGR.htm

Castro, H. 2009. Diseño de una Planta de Extracción, Semi-efinamiento y Transesterificación de Aceite de *Jatropha* (*Jatropha curcas L.*). Tesis Lic. Ing. Agr. Tegucigalpa, Honduras, Zamorano. 87p.

Claure, J; Morales, C; Orlando T. 1992. Manejo de efluentes. Proyecto biogás UMSS – GTZ. Cochabamba, Bolivia. 14p.

Chango, N. 2009**.** Análisis de la Adopción de *Jatropha* (*Jatropha* curcas L.) a Nivel de Pequeñas Produciones en Yoro, Honduras. Tesis Lic. Ing. Agr. Tegucigalpa, Honduras, Zamorano. 40p.

Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE), Honduras. Centrales, descripción del sistema (en línea). Consultado el 5 de agosto del 2010. Disponible en: http://www.enee.hn/.

Flotats, X; Campos, E. Bonmatí, A. 1997 Aprovechamiento energético de residuos Ganaderos. Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo. "Universitat de Lleida". 21p.

Guardado, J. 2009. Remoción de barreras con biogás, Doctor en Ciencias Técnicas. Miembro de la Junta Directiva de CUBASOLAR. Autor del libro Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas (en línea). Consultado el 13 de octubre del 2010 disponible en:
http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia44/HTML/Articulo

Hernández, C. 2009. Captura y aprovechamiento del biogás de los rellenos sanitarios "san Nicolás" y "Las Cumbres" del municipio de Aguascalientes: Modelos de concertación internacional: el espacio local en el marco de la economía global de mecanismos de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kyoto. (En línea). IRG (Institute of Research and Debat on Gobernance) Aguascalientes, México. Consultado el 20 de Mayo, 2010. Disponible en:
http://www.institut-gouvernance.org/en/analyse/fiche-analyse-441.html

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS. 1980. Digestores de desechos orgánicos. Organización Latinoamericana de Energía, Cuernavaca, Morelos (México) Boletín Energético 14.

Kossmann, W; Pönitz, U. 1989 Biogas Digest. Volumen 1. "Biogas Basics Information and Advisory Service on Appropriate Technology". 48p.

Manuales sobre energía renovable: Biomasa/ Biomass Users Network (BUN-CA). -1 ed. -San José, C.R, 2002 (en línea). Consultado el 6 de agosto de 2010. Disponible en: http://www.bun-ca.org/publicaciones/BIOMASA.pdf.

Santologo, J. 2007. Potencialidades Energéticas y Medioambientales del Arbol de *Jatropha* curcas L. en las Condiciones Edafológicas de la Región Semiárida de la Provincia de Guantánamo (en línea). Autores: *José Ángel Sotolongo, Pedro A. Beatón Delgado, Armando Díaz García, Sofía Montes de Oca López, Yadiris del Valle Atala, Soraya García Pavón.* Consultado el 8 de Junio de 2010. Disponible en: http://www.uo.edu.cu/ojs/index.php/tq/article/viewFile/2426/1957.

Secretaría de recursos naturales. Dirección General de Agricultura. Departamento Nacional de Extensión Agrícola. 1991. Tecnología Apropiada. Manual de construcción, uso y manejo de Biodigestores. Honduras. 40p.

Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC). 2002 Guía ambiental para el subsector porcícola. Colombia. 102 p.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y alimentación (FAO), Mitigación del Cambio Climático y la Adaptación en la Agricultura, Silvicultura y la Pesca(en línea). Consultado el 5 de agosto de 2010. Disponible en: ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/i0142s/i0142s00.pdf.

Parthiban, KT; Kumar, RS; Thiyagarajan, P; Subbulakshmi, V; Vennila, S. 2009. Hybrid progenies in *Jatropha* - a new development. Current Science 96(6):815-823. (En línea). Consultado 28 de Septiembre del 2010. Disponible en: http://www.elibrary.icrisat.org/SATELib_files/SAT%20Elec_Lib_News_6(4)_2009.htmSaléNA;Dewes,H.2009

Villalta, M. 2009. Estudio descriptivo del comportamiento del piñón (*Jatropha curcas L.*) en el departamento de Yoro, Honduras. Tesis Lic. Ing. Agr. Tegucigalpa, Honduras, Zamorano. 25p.

Visser, J; Adriaans, T. 2007. "Anaerobic digestion of *Jatropha* curcas Press" Cake. 18 de enero del 2007. 21 P. sitio web:
http://www.ingenia.nl/Flex/Site/Page.aspx?SectionID=1470&Lang=NL

Werner, U; Stöhr, U; Hees, N. s.f. Biogas Plants in Animal Husbandry. Deutshce Zentrum Für Entiwicklungstechnologien (GATE) (en línea). Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) Consultado el 24 de septiembre de 2010. Disponible en: www.undp.kz/library_of_publications/files/155-28461.zip

8. ANEXOS

Anexos 1. Análisis de DQO y Sólidos volátiles de torta de *Jatropha*, biodigestor continuo.

Código: RT-02
Quinta versión

INFORME DE RESULTADOS No. 4224

Identificación de muestra: ENTRADA Y SALIDA JATROPHA
Tipo de muestra: DESECHOS BIOLOGICOS **Cantidad:** 500 ML
Procedencia: ESCUELA AGRÍCOLA PANAMERICANA EL ZAMORANO
Dirección: EL ZAMORANO, VALLE DEL YEGUARE, CARRETERA DE ORIENTE
Solicitado por: ING. MILLY CORTÉS / FREDY OYUELA
Responsable toma de muestra: LA EMPRESA DE PROCEDENCIA
Lote Nº: ---------- **Elaboración:** ---------- **Vencimiento:** ----------
Toma de muestra: 19/08/2010 **Fecha ingreso:** 19/08/10; 10:00 AM
Fecha de análisis: 19/08/10 – 26/08/10 **Fecha entrega:** 27/08/10

Análisis	Resultado	Incertidumbre expandida*	Valor Normal**
ENTRADA JATROPHA (FREDY OYUELA)			
Sólidos Totales Volátiles	75 580 mg/L	N/A	----------
DQO	40 937,60 mg/L	N/A	----------
SALIDA JATROPHA (FREDY OYUELA)			
Sólidos Totales Volátiles	52 280 mg/L	N/A	----------
DQO	44 891,80 mg/L	N/A	----------

---------- ULTIMA LINEA ----------

Descripción de la muestra: Líquido de color café con abundantes partículas en suspensión.

Condiciones de la muestra: La muestra se recibió bajo condiciones de refrigeración.

Observaciones: * k=2 Límite de confianza 95% ** Referencia de valores normales al reverso. N/A = No aplica.

JEFE DE AREA FISICO-QUIMICA
Ing. Victoria Cortés

DIRECCION TECNICA
Ing. Victoria Cortés

Anexos 2. Análisis de DQO y sólidos volátiles del estiércol de ganado, biodigestor Taiwán.

Código: RT-02
Quinta versión

INFORME DE RESULTADOS No. 4264

******El presente informe sustituye al RT-02 # 4225******

Identificación de muestra: ENTRADA Y SALIDA TAIWAN
Tipo de muestra: DESECHOS BIOLÓGICOS **Cantidad:** 500 ML
Procedencia: ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA EL ZAMORANO
Dirección: EL ZAMORANO, VALLE DEL YEGUARE, CARRETERA DE ORIENTE
Solicitado por: ING. MILLY CORTÉS / DANIEL MOSCOSO
Responsable toma de muestra: LA EMPRESA DE PROCEDENCIA
Lote Nº: ---------- **Elaboración:** ---------- **Vencimiento:** ----------
Toma de muestra: 19/08/2010 **Fecha ingreso:** 19/08/10; 10:00 AM
Fecha de análisis: 19/08/10 – 26/08/10 **Fecha entrega:** 27/08/10

Análisis	Resultado	Incertidumbre expandida*	Valor Normal**
ENTRADA TAIWAN (DANIEL MOSCOSO)			
Sólidos Totales Volátiles	17 945 mg/L	N/A	----------
DQO	17 910 mg/L	N/A	----------
SALIDA TAIWAN (DANIEL MOSCOSO)			
Sólidos Totales Volátiles	1 845 mg/L	N/A	----------
DQO	4 419,40 mg/L	±384,48 mg/L	----------
---------- ULTIMA LINEA ----------			

Descripción de la muestra: Líquido de color café con abundantes partículas en suspensión.

Condiciones de la muestra: La muestra se recibió bajo condiciones de refrigeración.

Observaciones: * k=2 Límite de confianza 95% ** Referencia de valores normales al reverso. N/A = No aplica.

JEFE DE AREA FISICO-QUIMICA
Ing. Victoria Cortés

DIRECCIÓN TECNICA
Ing. Victoria Cortés

Anexos 3. Análisis de N-P-K y relación carbono nitrógeno del estiércol de ganado y trota de *Jatropha*.

ZAMORANO LABORATORIO DE SUELOS

CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCION AGROPECUARIA

Zamorano tels. (504) 776-6140 al 50 ext. 2316 Fax: (504) 776-6242

Fecha: 23 de julio y 19 de agosto de 2010

Resultado de análisis de abonos liquidos

Solicitante: DANIEL MOSCOSO

Metodos:
N: Metodo de Kjeldahl modificado
K: Digestion humeda con H_2SO_4 y H_2O_2, determinados por Absorcion atomica
P: Digestion humeda con H_2SO_4 y H_2O_2, determinado por espectrofotometria (colorimetria)

		Total (g/L)			
# Lab.	Muestra	N	P	K	Rel C/N
10-O-1114	Salida CB 23/07/2010	0.13	0.08	0.24	
10-O-1115	Salida 23/07/2010	0.49	0.11	0.89	
10-O-1116	Salida Verde 23/07/2010	0.09	0.04	0.19	
10-O-1117	Entrada 23/07/2010				9.6
10-O-1406	Salida Taiwan 19/08/2010	0.44	0.10	0.79	
10-O-1407	Entrada Taiwan 19/08/2010				20.9
10-O-1408	Salida Jatropha 19/08/2010	2.96	0.74	1.35	
10-O-1409	Entrada Jatropha 19/08/2010				9.9

Responsable:_____
Ing. Hilda Flores

Anexos 4. Primer análisis de toxicidad del estiércol de ganado y la torta de *Jatropha*.

República de Honduras

Centro de Estudios y Control de Contaminantes, CESCCO
Barrio Morazán, frente a la Central de Bomberos, Tegucigalpa, M.D.C.
Tel: (504) 231-1006 ó 239-0194 Fax: 239-0954
Página Web: www.cescco.gob.hn E-mail: cescco@cablecolor.hn

SERNA
SECRETARÍA DE RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

LABORATORIO DE ECOTOXICOLOGIA
Informe de Análisis

Informe No. 467 **Fecha:** 13/09/10 **Orden de Pago:** 092 **Fecha:** 29/07/10
Recibo No. 5495230 **Fecha:** 29/07/10 **Valor:** 8,250.00

1. **Nombre del solicitante**: Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano	2. **Dirección del Solicitante:** El Zamorano
3. **Nombre de la muestra:** Agua	4. **Procedencia:** El Zamorano
5. **Fecha y hora de recolección:** 18/08/10	6. **Se preservó la muestra en condiciones de refrigeración: Si No** X
7. **Punto de recolección:** Salida Taiwán y Salida Jatropha (respectivamente)	8. **Responsable de la recolección:** Jonathan Ocampo

9. **Resultado del análisis**: La muestra presentó resultados positivos para toxicidad aguda (24 h) en el organismo de ensayo (Daphnia magna).

No. de Muestra	Fecha Ingreso	EC_{50}-24 h %	Intervalo de confianza 95%
295	18/08/2010	15,96%	13,81-18,11%
296	18/08/2010	0,020%	0,014-0,029%

10. **Valor referencia de sensibilidad**: 0,97 mg/L ($K_2Cr_2O_7$)

11. **Abreviaciones**: EC_{50}: Concentración efectiva en el 50% de los organismos.
$K_2Cr_2O_7$: Solución de referencia de Dicromato de Potasio. mg/L: Concentración en miligramos por litro.
24 h: Tiempo de prueba en horas%: Concentración en Porcentaje.

12. **Observaciones**: Las muestras analizadas presenta toxicidad para el organismo de prueba Daphnia magna.
Protocolo empleado: AFNOR 90-301.

Lic. Nersy Barahona
Jefe Laboratorio Ecotoxicología
CC: Archivo.

DR. VICTOR MANUEL MELENDEZ
Director CESCCO

CESCCO DIRECCION

"No se permite reproducir parcial o totalmente el certificado de resultados sin aprobación del laboratorio"

Anexos 5. Segundo análisis de toxicidad del estiércol de ganado y la torta de *Jatropha*.

República de Honduras

Centro de Estudios y Control de Contaminantes, CESCCO
Barrio Morazán, frente a la Central de Bomberos, Tegucigalpa, M.D.C.
Tel: (504) 231-1006 ó 239-0194 Fax: 239-0954
Página Web: www.cescco.gob.hn E-mail: cescco@cablecolor.hn

SERNA

LABORATORIO DE ECOTOXICOLOGIA
Informe de Análisis

Informe No. 477 **Fecha:** 27/09/10 **Orden de Pago:** 092 **Fecha:** 29/07/10
Recibo No. 5495230 **Fecha:** 29/07/10 **Valor:** 8,250.00

1. **Nombre del solicitante:** Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano	2. **Dirección del Solicitante:** El Zamorano
3. **Nombre de la muestra:** Agua	4. **Procedencia:** El Zamorano
5. **Fecha y hora de recolección:** 13/09/10 3:30 pm.	6. **Se preservó la muestra en condiciones de refrigeración: Si No** X
7. **Punto de recolección:** Salida Jatropha	8. **Responsable de la recolección:** Fredy Oyuela

9. **Resultado del análisis:** La muestra presentó resultados positivos para toxicidad aguda (24 h) en el organismo de ensayo (Daphnia magna).

No. de Muestra	Fecha Ingreso	EC_{50}-24 h %	Intervalo de confianza 95%
339	14/09/2010	0,052%	0,039 – 0,069%

10. **Valor referencia de sensibilidad:** 1,06 mg/L ($K_2Cr_2O_7$)

11. **Abreviaciones:** EC_{50}: Concentración efectiva en el 50% de los organismos.
$K_2Cr_2O_7$: Solución de referencia de Dicromato de Potasio. mg/L: Concentración en miligramos por litro.
24 h: Tiempo de prueba en horas%: Concentración en Porcentaje.

12. **Observaciones:** Las muestras analizadas presenta toxicidad para el organismo de prueba Daphnia magna.
Protocolo empleado: AFNOR 90-301.

Lic. Mersy Barahona
Jefe Laboratorio Ecotoxicología
cc. Archivo

DR. VICTOR MANUEL MORENDEZ
Director CESCCO

CESCCO DIRECCION

Anexos 6. Calculo de producción de metano midiendo el poder calorífico del metano a partir de la torta de *Jatropha*.

	biodigestor continuo						
	tiempo de quema	Δ Tem.	Δ Tem/2 min	kcal	Litr CH4 (9 kcal/litr	Litr CH4 (9.45 kcal/lit	% de CH4 asumido
0	0.00	0	0	0	0	0	0.00
06/08/2010	0.00	0	0	0	0	0	0.00
14/08/2010	0.00	0	0	0	0	0	0.00
23/08/2010	0.00	0	0	0	0	0	0.00
02/09/2010	0.00	0	0	0	0	0	0.00
11/09/2010	0.00	0	0	0	0	0	0.00
18/09/2010	140.00	11.00	9.43	9.43	1.05	1.00	40.78
24/09/2010	125.00	12.00	11.52	11.52	1.28	1.22	49.82
28/09/2010	75.00	7.50	12.00	12.00	1.33	1.27	51.90
01/10/2010	55.00	5.50	12.00	12.00	1.33	1.27	51.90
Total	395.00	36.00	44.95	44.95	4.99	4.76	

	F1 (manometro)						
Fecha	tiempo de quema	Δ Tem.	Δ Tem/2 min	kcal	Litr CH4 (9 kcal/litr	Litr CH4 (9.45 kcal/lit	% de CH4 asumido
0	0.00	0	0	0	0	0	0.00
06/08/2010	0.00	0	0	0	0	0	0.00
14/08/2010	0.00	0	0	0	0	0	0.00
23/08/2010	0.00	0	0	0	0	0	0.00
02/09/2010	0.00	0	0	0	0	0	0.00
11/09/2010	0.00	0	0	0	0	0	0.00
18/09/2010	105.00	8.00	9.14	9.14	1.02	0.97	39.54
24/09/2010	90.00	7.50	10.00	10.00	1.11	1.06	43.25
28/09/2010	66.00	6.50	11.82	11.82	1.31	1.25	51.11
01/10/2010	36.00	3.50	11.67	11.67	1.30	1.23	50.45
Total	297.00	25.50	42.63	42.63	4.74	4.51	

	F2 (manometro)						
Fecha	tiempo de quema seg.	Δ Tem.	Δ Tem/120 seg	kcal	Litr CH4 (9 kcal/litr	Litr CH4 (9.45 kcal/lit	% de CH4 asumido
0	0.00	0	0	0	0	0	0.00
06/08/2010	0.00	0	0	0	0	0	0.00
14/08/2010	0.00	0	0	0	0	0	0.00
23/08/2010	0.00	0	0	0	0	0	0.00
02/09/2010	0.00	0	0	0	0	0	0.00
11/09/2010	0.00	0	0	0	0	0	0.00
18/09/2010	95.00	7.50	9.47	9.47	1.05	1.00	40.97
24/09/2010	85.00	7.50	10.59	10.59	1.18	1.12	45.79
28/09/2010	68.00	6.50	11.47	11.47	1.27	1.21	49.61
01/10/2010	25.00	2.50	12.00	12.00	1.33	1.27	51.90
Total	273.00	24.00	43.53	43.53	4.84	4.61	

Anexos 7. Total de producción de metano producido en los Biodigestores con estiércol de ganado y torta de *Jatropha*.

Descripción	46 Días	52 Días	56 Días	60 Días
Biodigestor continuo	1.048	1.280	1.333	1.333
F1 (manómetro)	1.016	1.111	1.313	1.296
F2 (manómetro)	1.053	1.176	1.275	1.333
F3 (neumático)	0.000	1.036	1.149	1.159
F4 (neumático)	1.026	1.181	1.351	1.368

Anexos 8. Prueba estadística T de Student entre termómetro infrarrojo y de mercurio.

Descripción	Entrada Interna	Entrada interna
Promedio ($\overline{x}$)	26.68	25.22
sx^2	3.098	1.222
Error estándar ($s\overline{x}$)	0.268	0.168
Tamaño de la mustran n-1	44.00	44.00
Error estándar ponderado $S\overline{x}1 - \overline{x}2$	0.316	
Grados de libertad (Gl)	86	
tx1-tx2	4.608	
tα	2.00	
tx1-tx2> tα		
p<0.05	Si hay significancia.	

Anexos 9. Cantidad de energía producida por hectárea de *Jatropha curcas L.*

Productos	Peso de Producto (Kg)	Energía Producida (Kcal/kg)
Frutos	3500	5064
Semilla	2500	6091
Cáscara	1000	2651
Aceite	750	9335
Torta de *Jatropha*	1750	5995

Fuente: Santologo J. *et al.* 2007. Potencialidades Energéticas Y Medioambientales Del Árbol *Jatropha curcas L.* En Las Condiciones Edafoclimáticas De La Región Semiárida De La Provincia De Guantánamo.