

Potencial de la digestión anaerobia en la unidad de ganado lechero de Zamorano

Daniel Moscoso Balanza

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2010

ZAMORANO
CARRERA DE DESARROLLO SOCIECONÓMICO Y AMBIENTE

Potencial de la digestión anaerobia en la unidad de ganado lechero de Zamorano

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:

Daniel Moscoso Balanza

Zamorano, Honduras

Diciembre, 2010

Potencial de la digestión anaerobia en la unidad de ganado lechero de Zamorano

Presentado por:

Daniel Moscoso Balanza

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

Moscoso, D. 2010. Potencial de la digestión anaerobia en la Unidad de Ganado Lechero de Zamorano. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 46p.

En el presente estudio se evaluó el potencial que la Unidad de Ganado Lechero de Zamorano tiene para la utilización de un biodigestor y las oportunidades tanto económicas como ambientales que éste puede brindar. Para el análisis se usaron dos tipos de biodigestores: Taiwán y Batch. Para el biodigestor tipo Taiwán se determinó una producción de 0.15 y 1.36 m³ de Metano (CH₄) diarios durante la época húmeda y seca respectivamente. Los biodigestores tipo Batch presentaron en promedio un potencial de producción de 0.68 y 6.12 m³ de CH₄ diarios para la época húmeda y seca respectivamente. Se determinó que esta diferencia del 78% es explicada por las fallas y fugas presentes en el biodigestor tipo Taiwán. Según la producción del biodigestor tipo Batch, se determinó que con las excretas de la unidad se puede generar el Biogás para calentar el agua del establecimiento para los dos lavados diarios durante la época seca y un lavado diario durante la época húmeda, lo que puede representar un ahorro en energía eléctrica equivalente a \$1,277 anuales. También se registró una producción de Biol que puede llegar a suplir hasta 50 qq de Urea equivalentes a más de \$1,000 anuales. Para lograr estos beneficios es necesario invertir en maquinaria e infraestructura. Será necesario considerar la construcción de un nuevo biodigestor con la capacidad adecuada, la compra de un calentador a gas y la construcción de un patio de secado del Biol para hacer viable su uso.

Palabras clave: Biodigestor, digestión anaerobia, excretas de ganado vacuno, metano

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido.....	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	v
Símbolos y abreviaturas.....	vii
Siglas	ix
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
5. CONCLUSIONES.....	27
6. RECOMENDACIONES.....	28
7. BIBLIOGRAFÍA.....	29
8. ANEXOS.....	33

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadro		Página
1.	Composición del Biogás.....	6
2.	Relación Temperatura-Tiempo de retención.....	8
3.	Relación C/N en el punto de entrada del sistema de digestión anaerobia.....	19
4.	Producción teórica de biogás por sólidos volátiles producidos.....	20
5.	Producción teórica de biogás por DQO producido.....	20
6.	Producción teórica de biogás por peso húmedo de la materia orgánica.....	21
7.	Producción diaria real de CH ₄ registrada en el biodigestor tipo Taiwán.....	22
8.	Producción diaria real de CH ₄ registrada en el biodigestor tipo Batch.....	22
9.	Cantidad de Biogás necesario para calentar el agua por lavado.....	22
10.	Comparación de producción de CH ₄ en el Biodigestor tipo Taiwán, tipo Batch y producción teórica por Kg de DQO.....	22
11.	Reducción de Coliformes termotolerantes, no termotolerantes y totales.....	24
12.	Porcentaje de reducción de DQO y Sólidos volátiles.....	24
13.	Comparación del contenido nutricional de la urea y el biol.....	25
14.	Equivalencia de la producción de biol en qq de urea.....	25
15.	Ahorro anual por uso de biogás para calentar el agua para el lavado de la máquina ordeñadora.....	26
16.	Ahorro anual por uso del biol como fertilizante en lugar de urea.....	26
Figura		Página
1.	Proceso de la descomposición de la materia orgánica.....	7
2.	Adaptadores para válvula con cinta teflón.....	12
3.	Adaptadores conectados a una válvula y a un conector en T.....	12
4.	Cortes de la manguera para gas en pedazos de 20, 25 y 105 cm.....	13
5.	Mangueras para gas conectadas a la válvula y conector en T.....	13
6.	Casquillo perforado y conectado al conector en T.....	13
7.	Tapa de botellón de agua perforada y conectada al casquillo.....	13
8.	Biodigestores tipo Batch terminados.....	14
9.	Temperatura en los tres puntos del sistema de digestión anaerobia.....	19
10.	Comparación de pH en la entrada y salida del sistema de digestión anaerobia.....	19
11.	Reducción de Coliformes termotolerantes, no termotolerantes y totales.....	23
12.	Reducción de DQO y sólidos volátiles.....	24

Anexo	Página
1. Comparación de termómetros en el punto de entrada del sistema.....	33
2. Diferencia significativa entre los termómetros en el punto de entrada del sistema....	34
3. Comparación de termómetros en el punto de salida del sistema.	35
4. Diferencia significativa entre los termómetros en el punto de salida del sistema.	36
5. Comparación de temperaturas superficiales en los puntos de entrada y salida del sistema.	37
6. Diferencia significativa entre las temperaturas de los puntos de entrada y salida con el termómetro infrarrojo.....	38
7. Comparación de temperaturas internas en los puntos de entrada y salida del sistema	39
8. Diferencia significativa entre las temperaturas de los puntos de entrada y salida con el termómetro de mercurio.....	40
9. Comparación de producción real de CH ₄ real vs producción esperada.....	41
10. Resultados Unilab muestra de excremento y agua. 23/06/2010	42
11. Resultados Unilab muestra Biol. 23/06/2010	43
12. Resultados Unilab. Entrada y Salida biodigestor Taiwán. 19/08/2010	44
13. Resultados Laboratorio de Suelos Zamorano. 23/06/2010.....	45
14. Resultados Laboratorio de Suelos Zamorano. 23/08/2010; 19/08/2010.....	46

SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

BPD:	Barriles por día
BTU/Pie ³ :	“British Thermal Unit” por pié cúbico
C:	Capacidad calorífica del agua (0.001Kcal/g°C)
cm:	Centímetro
CO:	Monóxido de carbono
CO ₂ :	Dióxido de carbono
°C:	Grados centígrados
D:	Número de días de almacenaje del biogás
DQO:	Demanda Química de Oxígeno
g:	Gramo
g/l:	Gramos por litro
H ₂ :	Hidrógeno
H ₂ O ₂ :	Peróxido de hidrógeno
H ₂ S:	Sulfuro de hidrógeno
H ₂ SO ₄ :	Acido sulfúrico
Kcal:	Kilocalorías
Kcal/l:	Kilocalorías por litro
Kw:	Kilowatts
Kwh:	Kilowatts-hora
Kwh/año:	Kilowatts-hora por año
L:	Litro
M:	Masa del agua calentada en gramos
ml:	Mililitro
m ³ :	Metros cúbicos
N-P-K:	Nitrógeno, fósforo y potasio
N ₂ :	Nitrógeno
O ₂ :	Oxígeno
PA:	Peso inicial
PB:	Peso final
PC:	Potencial calorífico del metano
pH:	Nivel de acidez
PVC:	Poli Cloruro de Vinilo
Q:	Kilocalorías utilizadas para calentar el agua
qq:	Quintales
R. C/N:	Relación carbono-nitrógeno
S.T:	Sólidos totales
Ton:	Toneladas
T ₀ :	Temperatura inicial

T_f: Temperatura final
UFC/100 ml: Unidades formadoras de colonias en 100 mililitros
USD: Dólares americanos
V: Volúmen
μl: Microlitro
%M.S: Porcentaje de materia seca

SIGLAS

CENTA:	Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal
CIPAV:	Centro para la Investigación en Sistemas Sustentables de Producción Agrícola
FAO:	“Food and Agriculture Organization”
GTZ:	“GATE in Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit”
ICA:	Instituto Colombiano Agropecuario
ISAT:	“Information and Advisory Service on Appropriate Technology”
ONU:	Organización de las Naciones Unidas
SAC:	Sociedad de Agricultores de Colombia
SERNA:	Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente

1. INTRODUCCIÓN

En Zamorano, las Empresas Universitarias consumen aproximadamente el 30% de la energía consumida por la institución. A su vez, la unidad de ganado lechero ocupa aproximadamente el 2% del total consumido por dichas empresas. En los meses más bajos del 2009 la unidad llegó a consumir 6,807 Kwh y 9,090 Kwh en los más altos. Los gastos totales anuales en concepto de energía incurridos para dicha unidad en ese mismo año fueron \$13,656.

En el 2009 se instaló un biodigestor experimental en la unidad para estudiar formas de reducir su factura eléctrica. El biodigestor de la unidad de ganado lechero en Zamorano ha sido establecido con fines académicos y con el objetivo que dicha unidad sea auto sostenible. Sin embargo la investigación de Luna y Medina (2009) ha demostrado hasta ahora que el sistema no es sostenible para la generación eléctrica. De cualquier modo la generación de energía eléctrica no es la única opción para usar el biogás que se puede producir.

El calentamiento de agua para el lavado de herramientas y maquinaria representa 12.9% de su consumo total de energía (Medina y Luna 2009) lo que significan \$1,761. Utilizar el biogás como un método alternativo para esta actividad resulta entonces una acción válida para reducir los costos y el impacto ambiental.

El objetivo general de este estudio es evaluar el potencial de producción de biogás y biol a partir de las excretas de ganado bobino en la unidad de ganado lechero en Zamorano, usando un sistema de biodigestión en húmedo. Más específicamente, determinar si existe algún beneficio tanto ambiental como económico por utilización del biogás para el calentamiento del agua de lavado de la máquina ordeñadora y la fertilización de los potreros en la unidad.

El presente trabajo se realizó en el marco del tiempo para realizar los proyectos de graduación en Zamorano. El mismo comprende desde Mayo de 2010 y culmina con la presentación del documento final en Octubre del mismo año. El proyecto se limitará a analizar la generación de biogás usando las excretas producidas en la unidad de ganado lechero en Zamorano, y analizar la factibilidad de usar el biogás para el calentamiento del agua de la unidad.

1.1 ANTECEDENTES

En los últimos años la limitación de recursos fósiles nos ha obligado a incurrir en la búsqueda de nuevas fuentes para la producción de energía. Algunos ejemplos son energía solar, eólica, hidrológica y biogás. Todas estas fuentes tienen algo en común; son amigables para el ambiente y provienen de fuentes renovables. Sin embargo hay algo que diferencia al biogás del resto, y es el simple hecho de que éste necesita la recolección de desechos orgánicos para su producción, reduciendo el impacto que las actividades agrícolas tienen sobre nuestro planeta (Taleghani y Kia 2005).

Por otro lado el mal manejo de los residuos orgánicos libera cantidades significativas de metano (CH_4) y Dióxido de Carbono (CO_2) en la atmósfera, acelerando el proceso de calentamiento global e incrementando el impacto del efecto invernadero. El uso del biogás tiene un gran potencial en cuanto a la reducción de emisiones de estos dos gases ya que éste se obtiene a partir de la conversión de biomasa y residuos orgánicos, causantes parciales de la liberación de CO_2 y CH_4 en la atmósfera. Además permite reducir el uso de combustibles fósiles para la producción de energía renovable (Demirel y Scherer 2009).

A pesar que ya existen proyectos a gran escala para la generación de energía a partir de biogás como el proyecto “Ecomethane” en Brasil, es muy común encontrarse con pequeños proyectos familiares de biogás en áreas rurales de Latinoamérica. Esto se debe a la facilidad de generación y bajos costos de inversión para la construcción de un biodigestor. Por ejemplo en el altiplano Boliviano se ha implementado desde el 2006 el proyecto de “viviendas auto-sostenibles” en el cual se han construido ya más de 300 biodigestores con los cuales los pobladores de esta zona rural se ven beneficiados con una fuente energética que antes no tenían. Algunos de los beneficios que dicho proyecto atrae son: (1) mitigar la alta contaminación ambiental local y mejorar la salud pública; (2) abastecimiento de energía para la vivienda familiar; (3) manejo adecuado de residuos; (4) reducción del deterioro del medio ambiente; (5) mejorar la calidad de vida de las áreas rurales; (6) obtención fácil de una fuente energética para iluminación y cocción de alimentos; (7) no necesidad de estar conectado a las actuales y caras fuentes de energía (Campero s.f.).

El biogás no solo es utilizado para la generación de energía eléctrica como un medio alternativo a los combustibles fósiles sino que en algunos casos está reemplazando el uso de gasolina como combustible. En los Estados Unidos y Europa, su aprovechamiento ha ido incrementando en los últimos años. Suecia por ejemplo, que fue uno de los pioneros en el tema, inició a refinar el biogás para obtener CH_4 puro hace 60 años, y utilizarlo como combustible de automóviles (Walsh *et al.* 1988).

De igual manera el proyecto de captura y aprovechamiento de los rellenos sanitarios de San Nicolás y Las Cumbres en Aguascalientes, México ha beneficiado a la comunidad con la quema de aproximadamente $16,206,000 \text{ m}^3$ de biogás al año. Esto es beneficioso en más de un sentido pues además de generar energía para las poblaciones mencionadas, se está siendo más amigable con el ambiente al darle un manejo apropiado a los residuos en los rellenos sanitarios. Cabe mencionar también que el proyecto no solo ha beneficiado a Aguascalientes con la generación de energía sino que también la ONU autorizó la venta

de bonos de carbono, generando ingresos de aproximadamente 100,000 dólares americanos (Hernández 2009).

En Centro América también destacan algunos proyectos como el de la empresa Aqualimpia en San Pedro Sula Honduras, el cual consta de una planta de producción de biogás y generación de energía eléctrica, aprovechando el estiércol de cerdo. Dicho proyecto tiene una capacidad de producción de aproximadamente 300 Kw de energía eléctrica. Así mismo en El Salvador, con el apoyo de CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal) y la FAO se instalaron biodigestores con los cuales los pobladores de Ocotillo aprovechan el biogás para la cocción de sus alimentos y el abono líquido o Biol para la fertilización de sus hortalizas (Aliaga 2006).

En Zamorano, se han elaborado algunos estudios sobre la producción de biogás a partir de desechos de ganado porcino y lechero. En 2006 se realizó un estudio sobre el uso de un biodigestor tipo Taiwan y un biodigestor tipo FAO en la unidad de ganado porcino donde se determinaron potenciales de 5,518 Kwh/año y 134,908 Kwh/año respectivamente, lo que podría significar aproximadamente \$584 y \$14,283 por año de ahorro para dicha unidad (Aliaga 2006). De igual manera en 2009 se realizó un estudio sobre la rentabilidad económica en el uso de un biodigestor para la unidad de ganado lechero, en el cual se determinó que se podrían obtener ahorros energéticos entre 4,856 y 5,931 Kwh/año, lo que equivaldría a un ahorro anual entre \$714 y \$ 872, supliendo entre el 5 y 6% de los requerimientos anuales de energía (Medina y Luna 2009).

1.2 CONTEXTO

Sin duda alguna, los procesos de globalización han generado un alto desarrollo tecnológico y el mundo del petróleo ha cambiado con el paso de los años. En la actualidad los conceptos de eficiencia y competitividad han impactado el desarrollo de la industria petrolífera así como el mercado del petróleo mundial. Los objetivos de las compañías sin duda alguna están dirigidos a la búsqueda de nuevas fuentes de petróleo como recurso energético (Zanoni 2004).

Según el Diario de Economía y Gestión del Perú, la demanda petrolera mundial se acelerará en el 2010 conforme las economías industrializadas del mundo se vayan recuperando de la crisis económica. El crecimiento de la demanda será del orden del 1.7% diario según la IEA (International Energy Agency). El consumo mundial de petróleo en el 2010 llegará a 86.3 millones BPD (barriles por día), un incremento de 1.5 millones BPD comparado con años pasados.

El petróleo como tal no tienen ningún uso, necesita ser refinado para la obtención de gasolina o diesel que son los dos combustibles principales utilizados en los automóviles. Sumado a esto se encuentra la generación de energía eléctrica, que en los últimos años también ha incrementado su demanda dado el desarrollo de algunos países, sobre todo en Latino América. En los Estados Unidos, el 70% de la generación de energía eléctrica provienen de recursos fósiles (EIA 2008) y dos tercios de la energía eléctrica mundial provienen de las mismas fuentes (Zenteno 2008).

En el caso específico de Honduras, y según Valerio (2007) en 1984, en el país, la producción de energía eléctrica estaba dividida de la siguiente forma: 70% hídrica y 30% térmica. Sin embargo, en el año 2004 la situación se invirtió, produciendo 60% de la energía eléctrica con fuentes térmicas y 40% con fuentes hídricas. Hoy en día el 61% de la energía eléctrica producida proviene de plantas térmicas, un 35% viene de fuentes hídricas y un 4% lo generan algunas plantas de biomasa que no pertenecen al gobierno (González 2005).

Lo cierto es que el mundo es un alto demandante de petróleo y energía, lamentablemente las sociedades se han vuelto completamente dependientes de los combustibles fósiles, un recurso finito y no renovable. Es evidente que jamás se podrá dejar de lado por completo el uso del petróleo como fuente de energía pero si se puede empezar a buscar nuevas formas que sean más amigables con el ambiente y tengan una vida de anaquel más larga que la que tienen los combustibles fósiles, las llamadas energías renovables. Si no se empieza a hacer algo, poco a poco y acolchonando el impacto, entonces las economías se verán afectadas drásticamente. Es por esto que la búsqueda e implementación de fuentes alternativas como energía solar, eólica o la utilización de biogás para la generación de energía eléctrica es indispensable.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 ¿QUÉ ES UN BIODIGESTOR?

Un biodigestor es un recipiente en el cual ocurre un proceso de fermentación anaerobia de una mezcla de agua con desechos orgánicos, ya sean vegetales o estiércol animal. El resultado obtenido de dicha fermentación es la producción de gas combustible llamado Biogás y un material orgánico denominado Biol o Bioabono (SERNA 1991). Una de las mayores bondades de los biodigestores es la descontaminación ambiental por medio del tratamiento de aguas residuales para la generación de energía.

Un biodigestor debe actuar como un reactor herméticamente cerrado para que no haya fugas de gas ni ingreso de Oxígeno (O₂). Dicho reactor debe ser llenado con cualquier tipo de material orgánico como se ha mencionado anteriormente, exceptuando desechos de cítricos pues estos acidifican. En el proceso de fermentación los malos olores de la carga son eliminados por lo que el biofertilizante rico en nutrientes como Nitrógeno, Fósforo y Potasio (N-P-K) puede utilizarse fresco sin ningún problema (www.biodigestores.org 2007).

Existen biodigestores continuos y discontinuos. Entre los modelos continuos, los más comunes son el de Domo fijo (Indú) y el de Dosel flotante (chino). Sin embargo, su aceptabilidad se ha visto limitada gracias a los elevados costos y dificultad de instalación. Es entonces cuando en la provincia de Taiwán en los años sesenta se crea un nuevo modelo de estructura flexible. Al inicio se utilizaban materiales como nylon pero resultaron algo costosos, con el paso de los años se fueron remplazando estos materiales con polietileno que resulta ser mucho menos costoso y el cual, es en la actualidad, el material más utilizado en Latino América, Asia y África. Inclusive el CIPAV (Centro para la Investigación en Sistemas Sustentables de Producción Agrícola) ha estado recomendando desde 1986 el uso de este plástico para la construcción de biodigestores (Fundación Hábitat 2005).

2.2 ¿QUÉ ES EL BIOGAS?

Se denomina biogás a una mezcla de gases que resultan de la descomposición del material orgánico, que se da gracias a la acción bacteriana en ausencia de oxígeno, es decir condiciones anaerobias. Este gas combustible, como ya se ha mencionado está compuesto por varios gases, entre los cuales los principales son CH₄ y CO₂. Puesto que es el CH₄ el que le brinda las características combustibles al biogás, entonces su valor o calidad energética estará dada en función del porcentaje de CH₄ producido.

La proporción en la que están distribuidos los diferentes gases en este combustible amigable con el ambiente es la siguiente: CH₄ entre el 55 y 65%. CO₂ entre 30 y 45%. Cantidades menores al 1% de Sulfuro de Hidrógeno (H₂S) y pequeñas fracciones de vapor de agua (Kapdi *et al.* 2004). Sin embargo, según la SAC (2002) el biogás está constituido como se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Composición del Biogás.

Componente	Porcentaje (%)
Metano (CH ₄)	54-70
Dióxido de carbono (CO ₂)	27-45
Nitrógeno (N ₂)	0.3-3
Hidrógeno (H ₂)	01-10
Monóxido de carbono (CO)	0.1
Oxígeno (O ₂)	0.1
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	Trazas

Fuente: Sociedad de Agricultores de Colombia (2002).

2.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Según Mang y Li (2010) la digestión anaeróbica es un proceso físico-químico-biológico muy complejo que se puede llevar a cabo en presencia de nitratos y ausencia de oxígeno. Las sustancias orgánicas son divididas por las bacterias, los componentes resultantes son “reorganizados” para formar otras sustancias. En este proceso se pueden identificar tres pasos principales:

Hidrólisis: La materia orgánica es hidrolizada por enzimas extracelulares. Las bacterias rompen las cadenas largas de sustancias complejas convirtiéndolas en sustancias más simples, por ejemplo, polisacáridos en monosacáridos.

Acidificación: Las bacterias acetogénicas convierten productos que están en fermentación intermedia en acetatos, H₂ y CO₂. Estas bacterias crean una condición anaeróbica para que en el siguiente paso las bacterias metanogénicas puedan crear CH₄

Formación de metano: Las bacterias metanogénicas reducen componentes de bajo peso molecular en alcoholes, ácidos orgánicos y aminoácidos, CO₂, H₂S y CH₄. En la siguiente figura se explica de forma gráfica el proceso de fermentación y descomposición anaeróbica de la materia orgánica.

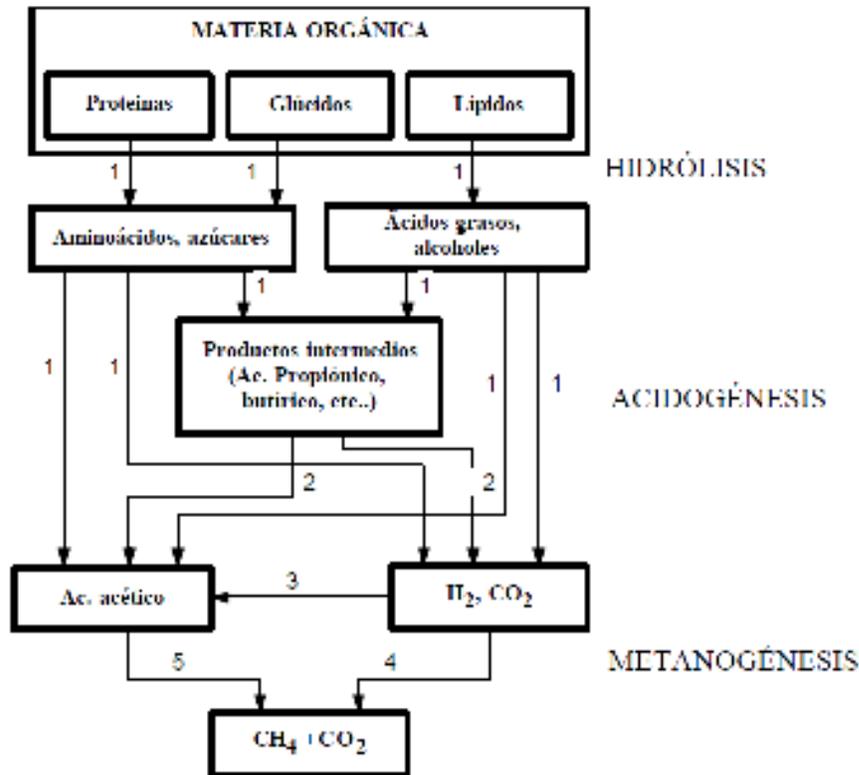


Figura 1. Proceso de la descomposición de la materia orgánica.

Fuente: Aprovechamiento energético de residuos ganaderos (Flotas *et al.* 1997).

Los números del uno al cinco en la anterior figura representan lo siguiente; 1) Bacterias hidrolíticas-acidogénicas. 2) Bacterias acetogénicas; 3) Bacterias homoacetogénicas; 4) Bacterias metanogénicas hidrogenófilas; 5) Bacterias metanogénicas acetoclásticas

2.4 FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE DIGESTIÓN

Bernal (2001) afirma que la efectividad de la digestión y descomposición de la materia orgánica en el biodigestor depende de muchos factores los cuales son mencionados a continuación:

Temperatura – La velocidad a la que se produce el gas está explicada en gran parte por la temperatura de operación. Existen tres intervalos de temperatura en las que las bacterias pueden operar con diferentes grados de eficiencia: (1) Termofílico (mayor a 35°C); (2) Mesofílico (entre 15 – 35°C); (3) Psicofílico (entre 0 – 15°C). Se ha demostrado que es el termofílico el intervalo en el que se presenta una mayor eficiencia. Debe aclararse que a menor temperatura mayor debe ser el tiempo de retención hidráulica. La mayoría de la gente ha trabajado sus biodigestores en el intervalo mesofílico pues no es necesario sistemas complejos para aumentar la temperatura incrementando los costos. Este es uno de los mayores motivos por los que se recomienda instalar los biodigestores bajo tierra.

Tiempo de retención – Se denomina tiempo de retención hidráulica a la cantidad de días que una cantidad definida de material orgánico permanece dentro del biodigestor. Durante este periodo el material debe haber liberado todo el biogás que puede liberar, es decir que termine totalmente digerida. El siguiente cuadro indica tiempos de retención en función de la temperatura ambiente.

Cuadro 2. Relación Temperatura-Tiempo de retención.

Temperatura °C	Tiempo de retención (días)
10	90
15	60
20	45
25	37
30	32
35	28

Fuente: Instituto Colombiano Agropecuario (Bernal 2001).

Sustrato utilizado – El sustrato es una mezcla de materia orgánica con agua. Los desechos más usados son el excremento de ganado Bovino y Porcino aunque a veces se utilizan excretas humanas.

Concentración de sólidos – Entre el 6 – 8% de sólidos totales resulta aconsejable en términos de capacidad digerible de las bacterias, sin embargo esto representaría el costo adicional de incrementar el tamaño del biodigestor. Por este motivo se admiten concentraciones de hasta el 25% de sólidos volátiles, es decir una mezcla 1:1 entre agua y excretas.

Agitación de la mezcla – lo que busca principalmente es uniformizar la temperatura en todo el sustrato y reducir la capa flotante denominada “nata”

pH – La franja de operación de las bacterias que son muy sensibles a cambios de pH está entre 6 y 8, siendo el punto óptimo 7.

Relación C/N – la relación C/N óptima está comprendida entre 9:1 y 25:1. Ambos son elementos indispensables para la descomposición, pero es necesario tener una buena proporción para el buen funcionamiento del biodigestor.

2.5 ALGUNOS BENEFICIOS DEL BIOGÁS

Como se ha mencionado con anterioridad uno de los mayores beneficios del biogás es que es una alternativa energética mucho más amigable con el ambiente que el tipo de energía fósil que se ha utilizado por tantos años. El concepto de biogás integra los conceptos de tratamiento de desechos orgánicos y efluentes con los conceptos de protección climática tanto en países industrializados como en países en desarrollo. Otro de los objetivos principales del biogás es la reducción de la deforestación y por ende la erosión, ya que

este sustituiría en gran parte la tala de árboles para leña como fuente energética (GTZ e ISAT s.f.).

No solo el ambiente se beneficia con el uso de biodigestores, los individuos propietarios del biodigestor también pueden verse beneficiados, principalmente en el aspecto económico pues gastos incurridos en energía eléctrica pueden ser reducidos. El uso de fertilizantes inorgánicos también disminuiría, reduciendo así los costos de producción. De igual manera, el tiempo destinado al tratamiento de aguas contaminadas con excremento se vería reducido (GTZ e ISAT s.f.).

2.6 BIOABONO Y BIOL

El biol es el principal producto a parte del biogás en la descomposición de la materia orgánica. Está casi totalmente constituido por los sólidos disueltos, es decir los nutrientes solubles y agua. Conserva entre un 0.5 – 1.5% de sólidos en suspensión. El uso del biol va desde alimento para peces hasta inóculo para otros digestores (10% de la carga) sin embargo uno de los usos más frecuente es el de abono y fertilizante.

El bioabono por otro lado es el lodo que se forma en el fondo del biodigestor. Está formado por sólidos (10%) y agua (90%) se acumula por varios meses y puede utilizarse entre dos y tres veces al año, su mejor uso se da cuando es deshidratado y aplicado como compost ya que incorpora materia orgánica y nutrientes al suelo y permite un mejor intercambio catiónico (Claire *et al.* 1992).

2.7 SELECCIÓN DEL USO DEL BIOGÁS

Básicamente son dos los diferentes usos que se le pueden dar al biogás. El primero es la generación de electricidad que puede ser usada dentro de la misma granja o casa donde se genera o vendida a la planta generadora local. Generalmente es usada por los propietarios del biodigestor, en algunas granjas el 30% de la electricidad consumida se explica por el enfriamiento de la leche. El modo más común de generar electricidad es con un motor de combustión interna conectado a un generador. Motores que funcionan con gas natural o con propano pueden ser fácilmente modificados para quemar biogás, lo único que se necesita hacer es regular la carburación y el sistema de ignición. Sin embargo los motores que han mostrado mayor eficiencia son los motores industriales para gas natural.

Generalmente un 75% de la energía entrante a los motores es perdida en forma de calor por lo que es conveniente instalar un sistema de recuperación de energía. Este calor se puede usar para incrementar la temperatura del biodigestor y brindar un mejor medio a las bacterias para que se desempeñen con mayor eficiencia. De igual manera se puede utilizar este calor para el calentamiento de agua o inclusive el calentamiento del establecimiento. Con dichos sistemas se han llegado a recobrar hasta un 50% de energía (AgStar s.f.).

El biogás también puede ser usado en el sitio como fuente de calor al quemarlo. La combustión directa del biogás puede ser usado en algunos equipos que normalmente usan

propano o gas natural como hornillas por ejemplo. A pesar que en áreas rurales se ha utilizado bastante el biogás como fuente energética para la cocción de alimentos, en las granjas existe un número limitado de equipos que puedan funcionar con la combustión directa, por este motivo se ha utilizado mas para la generación eléctrica (AgStar s.f.).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este experimento se utilizó el biodigestor instalado en la unidad de ganado lechero de Zamorano que fue construido en el 2009 por Medina y Luna. Además se construyeron cuatro biodigestores tipo Batch a escala en botes de 19 litros cada uno.

3.1 MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS BIODIGESTORES BATCH A ESCALA

- Cuatro botes de Agua Azul de 5 galones o 19 litros con sus tapones.
- Seis metros de manguera reforzada para gas (1.5 metros para cada biodigestor).
- Dos paquetes de pegamento “Acero plástico”
- Cuatro válvulas de balón de ½” (1 para cada biodigestor).
- Cuatro conectores en T de ¼” (dos para cada biodigestor).
- Cuatro casquillos de hule negro (uno para cada biodigestor).
- 18 abrazaderas (cinco para los biodigestores con manómetro y cuatro para los con neumático).
- Ocho adaptadores grandes de válvula (dos para cada biodigestor).
- Diez adaptadores pequeños de válvula (dos para cada biodigestor)
- Cuatro Niples (uno para cada biodigestor).
- Dos manómetros.
- Dos neumáticos de llanta número 12.
- Cinta teflón.

3.2 CONTRUCCIÓN DE LOS BIODIGESTORES BATCH A ESCALA

Se colocó un poco de cinta de teflón en cada uno de los adaptadores para válvula (grandes y pequeños) y al Niple para evitar que el metal se corroa.



Figura 2. Adaptadores para válvula con cinta teflón.

Se conectaron los adaptadores grandes a cada uno de los lados de la válvula y los adaptadores pequeños a los dos costados del conector en T de 1/4". También el Niple fue conectado a la base del conector en T.



Figura 3. Adaptadores conectados a una válvula y a un conector en T.

Se cortó la manguera de 1.5 m. en tres pedazos, uno de 20 cm, uno de 25 cm y uno de 105 cm. Luego uno de los extremos del pedazo de 20 cm fue conectado a uno de los dos adaptadores para válvula conectados al adaptador en T. El otro extremo se conectó a uno de los adaptadores conectados en la válvula de balón. Se aseguraron las conexiones con abrazaderas. En el otro adaptador conectado al conector en T se conectó la manguera de 25 cm y se aseguró con una abrazadera.



Figura 4. Cortes de la manguera para gas en pedazos de 20, 25 y 105 cm.

El otro adaptador conectado al conector en T fue conectado a la manguera de 105 cm y asegurada con una abrazadera.



Figura 5. Mangueras para gas conectadas a la válvula y conector en T.

Se hizo un hoyo en la parte superior del casquillo de un tamaño lo suficientemente grande como para poder insertar el extremo inferior del Niple.



Figura 6. Casquillo perforado y conectado al conector en T.

Se hizo otro hoyo en la tapa del botellón lo suficientemente grande como para poder atravesar el extremo inferior del casquillo de hule negro.

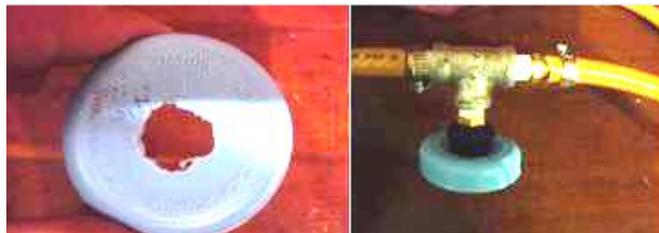


Figura 7. Tapa de botellón de agua perforada y conectada al casquillo.

Para reforzar estas uniones se hizo la mezcla del pegamento “Acero plástico” y se aplico en la conexión de la tapa con el casquillo y del casquillo con el Niple.

En el extremo sobrante de la manguera de 25 cm se colocó el neumático y se lo aseguró con una abrazadera. En el caso de los biodigestores con manómetro no fue necesario conectarlo a la manguera, sino que directamente al conector en T.



Figura 8. Biodigestores tipo Batch terminados.

El botellón de 19 L. fue llenado con 18 L. de una mezcla de estiércol de vaca y agua con una relación aproximada de 30-33% de estiércol y 67-70% de agua (5.4 L de estiércol y 12.6 L de agua)

El botellón fue tapado. Para sellar el biodigestor y minimizar pérdidas de gas o ingreso de oxígeno se hizo un amarre alrededor de la tapa con un neumático viejo de bicicleta.

3.3 ALIMENTACIÓN DEL BIODIGESTOR EN LA UNIDAD DE GANADO LECHERO DE ZAMORANO

El biodigestor se alimentó todos los días desde el 21 de Junio del 2010 hasta el 18 de Agosto del mismo año. Aproximadamente 65 L de estiércol de ganado lechero (16% de lo producido en época de estabulación) eran mezclados con 135 L de agua (para mantener la proporción 70%-30%) en un barril de 200 L ubicado en la entrada del biodigestor.

3.4 MEDICIÓN DE TEMPERATURA Y PH.

Durante el período de alimentación se tomaron datos de temperatura en tres puntos del sistema; entrada (mezcla de excremento con agua), punto medio (bolsa del biodigestor) y salida (biol). Para esto se utilizaron dos termómetros, uno infrarrojo que mide la temperatura superficial y otro de mercurio para medir la temperatura interna. El segundo solo se utilizó en la entrada y salida ya que en el punto medio solo se pudo tomar la temperatura con el termómetro infrarrojo. Para cada punto se tomaron las temperaturas diariamente por triplicado.

El pH se midió de igual manera todos los días durante el período de alimentación en dos puntos del sistema; entrada (mezcla de excremento y agua) y salida (biol). Se utilizó papel colorimétrico para las mediciones, diariamente por triplicado.

3.5 CONTEO BACTERIOLÓGICO; COLIFORMES TERMOTOLERANTES Y NO TERMOTOLERANTES

Se hicieron análisis bacteriológicos para determinar la cantidad de coliformes termotolerantes (fecales) y no termotolerantes (no fecales) encontrados en el sustrato de entrada (mezcla agua y excretas) y en el efluente del sistema (biol). En ambos casos se utilizó el método de petrifilm 3M. En una bolsa estéril se recolectaron muestras de la entrada y la salida del sistema.

Para el sustrato de entrada se diluyó 1 ml de mezcla en 499 ml de agua des-ionizada, se agitó la dilución con magnetos por aproximadamente un minuto. Con la ayuda de una pipeta de precisión de hasta 1,000 μ l (1 ml) se extrajo 1 ml de dilución y cuidadosamente se esparció en el petrifilm 3M. La placa de petrifilm se colocó en la incubadora a una temperatura de 35°C por 24 horas. Este proceso se repitió tres veces en la semana de muestreo y se usaron 3 semanas de muestreo con un tiempo de separación de 21 días, los tiempos de muestreo se ajustaron a los tiempos de tesis definidos en la carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente (DSEA).

En el caso del efluente (salida) la dilución utilizada fue de 1 ml de efluente en 99 ml de agua des ionizada. Para el efluente se tomaron muestras por triplicado cada día en las semanas de muestreo. La diferencia en el número de muestra se debió a la disponibilidad de recursos para la tesis, tomando en cuenta que la entrada debió tener una cuenta elevada por ser excretas sin tratar.

3.6 MEDICIÓN DEL PORCENTAJE DE MATERIA SECA DEL EXCREMENTO (%)

Para medir el % de materia seca del excremento se utilizó el método gravimétrico. En una bolsa estéril se colectó un poco de estiércol de la unidad de ganado lechero de Zamorano (aproximadamente 60 g). En el laboratorio se puso la muestra en un recipiente de vidrio y se pesó con una balanza de precisión para obtener el peso A (PA). El recipiente fue colocado en el horno a 90°C por 24 horas. Una vez seca la muestra se volvió a pesar en la balanza para obtener el peso B (PB). Para obtener el % de materia seca se utilizó la siguiente fórmula:

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

Este procedimiento se repitió tres veces por semana, por tres semanas separadas 21 días entre ellas.

3.7 MEDICIÓN DE SÓLIDOS TOTALES EN LA DILUCIÓN

Para medir los sólidos totales de la dilución (mezcla de agua y estiércol) también se utilizó el método gravimétrico. La muestra es colectada del barril donde se hace la mezcla de agua y estiércol, en una bolsa estéril. En el laboratorio se pesó un recipiente de vidrio

totalmente vacío y seco en la balanza de precisión para obtener el peso A (PA). Con una jeringa se colocó un Volumen (V) de 25 ml de la muestra en el recipiente y se metió al horno a 90°C por 24 horas. Una vez seca la muestra se pesa nuevamente para obtener el peso B (PB). Para obtener los sólidos volátiles del sustrato se utilizó la siguiente fórmula.

$$S.T = (PB-PA)/V \quad [2]$$

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

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) y sólidos volátiles fueron analizados por el laboratorio de UNITEC en Tegucigalpa, Honduras, UNILAB. Los métodos utilizados fueron el método 5220 B. Reflujo abierto, Dicromato de Potasio del “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” para el DQO y “2540 E Fixed and Volatile Solids Ignited at 550°C” del “standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” para sólidos volátiles.

Para cada punto en el sistema (entrada y salida) se elaboraron estos análisis un total de tres veces, durante las semanas de muestreo.

Las fechas en las que se realizaron los muestreos para estos análisis fueron: 24 de Julio, 20 de Agosto y 17 de Septiembre del 2010.

3.9 MEDICIÓN DE N-P-K Y RELACIÓN C/N EN EL SUSTRATO Y EFLUENTE

Estos análisis fueron elaborados por el Laboratorio de Suelos de la Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria de Zamorano. Los métodos utilizados para el análisis de N, P y K fueron el método de Kjeldahl modificado, digestión húmeda con H₂SO₄ y H₂O₂ determinado por absorción atómica y digestión húmeda con H₂SO₄ y H₂O₂ determinado por espectrofotometría (colorimetría), respectivamente.

Para cada punto en el sistema (entrada y salida) se elaboraron estos análisis un total de tres veces en las semanas de muestreo. Las fechas en las que se realizaron los muestreos para estos análisis fueron: 24 de Julio, 20 de Agosto y 17 de Septiembre del 2010.

3.10 MEDICIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CH₄ EN EL BIODIGESTOR TIPO TAIWÁN.

Para conocer la cantidad de CH₄ producido en la unidad de ganado lechero de Zamorano se hicieron pruebas de calentamiento de agua. En una olla de aluminio se colocó 1 litro de agua y se midió la temperatura (T₀). El agua fue calentada con la combustión del CH₄ y se tomó nuevamente la temperatura del agua cada 2 minutos hasta llegar por lo menos a los 60°C (T_f). El mismo procedimiento se repitió para 2 y 3 litros, hasta que se agotara el gas almacenado en el biodigestor.

Conociendo la cantidad de Kcal necesitadas para elevar el agua de T_0 a T_f se calculó la cantidad de Kcal de CH_4 en combustión con la siguiente fórmula:

$$Q = m \times C \times (T_f - T_0) \quad [3]$$

Donde:

Q = Kcal utilizadas para calentar el agua
 m = Masa del agua calentada en gramos
 C = Capacidad calorífica del agua (0.001Kcal/g°C)
 T_f = Temperatura final
 T_0 = Temperatura inicial

El contenido calorífico del Metano es según Brouwer (1965.) es de 9.45 Kcal/l, y según el U.S. Department of Energy es de 1000BTU/Pie³ ó 9 Kcal/l. Para este estudio se utilizaron ambas fuentes. La cantidad de Metano producido diariamente por el biodigestor se calculó de la siguiente manera:

$$\text{CH}_4\text{diario} = (Q/PC)/D \quad [4]$$

Donde:

CH_4diario = Cantidad de metano almacenado por día
 Q = Kcal utilizadas para calentar el agua
 PC = Potencial calorífico del metano
 D = Número de días de almacenaje del biogás

3.11 MEDICIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CH_4 EN LOS BIODIGESTORES TIPO BATCH A ESCALA

Para medir la cantidad de biogás producido en los biodigestores tipo Batch a escala se procedió a calentar 1 litro de agua con la combustión de todo el CH_4 almacenado en el biodigestor. Se registraron las temperaturas iniciales y finales del agua para conocer el cambio en temperatura y la cantidad de Kcal requeridas para dicho aumento. También se registró el tiempo requerido para agotar el biogás almacenado.

Se realizaron exactamente los mismos cálculos que se realizaron para medir la producción de Biogás en el biodigestor tipo Taiwán:

$$\text{CH}_4\text{diario} = (Q/PC)/D \quad [5]$$

Donde:

CH_4diario = Cantidad de metano almacenado por día
 Q = Kcal utilizadas para calentar el agua
 PC = Potencial calorífico del metano
 D = Número de días de almacenaje del biogás

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 FUNCIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR

Existen algunas variables fundamentales para el funcionamiento del biodigestor como la temperatura, pH, y la Relación C/N. Se encontró una diferencia significativa entre el termómetro infrarrojo y el termómetro de mercurio (Anexos 1, 2, 3, 4), además sólo se contaba con mediciones del termómetro infrarrojo para el punto medio del biodigestor. Dado este resultado, para comparar las temperaturas en los tres puntos del sistema se utilizaron únicamente las mediciones del termómetro infrarrojo.

El rango de temperatura a la que el biodigestor trabajó en el punto medio fue de 28.3°C a 39.10°C. (Figura 2) Aunque la temperatura no se mantuvo a un nivel Termófilo (mayor a 35°C) fluctuó entre ese nivel y el nivel Mesófilo (15 – 35°C) Este rango de temperaturas es bastante aceptable para el buen funcionamiento del sistema (Bernal 2001). Si bien las temperaturas superficiales en el punto de entrada y en el punto de salida no son idénticas a las del punto medio, parece existir una relación o tendencia. Mientras mayor la temperatura de entrada, mayor la temperatura en el punto medio y mayor en el punto de salida, aunque se observaron temperaturas más elevadas en el punto medio.

De la misma manera, para asegurar una buena producción de biogás, el pH debe mantenerse en un rango de 6.7 a 7.5 es decir en un medio neutro (Botero *et al.* 1987). Sin embargo el pH en el punto de salida refleja mejor el pH al que el biodigestor trabajó, y este es mucho más estable que en el punto de entrada, siendo su valor más bajo 6.33 y el valor más alto de 7.5 (Figura 3). Si los valores de pH fuesen más bajos que éstos, la proporción de CO₂ en el biogás se incrementa al no solubilizarse en el medio, afectando la producción de CH₄. Al mismo tiempo, la disolución del CO₂ permite la formación de carbonatos ayudando a controlar el pH

La relación C/N óptima está comprendida entre 9:1 y 25:1. Esta es necesaria para el buen funcionamiento del biodigestor (Bernal 2001). A excepción de una de las fechas de muestreo, la relación C/N se encontraba dentro de los rangos esperados (Cuadro 3). Una baja relación puede afectar la producción de CH₄, pues a pesar que el nitrógeno permite la reproducción de las bacterias, su exceso puede retardar el proceso de conversión de carbono a CH₄ por los altos niveles de amoníaco (Botero *et al.* 1987).

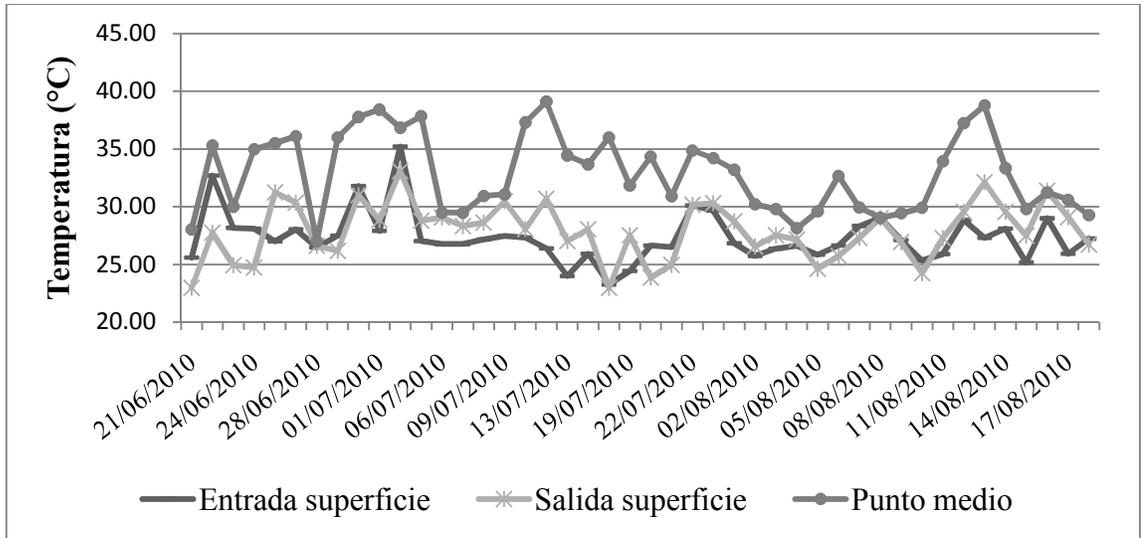


Figura 9. Temperatura en los tres puntos del sistema de digestión anaerobia.

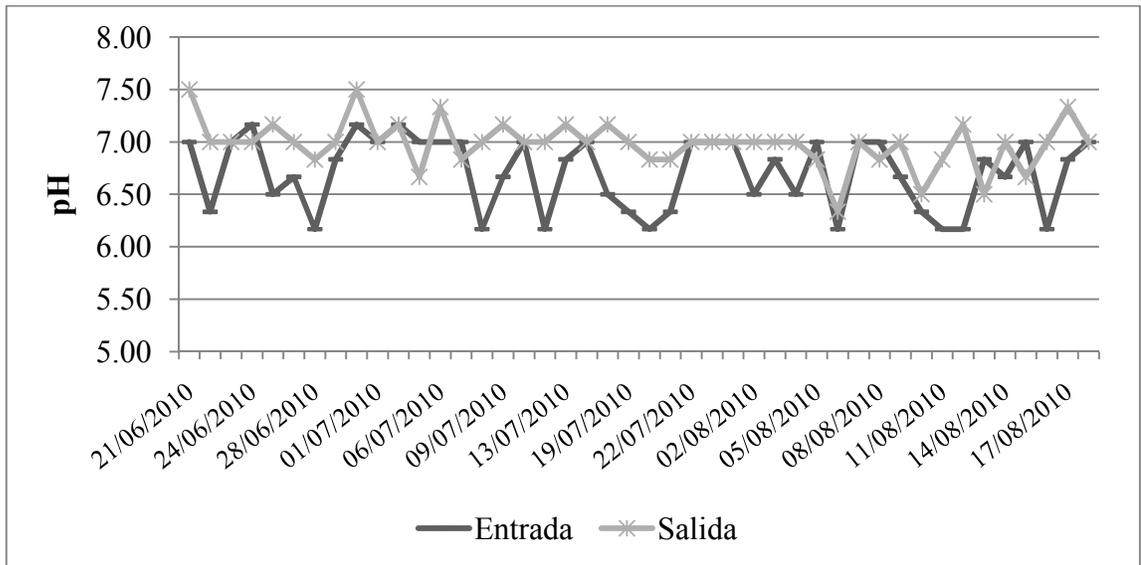


Figura 10. Comparación de pH en la entrada y salida del sistema de digestión anaerobia.

Cuadro 3. Relación C/N en el punto de entrada del sistema de digestión anaerobia.

Fecha	R. C/N
23/06/2010	5.41
23/07/2010	9.6
19/08/2010	20.9

4.2 PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.

Se puede determinar la cantidad teórica de biogás producido diariamente, utilizando la cantidad de S.V, DQO, y peso húmedo de la materia orgánica. Es necesario considerar que el potencial de producción de biogás en la unidad de ganado lechero de Zamorano varía a lo largo del año ya que los animales permanecen estabulados solamente entre Diciembre y Mayo (época seca), el resto del año pasan en pastoreo. Durante esta época no se puede recolectar el excremento regado en los potreros para alimentar el biodigestor.

Según la cantidad de sólidos volátiles se esperaría una producción diaria de 6.39 m³ de CH₄ en época húmeda, comparados con aproximadamente 58 m³ en época seca (Cuadro 4). Según la producción de DQO se esperaría una producción diaria de casi 3 m³ en época húmeda y 23 m³ en época seca (Cuadro 5). Una estimación menos conservadora sería mediante el peso húmedo de la materia orgánica, se espera una producción de 25 m³ por tonelada de materia seca en peso húmedo (John s.f.), con lo cual se esperarían casi 10 m³ de CH₄ en época húmeda y 89 m³ en época seca (Cuadro 6).

Cuadro 4. Producción teórica de biogás por sólidos volátiles producidos.

Descripción	Cantidad/ carretilla	Cantidad en época húmeda	Cantidad en época seca	Unidades
Producción teórica	0.330	0.330	0.330	m ³ /kg
Sólidos volátiles producidos	0.016	0.016	0.016	Kg/l
Alimentación	200.	1,200	10,800	Litros
Sólidos volátiles totales	3.230	19.380	174.420	Kg
Volumen teórico de gas producido	1.066	6.395	57.559	m ³

Cuadro 5. Producción teórica de biogás por DQO producido.

Descripción	Cantidad/ carretilla	Cantidad en época húmeda	Cantidad en época seca	Unidades
Producción teórica	0.140	0.140	0.140	m ³ /kg
DQO producido	0.016	0.016	0.016	Kg/l
Alimentación	200	1,200	10,800	Litros
DQO total	3.146	18.874	169.868	Kg
Volumen teórico de gas producido	0.440	2.642	23.782	m ³

Cuadro 6. Producción teórica de biogás por peso húmedo de la materia orgánica.

Descripción	Cantidad/ carretilla	Cantidad en época húmeda	Cantidad en época seca	Unidades
Producción teórica	25	25	25	m ³ /Ton
Alimentación	0.066	0.396	3.564	Ton
Volumen teórico de gas producido	1.650	9.900	89.100	m ³

Las cantidades reales de CH₄ registradas diariamente en los biodigestor tipo Taiwán y tipo Batch fueron mucho menores a las esperadas, calculadas con los valores teóricos. Durante la época húmeda el biodigestor tipo Taiwán producirá cerca de 0.15 m³ diarios de CH₄, mientras que durante la época seca se producirían cerca de 1.36 m³ (Cuadro 7). El Biodigestor tipo Batch sin embargo tiene un potencial de producción de 0.68 m³ diarios durante la época húmeda y más de 6 m³ diarios durante la época seca (Cuadro 8). Actualmente la unidad de ganado lechero en Zamorano utiliza 60 litros de agua caliente a aproximadamente 85°C para el lavado de la máquina ordeñadora, este procedimiento se hace dos veces al día. Para poder calentar el agua a esta temperatura se necesitan aproximadamente 0.41 m³ de CH₄ por lavado, es decir un total de 0.82 m³ al día (Cuadro 9).

La diferencia entre los valores esperados, calculados teóricamente y los valores reales registrados no se debe a la temperatura, pH, ó R. C/N, ya que si bien estos factores no se encuentran en los rangos óptimos tienen valores lo suficientemente aceptables como para sugerir que sean la causa de la baja producción. Son varias las posibles causas de este problema. El tipo de alimentación que estén recibiendo los animales puede influir en la calidad de materia digerida, es decir en la calidad de sustrato para el biodigestor. También puede ser que los animales reciban algún tipo de tratamiento con antibióticos que esté eliminando las bacterias necesarias para el proceso de descomposición anaerobia.

De cualquier modo, lo que es más probable que las dos anteriores, es que el problema son las fugas en el sistema. El modelo Taiwán requiere de un cuidado especial y un continuo mantenimiento, es un modelo que puede presentar muchas fugas por daños en el plástico y en las conexiones con los tubos de PVC. Este es un modelo bastante rudimentario y aunque fácil de construir, no es muy seguro ni eficiente. Los datos obtenidos con los biodigestores Batch confirman que existe por lo menos un 78% de fugas en el modelo Taiwán ya que la cantidad de biogás producida en los biodigestores tipo Batch con 60 días de retención fue de aproximadamente 0.036 m³/kg DQO, mientras que según los datos registrados en el biodigestor tipo Taiwán se producían 0.008 m³/kg DQO (Cuadro 10).

Cuadro 7. Producción diaria real de CH₄ registrada en el biodigestor tipo Taiwán.

Descripción	Cantidad por carretilla	Cantidad en época húmeda	Cantidad en época seca	Unidades
Producción registrada Taiwán	0.008	0.008	0.008	m ³ /kg DQO
DQO producido	0.0157	0.0157	0.0157	Kg/l
Alimentación	200	1,200	10,800	Litros
DQO total	3.146	18.874	169.868	Kg
Volumen de CH ₄ producido	0.03	0.15	1.36	m ³

Cuadro 8. Producción diaria real de CH₄ registrada en el biodigestor tipo Batch.

Descripción	Cantidad por carretilla	Cantidad en época húmeda	Cantidad en época seca	Unidades
Producción registrada Taiwán	0.036	0.036	0.036	m ³ /kg DQO
DQO producido	0.0157	0.0157	0.0157	Kg/l
Alimentación	200	1,200	10,800	Litros
DQO total	3.146	18.874	169.868	Kg
Volumen de CH ₄ producido	0.11	0.68	6.12	m ³

Cuadro 9. Cantidad de Biogás necesario para calentar el agua por lavado.

Descripción	Cantidad
Litros de agua caliente por lavado	60.0
Temperatura inicial promedio	23.6
Temperatura final	85.0
Aumento en temperatura	61.4
Kcal necesarias/por lavado	3684
m ³ /lavado necesarios según Brouwer	0.39
m ³ /lavado necesarios según U.S. Energy Department.	0.41

Cuadro 10. Comparación de producción de CH₄ en el Biodigestor tipo Taiwán, tipo Batch y producción teórica por Kg de DQO.

Producción	m ³ /kg DQO
Taiwán	0.008
Batch	0.036
Teórica	0.140

4.3 TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS

Si bien los biodigestores son ahora conocidos por su producción de biogás y las múltiples utilidades que este tiene como fuente energética, en principio su función fundamental y para la cual fueron creados es el tratamiento de efluentes y aguas negras. Esta, además de la generación de biogás es una función que puede resultar importante para establecimientos como las granjas lecheras donde la generación de aguas negras contaminadas principalmente con excretas y orinas pueden resultar en un problema tanto ambiental como legal para dichos establecimientos.

Para el caso de la unidad de ganado lechero de Zamorano, los resultados fueron sorprendentes. Se registraron reducciones de hasta el 91% de coliformes termotolerantes, 78% de reducción en coliformes no termotolerantes y 94% de reducción en coliformes totales (Figura 4). Según las normas de calidad para descarga de aguas residuales en cuerpos receptores, en el acuerdo N° 058 de normas técnicas de las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario de la Secretaría de Salud Pública de Honduras, el máximo permisible de coliformes termotolerantes para aguas negras que están siendo descargadas en un cuerpo receptor es 5,000 UFC/100 ml. El efluente resultante del biodigestor presenta cargas de 4,800 UFC/ml, o en su defecto, 480,000 UFC/100 ml de coliformes termotolerantes (Cuadro 11), es decir, que a pesar de una importante reducción de los coliformes (91%) no se cumple con los requisitos establecidos por las normas. Sin embargo no se pretende descargar este efluente a un cuerpo receptor, sino que aprovecharlo como biofertilizante

Esta situación se repite para el caso de DQO y sólidos volátiles. A pesar de una reducción de hasta el 75% y 90% respectivamente (Figura 5), los valores son del orden de 4,000 mg/l de DQO (Cuadro 12) siendo muy elevados según el máximo establecido por la norma de calidad para descarga de aguas residuales en cuerpos receptores, de 200 mg/l de DQO. La siguiente gráfica ilustra esto, en la misma no se registraron los resultados de DQO y sólidos volátiles para la segunda semana de muestreo (23/07/2010) debido a problemas con los datos proporcionados por los laboratorios de UNITEC.

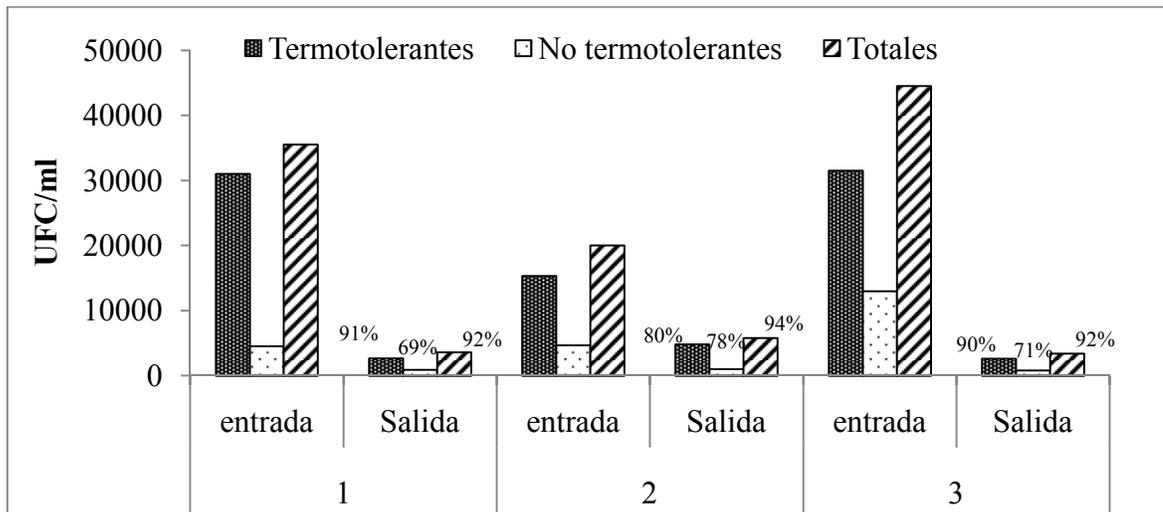


Figura 11. Reducción de Coliformes termotolerantes, no termotolerantes y totales.

Cuadro 11. Reducción de Coliformes termotolerantes, no termotolerantes y totales.

Semana	Termotolerantes (UFC/ml)		No termotolerantes (UFC/ml)		Totales (UFC/ml)	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
1	31,000	2,667	4,500	917	35,500	3,583
2	15,333	4,800	4,667	1,011	20,000	5,811
3	31,500	2,589	13,000	811	44,500	3,400

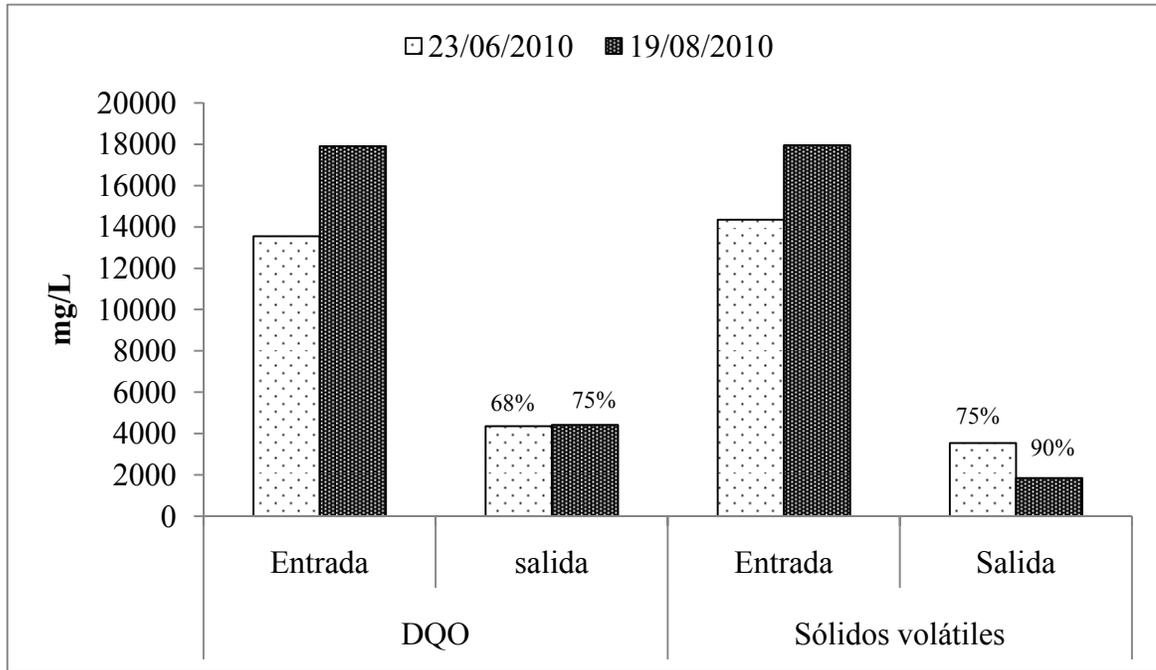


Figura 12. Reducción de DQO y sólidos volátiles.

Cuadro 12. Porcentaje de reducción de DQO y Sólidos volátiles.

Fecha	DQO (mg/l)			Sólidos volátiles (mg/l)		
	Entrada	salida	Reducción	Entrada	Salida	Reducción
23/06/2010	13,547	4,358	68%	14,355	3,538	75%
19/08/2010	17,910	4,419	75%	17,945	1,845	90%

4.4 PRODUCCIÓN DE BIOL

Otro de los valores agregados que se le puede dar a los biodigestores es la generación del biol como un bio-fertilizante que puede ser utilizado para fertilizar los potreros en época húmeda en lugar de usar urea, reduciendo los costos de producción. Se espera obtener 90 litros de biol por cada 100 litros de material que entra en el biodigestor (Aparcana *et al.* 2008). Aunque el biol tiene un bajo contenido de nitrógeno comparado con la urea. (Cuadro13), las grandes cantidades de biol producido pueden llegar a reemplazar hasta 50 qq de urea anuales (Cuadro 14).

Cuadro 13. Comparación del contenido nutricional de la urea y el biol.

Fertilizante	Contenido de nutrientes (g/l)		
	N	P	K
Biol	0.500	0.110	0.960
Urea	460	0	0

Cuadro 14. Equivalencia de la producción de biol en qq de urea.

Época	Litros biol/día	Días/año	Producción de biol	Equivalente en qq de urea
Húmeda	1,080	165	178,200	4.3
Seca	9,720	200	1,944,000	46.5
Total		365	2,122,200	50.7

4.5 BENEFICIOS ECONÓMICOS Y AMBIENTALES

Como se ha mencionado anteriormente, la unidad de ganado lechero de Zamorano incurre en más de \$13,000 anuales por concepto de energía, de los cuales aproximadamente \$1,760 se deben al calentamiento de agua para el lavado de la máquina ordeñadora. Si bien se ha determinado que la producción de biogás no es suficiente como para suplir toda esta demanda, se puede cubrir parcialmente. Durante la época seca se podría utilizar el biogás para el calentamiento del agua en los dos lavados diarios. Durante la época húmeda se podría hacer únicamente un lavado al día. Cabe mencionar que durante la época seca, la producción de biogás excede lo necesario para el calentamiento del agua en aproximadamente 5 m³ diarios por lo que este biogás podría ser utilizado en un pequeño motor para la generación de energía eléctrica. El uso del biogás por concepto de calentamiento de agua puede llegar a representar un beneficio económico de hasta \$1,277 anuales (Cuadro 15).

Esto obviamente no es solamente un beneficio económico sino también ambiental, ya que se está disminuyendo el consumo de energía eléctrica proveniente de plantas térmicas aproximadamente en 12,500 kWh/año, equivalentes a 5.37 toneladas de CO₂. Además se está evitando que se liberen las emisiones de CH₄ y CO₂ por descomposición del estiércol y se está logrando una descontaminación de hasta el 91% de las aguas negras de la unidad. Es necesario considerar también la producción de biol que puede suplir parcialmente el uso de productos químicos para la fertilización de los potreros. La cantidad de biol generada durante todo el año puede llegar a reemplazar hasta 50 qq de urea equivalentes a \$1,074 (Cuadro 16).

Para que todos estos beneficios se puedan lograr, hay que tomar en cuenta que serían necesarias algunas inversiones, por ejemplo la compra de un calentador a gas, la construcción de un biodigestor con las dimensiones necesarias para aprovechar todas las excretas generadas en la unidad, y un patio de secado o deshidratado del biol para que su utilización sea viable. Es necesario empezar a crear una conciencia ambiental, y la unidad

de ganado lechero podría resultar en un ejemplo para otras empresas universitarias de Zamorano así como para otras instituciones, manteniendo el nombre de Zamorano en alto.

Cuadro 15. Ahorro anual por uso de biogás para calentar el agua para el lavado de la máquina ordeñadora.

Descripción	USD
Costo anual por calentamiento de agua	1,761.0
Costo Diario	4.8
Días de época seca	165.0
Días con biogas en época húmeda	100.0
Ahorro anual	1,277.3

Cuadro 16. Ahorro anual por uso del biol como fertilizante en lugar de urea

Época	Equivalente en qq de Urea	Precio por qq (USD)	Ahorro (USD)
Húmeda	4.3	21.17	90
Seca	46.5	21.17	984
Total	50.7	21.17	1,074

5. CONCLUSIONES

- El potencial de Biodigestión anaerobia en la unidad de ganado lechero de Zamorano es de 1.36 m³ de metano diarios en época seca y 0.15 m³ diarios en época húmeda, lo suficiente para ahorrarle a la unidad \$1,277 anuales en concepto de calentamiento de agua y \$1,074 por sustitución de la urea por Biol seco en los potreros.
- Debido a las fugas presentes en el biodigestor de la unidad de ganado lechero de Zamorano, se logra almacenar suficiente Biogás para el calentamiento del agua para el lavado de la máquina ordeñadora únicamente en época seca cuando los animales están estabulados. Este modelo no es adecuado, no sólo por sus bajos rendimientos, sino también porque produce más contaminación al liberar a la atmósfera más del 50% del metano sin quemar.
- El uso del biodigestor de la unidad de ganado lechero de Zamorano tiene beneficios económicos cuando se toma en cuenta la producción de biogás para el calentamiento de agua y la utilización del Biol como fertilizante en los potreros.
- Con el biodigestor se capturan las emisiones de CH₄ y CO₂ por descomposición de las excretas, además de lograr reducciones del 91% en coliformes termotolerantes, 75% de reducciones en el DQO y reducciones de hasta el 90% en los sólidos volátiles, por lo que la utilización de un biodigestor es ambientalmente factible, aunque los datos de salida indican que el efluente aún no es apto para ser vertido en un cuerpo receptor.
- La producción de Biol y la utilización de éste como un bio-fertilizante resulta tanto ambiental como económicamente importante pues se reduce el consumo de un producto químico hecho con petróleo y se reducen los costos de producción.

6. RECOMENDACIONES

- Aprovechar el potencial energético del estiércol de ganado vacuno en la unidad de ganado lechero de Zamorano mediante la generación de biogás con un modelo diferente al Taiwán, aprovechar también la producción del Biol como un biofertilizante.
- Buscar materiales más adecuados para el biodigestor que aunque resultan más costosos, resultan en menos desperdicios de gas (materia prima) y menos contaminación.
- Realizar un estudio más profundo sobre las posibles causas de la baja producción de metano en la Unidad de Ganado Lechero de Zamorano con respecto al dato teórico, tomando en cuenta que esto se pueda deber a la alimentación de los animales.
- Si la intención es descargar el efluente del biodigestor a un cuerpo receptor, entonces utilizar un sistema de depuración de aguas negras que permita llegar a los niveles máximos permisibles, establecidos por las normas técnicas de las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario de la Secretaría de Salud Pública de Honduras. En este caso se puede utilizar otro biodigestor de menores dimensiones para que de esta forma se aproveche al máximo la energía disponible.
- Hacer un estudio más detallado sobre las propiedades nutricionales del biol para conocer si puede ser procesado y vendido como un biofertilizante en el mercado.
- Hacer un estudio más detallado sobre los costos de inversión para el aprovechamiento del biogás y del biol en la unidad de ganado lechero de Zamorano.

7. BIBLIOGRAFÍA

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

Aparcana, S; Jansen, A. 2008. Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso “fermentación anaeróbica” para producción de Biogás. German Professional energy and environmental consultancy (German ProfEC). Lima Perú. 10p.

Bernal Chaúr, J. 2001. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). El biogás. Boletín didáctico N° 32. Bogotá Colombia. 40p.

Biodigestores y otras soluciones energéticas. Guía de diseño y manual de instalación. (Recurso en línea). Consultado el 22 de Junio de 2010. Disponible en: <http://biodigestores.org/category/informacion-general/>

Botero, R; Preston, T. 1987. Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización. 20p.

Brouwer, E. 1965. Report of sub-committee on constants and factors. Proc. 3rd Sympos. on Energy Metabolism, Troon, Escocia, Europa. Publ. No. 11:441.

Campero, O. s.f. Biogás en Bolivia: Proyecto de Biogás en Aéreas Rurales de Bolivia. (Recurso en línea). La Paz, Bolivia. Tecnologías en Desarrollo. Consultado el 20 de Mayo, 2010. Disponible en: <http://www.ruralcostarica.com/biogas-bolivia.asp>

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

Dermiel, B; Scherer, P. 2009. Bio-methanization of energy crops through mono-digestion for continuous production of renewable biogás. A lifetec process engineering, Hamburg University of Applied sciences. Hamburg-Bergedorf, Alemania.

Energy Information Administration (EIA). 2008. Overview – Electricity Generation: Generation from fossil fuels. Independent Statistic and Analysis. (Recurso en línea). Consultado el 25 de Mayo, 2010. Disponible en: <http://www.eia.doe.gov/electricity/page/prim2/chapter3.html>

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

Flowers, N. 2010. Practical Home Energy Saving. (Recurso en línea). Consultado el 18 de Octubre, 2010. Disponible en: <http://www.shadlock.co.uk/energy/misc/convertf.htm>

Fundación Hábitat colombia. 2005. Biodigestores Una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes. Colombia. 37p.

Gestión. El diario de economía y negocios del Perú 2009. La demanda petrolera mundial se aceleraría el 2010: Aumentaría aproximadamente un 1.7% por día, según estimaciones de la Agencia Internacional de Energía. (Recurso en línea). Lima, Perú. Consultado el 25 de Mayo, 2010. Disponible en: <http://gestion.pe/noticia/380189/demanda-petrolera-mundial-se-aceleraria-2010>

Gonzales, M. 2005. Alianza en energía y ambiente con Centro América. Agua y energía: Perspectivas, barreras y retos. CCAD San Pedro Sula, Honduras.

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. IRG (Institute of Research and Debat on Governace) (Recurso en línea). Aguascalientes, México. Consultado el 20 de Mayo, 2010. Disponible en: <http://www.institut-gouvernance.org/en/analyse/fiche-analyse-441.html>

Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT); GATE in Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). s.f. Biogas Digest Volume III Biogas - Costs and Benefits and Biogas – Programme Implementation. Information and Advisory Service. on Appropriate Technology.

John, H; Martin, Jr. s.f. Co-Digestion-Waste properties and impacts on gas production. Georgetown, DE. EEUU. 12p.

Kapdi S.S; Vijay, V.K; Rajesh, S.K; Prasad, R. 2004 Biogas scrubbing, compression and storage. Perspective and prospectus in Indian context. Centre for Rural Development and Technology. Indian Institute of Technology. (Recurso en línea). New Delhi, India. Consultado el 23 de junio de 2010. Disponible en: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V4S-4DV1GJ4-3&_user=10&_coverDate=07%2F01%2F2005&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searchStrId=1378370302&_rerunOrigin=google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=d47615e3c0db9443fdb54262ba0c181

Lugones, B. s.f. Análisis de biodigestores. CUBAENERGÍA CUBASOLAR. (Recurso en línea). consultado el 12 de Octubre del 2010. Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia22/HTML/articulo04.htm>

Mang, H; Li, Z. 2010. Biogas sanitation for blackwater, brown water, or for excreta treatment and reuse in developing countries. Technology review "Biogas sanitation". The Ecosan Program. Eschborn, Germany. 19p.

Medina, I; Luna, J. 2009. Estudio de pre factibilidad para el aprovechamiento del biogás con fines energéticos a partir del estiércol de ganado bovino en la Unidad de Ganado Lechero de Zamorano. Tesis Lic. Ing. Agr. Tegucigalpa, Honduras, Zamorano. 35p.

Quesada, R; Salas, N; Arguedas, M; Botero, R. 2007. Generación de energía eléctrica a partir de biogás. Universidad EARTH. Revista Tierra Tropical 3 (2): 139-147. Las Mercedes de Guácimo, Limón, Costa Rica. 9p.

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

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

Taleghani G; Kia A. 2005. Technical-economical analysis of the Saveh biogás power plant. Center for Development of New Energies, Atomic Energy Organization for Iran. Renewable Energy 30 (2005) 441-446 Technical note. Tehran, Iran.

The AgSTAR Program. s.f. Managing Manure with Biogas Recovery Systems. An anual newsletter. Second Edition. 273p.

United States Department of Energy. s.f. Energy Efficiency and Renewable energy. Methane and Anaerobic Bacteria. (Recurso en línea). Consultado el 6 de Septiembre, 2010. Disponible en: http://www.energysavers.gov/your_workplace/farms_ranches/index.cfm/mytopic=30003

Valerio. 2008. Problemática energética: Potencial de las energías renovables, cambio climático. Foro: Generación de energía eléctrica para sistemas aislados por medio de micro hidroeléctricas. SERNA. Tegucigalpa, Honduras.

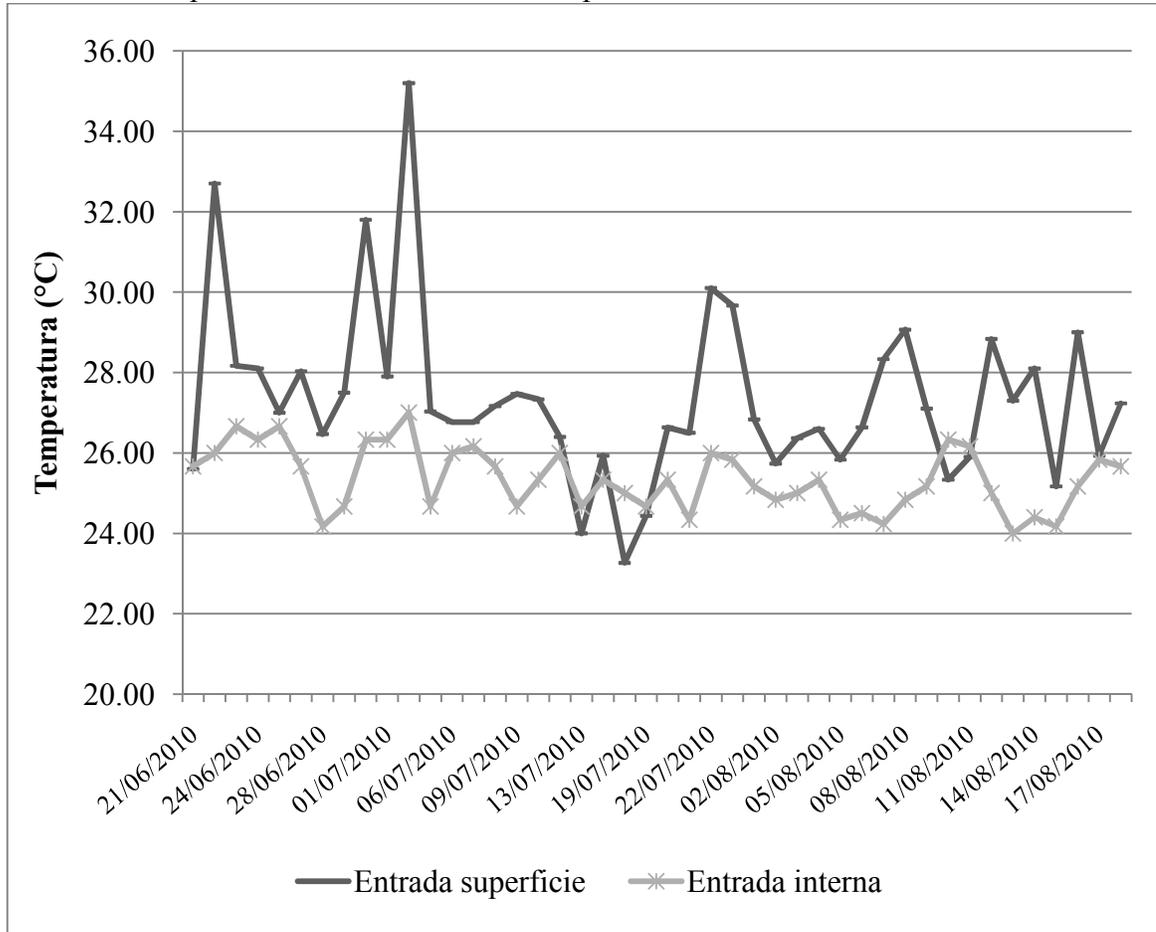
Walsh, J; Roos, C; Smith, M; Harper, S; Wilkins, A. 1988. Handbook on biogas utilization. USA, Environment, Health and Safety Division Georgia Tech Research Institute. Georgia, U.S.A. 133p.

Zanoni, J. 2004. La Globalización y el Mercado Petrolero Internacional. Instituto de Investigación Económicas Sociales (FACES-UCV). (Recurso en línea). Consultado el 25 de Mayo, 2010. Disponible en: <http://www.aporrea.org/actualidad/a7878.html>

Zenteno, J. 2008. Venta de reducción de carbono por generación hidroeléctrica en Honduras. Tesis Lic. Ing. Agr. Tegucigalpa, Honduras, Zamorano. 61p.

8. ANEXOS

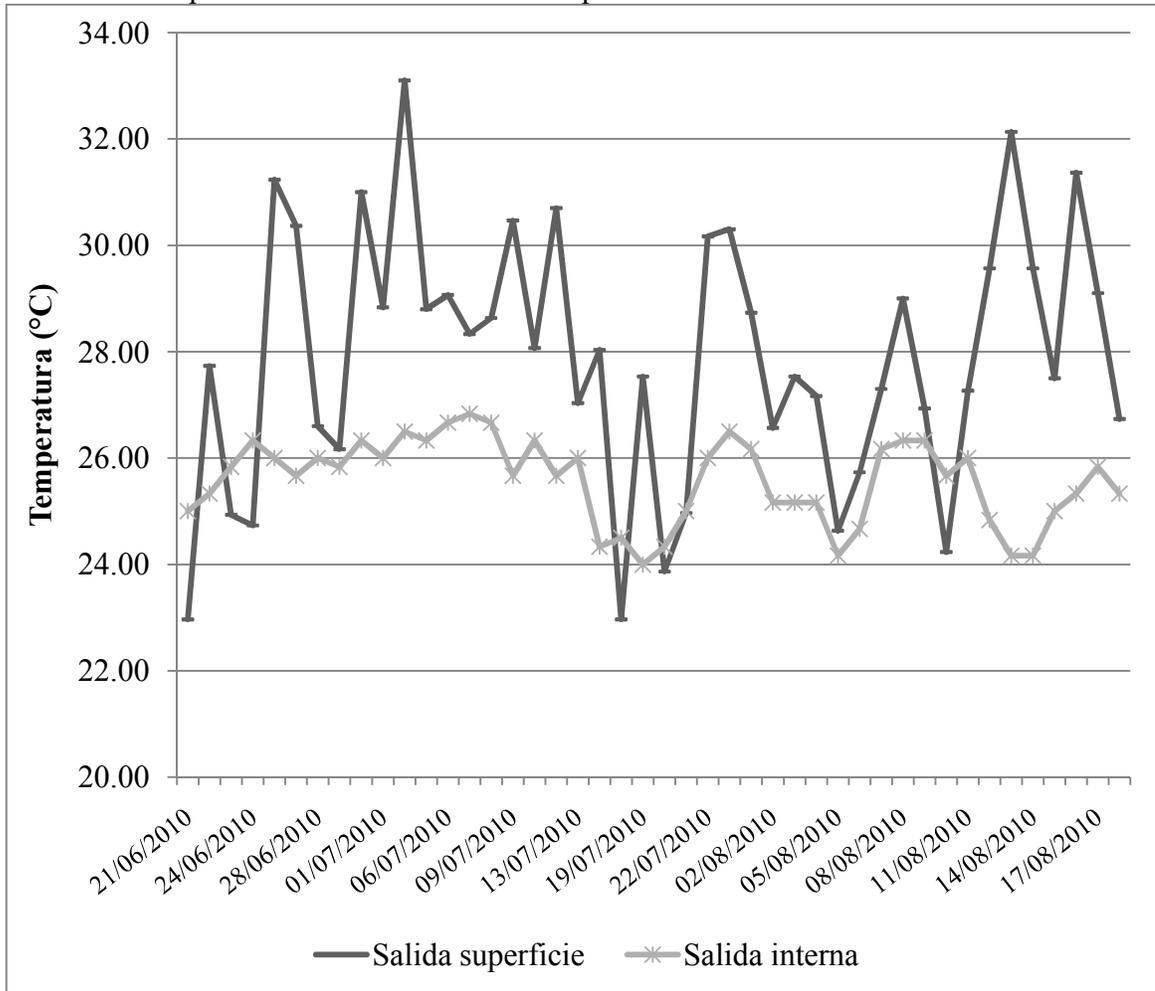
Anexo 1. Comparación de termómetros en el punto de entrada del sistema.



Anexo 2. Diferencia significativa entre los termómetros en el punto de entrada del sistema

Descripción	Entrada superficie	Entrada interna
Promedio (\bar{X})	27.35	25.35
Desviación estándar (S_x)	2.15	0.79
S_x^2	4.65	0.62
Error estándar ($S_{\bar{x}}$)	0.32	0.12
n-1	43.00	43.00
Error estándar ponderado $S_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}$	0.35	
gl	55.91	
Valor t obtenido ($t_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}$)	5.70	
t_α	2.00	
$t_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} > t_\alpha$		
$p < 0.05$	Si existe diferencia	

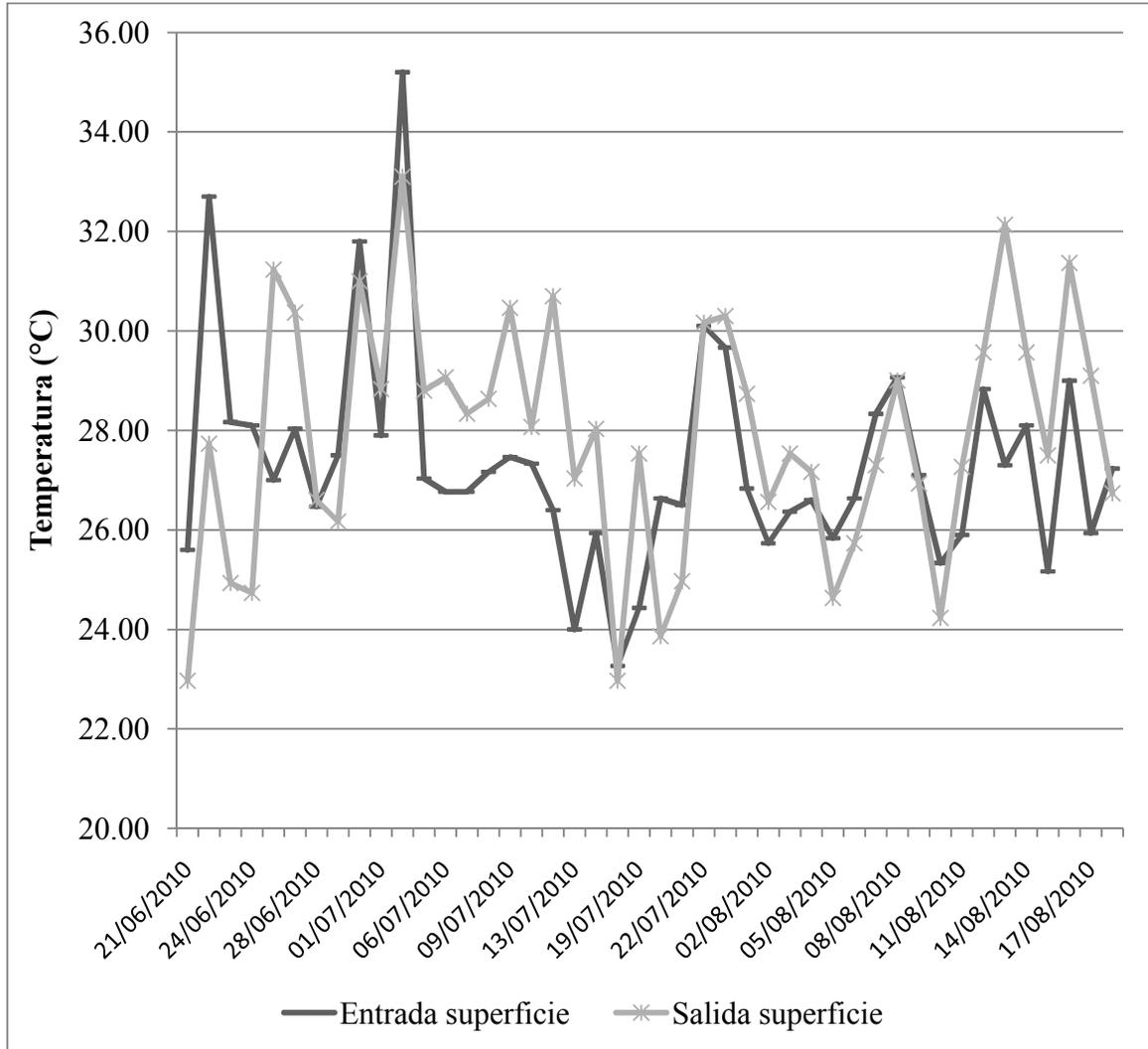
Anexo 3. Comparación de termómetros en el punto de salida del sistema.



Anexo 4. Diferencia significativa entre los termómetros en el punto de salida del sistema.

Descripción	Salida superficie	Salida interna
Promedio (\bar{X})	27.90	25.58
Desviación estándar (Sx)	2.43	0.79
Sx^2	5.91	0.62
Error estándar (S \bar{x})	0.37	0.12
n-1	43.00	43.00
Error estándar ponderado S $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$	0.38	
gl	53.03	
Valor t obtenido (t $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$)	5.96	
$t\alpha$	2.00	
t $\bar{x}_1 - \bar{x}_2 > t\alpha$		
p<0.05	Si existe diferencia	

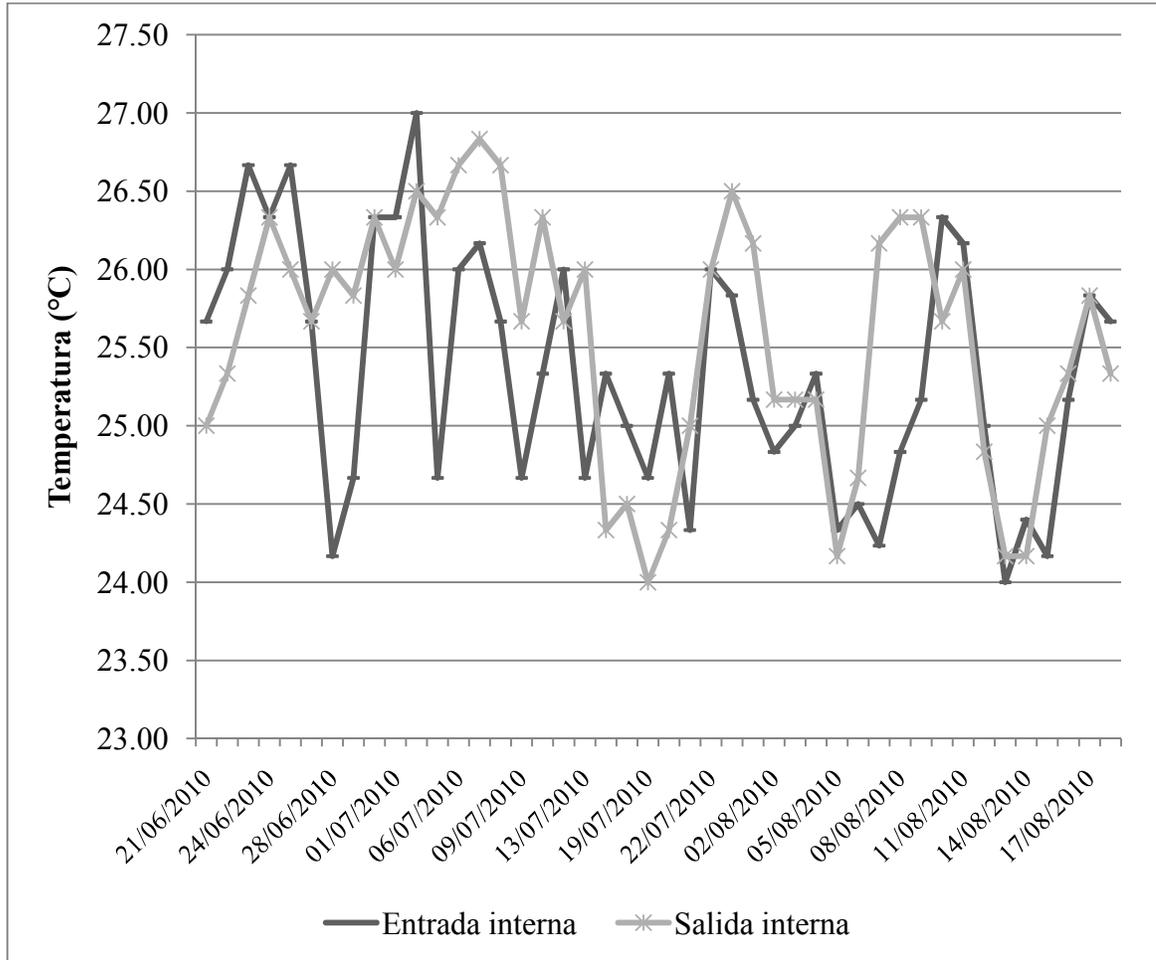
Anexo 5. Comparación de temperaturas superficiales en los puntos de entrada y salida del sistema.



Anexo 6. Diferencia significativa entre las temperaturas de los puntos de entrada y salida con el termómetro infrarrojo.

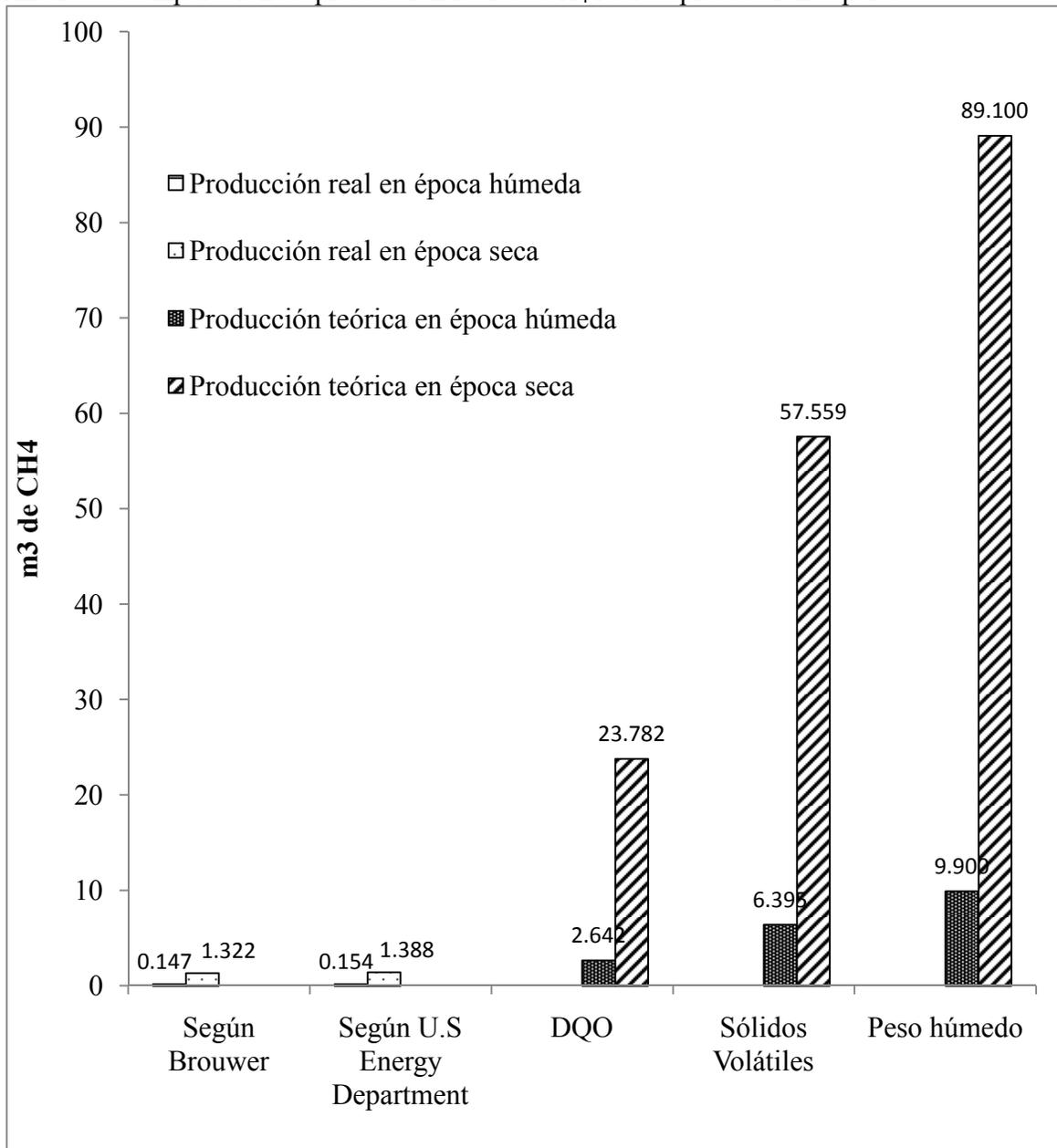
Descripción	Entrada superficie	Salida superficie
Promedio (\bar{X})	27.35	27.90
Desviación estándar (Sx)	2.15	2.43
Sx^2	4.65	5.91
Error estándar ($S_{\bar{x}}$)	0.32	0.37
n-1	43.00	43.00
Error estándar ponderado $S_{\bar{x}_1-\bar{x}_2}$	0.49	
gl	86.00	
Valor t obtenido ($t_{\bar{x}_1-t_{\bar{x}_2}}$)	-1.13	
t_{α}	2.00	
$t_{\bar{x}_1-t_{\bar{x}_2} < t_{\alpha}$		
$p > 0.05$	No existe diferencia	

Anexo 7. Comparación de temperaturas internas en los puntos de entrada y salida del sistema



Anexo 8. Diferencia significativa entre las temperaturas de los puntos de entrada y salida con el termómetro de mercurio.

Descripción	Entrada interna	Salida interna
Promedio (\bar{X})	25.35	25.58
Desviación estándar (Sx)	0.79	0.79
Sx^2	0.62	0.62
Error estándar ($S_{\bar{x}}$)	0.12	0.12
n-1	43.00	43.00
Error estándar ponderado $S_{\bar{x}_1-\bar{x}_2}$	0.16	
gl	86	
Valor t obtenido ($t_{\bar{x}_1-t_{\bar{x}_2}}$)	-1.35	
t_{α}	2.00	
$t_{\bar{x}_1-t_{\bar{x}_2} < t_{\alpha}$		
$p > 0.05$	No existe diferencia	

Anexo 9. Comparación de producción real de CH₄ real vs producción esperada

Anexo 10. Resultados Unilab muestra de excremento y agua. 23/06/2010

Código: RT-02
Quinta versión

INFORME DE RESULTADOS No. 4177

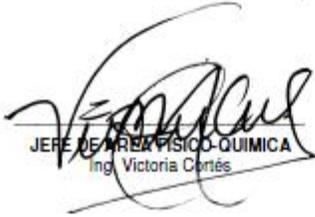
Identificación de muestra: EXCREMENTO Y AGUA
Tipo de muestra: DESECHOS BIOLÓGICOS **Cantidad:** 250 ML
Procedencia: ESCUELA AGRÍCOLA PANAMERICANA EL ZAMORANO
Dirección: EL ZAMORANO, VALLE DEL YEGUARE, CARRETERA DE ORIENTE
Solicitado por: ING. MILLY CORTÉS / DANIEL MOSCOSO
Responsable toma de muestra: LA EMPRESA DE PROCEDENCIA
Lote N°: _____ **Elaboración:** _____ **Vencimiento:** _____
Toma de muestra: 23/06/2010 **Fecha Ingreso:** 24/06/10: 5:00 PM
Fecha de análisis: 28/06/10 – 05/07/10 **Fecha entrega:** 14/07/10

Análisis	Resultado	Incertidumbre expandida*	Valor Normal**
Sólidos Totales Volátiles	14 355 mg/L	N/A	-----
DQO	13 547,08 mg/L	N/A	-----
----- ULTIMA LINEA -----			

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

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

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


 JEFE DE AREA FÍSICO-QUÍMICA
 Ing. Victoria Cortés


 DIRECCIÓN TÉCNICA
 Ing. Victoria Cortés

Anexo 11. Resultados Unilab muestra Biol. 23/06/2010

Código: RT-02
Quinta versión

INFORME DE RESULTADOS No. 4176

Identificación de muestra: MUESTRA BIOLÓGICA
 Tipo de muestra: DESECHOS BIOLÓGICOS Cantidad: 250 ML
 Procedencia: ESCUELA AGRÍCOLA 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 N°: _____ Elaboración: _____ Vencimiento: _____
 Toma de muestra: 23/06/2010 Fecha ingreso: 24/06/10; 5:00 PM
 Fecha de análisis: 28/06/10 – 05/07/10 Fecha entrega: 14/07/10

Análisis	Resultado	Incertidumbre expandida*	Valor Normal**
Sólidos Totales Volátiles	3 538,3 mg/L	N/A	-----
DQO	4 358,6 mg/L	N/A	-----
----- ULTIMA LINEA -----			

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

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

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


JEFE DE AREA FÍSICO-QUÍMICA
Ing. Victoria Cortés


DIRECCIÓN TÉCNICA
Ing. Victoria Cortés

Anexo 12. Resultados Unilab. Entrada y Salida biodigestor Taiwán. 19/08/2010

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 AGRÍCOLA PANAMERICANA EL ZAMORANO
 Dirección: EL ZAMORANO, VALLE DEL YEGUARE, CARRETERA DE ORIENTE
 Solicitado por: ING. MILLY CORTES / DANIEL MOSCOSO
 Responsable toma de muestra: LA EMPRESA DE PROCEDENCIA
 Lote N°: _____ 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 Limite de confianza 95% ** Referencia de valores normales al reverso. N/A = No aplica.


JEFE DE ÁREA FÍSICO-QUÍMICA
Ing. Victoria Cortés


DIRECCIÓN TÉCNICA
Ing. Victoria Cortés

Anexo 13. Resultados Laboratorio de Suelos Zamorano. 23/06/2010

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 junio de 2010

Resultado de análisis de abonos líquidos

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)

# Lab.	Muestra	g/L			% C	Rel C/N
		N	P	K		
10-O-0782	Estiercol + agua	0.25			0.14	5.41
10-O-0783	Biol	0.56	0.13	1.21	0.20	3.56

Responsable: _____
Ing. Hilda Flores

Anexo 14. Resultados Laboratorio de Suelos Zamorano. 23/08/2010; 19/08/2010

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 líquidos

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)

# Lab.	Muestra	Total (g/L)			Rel C/N
		N	P	K	
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-1118	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