

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUIMICA
MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES Y MEDIO AMBIENTE**



TITULO:

**ESTUDIO DE BIODIGESTORES ANAEROBICOS UTILIZANDO
TECNOLOGÍA COMBINADA DE BIOMASA Y SOLAR TERMICA PARA EL
MONTAJE DE UN NOVEDOSO Y AUTOSUSTENTABLE SISTEMA DE
GENERACION DE ENERGIA.**

**Previo para optar al título de Master en energías Renovables y Medio
Ambiente**

AUTOR:

ING. MAURICIO HERNANDEZ RUEDA.

TUTOR

JORGE CISNE, M.Sc.

ASESORES

NESTOR SAAVEDRA, M.Sc.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios en primer lugar por darme la fuerza y sabiduría por emprender este reto en mi vida.

A mi Esposa, mi hijo y mi madre por animarme a seguir adelante y apoyarme en todo momento.

Agradezco a mis amigos, en especial a Jorge Cisne por guiarme profesionalmente en este trabajo, y a Emilio Escoto por el apoyo técnico.

INDICE

CONTENIDO	Pág.
RESUMEN	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Problema	2
1.3 Justificación	3
II. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo General	4
2.2 Objetivos Específicos	4
III. MARCO REFERENCIAL	5
3.1 Energías Renovables	5
3.2 Biomasa	5
3.3 Fermentación Anaerobia	6
3.4 Biodigestor	6
3.5 Clasificación de Biodigestores Anaerobios	7
3.6 Tipos de Biodigestores	7
3.7 Ventajas y Desventajas de un Biodigestor	9
3.7.1 Ventajas	9
3.7.2 Desventajas	9
3.8 Captadores Solares Térmicos	10
3.8.1 Captadores de Placa Plana	10
3.8.2 Funcionamiento de los Colectores de Placa Plana	11
3.9 Biogás	11
3.10 Materia Prima para Producir Biogás	12
3.11 Potencial de Ganado en Fincas para Producción de Biogás	12
3.12 Microorganismos	13
3.12.1 Bacterias Hidrolíticas-Acidogénicas	13
3.12.2 Bacterias Acetogénicas	13
3.12.3 Bacterias Metanogénicas	14
IV. MATERIALES Y EQUIPOS	15
V. METODOLÓGIA	15
5.1 Flujograma de Proceso de Producción de Biogás	16
VI. RESULTADOS Y DISCUSION	19
VII. CONCLUSIONES	27
VIII. RECOMENDACIONES	28
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	29
X. ANEXOS	30

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición y Rendimiento de Biogás de Diferentes Materias Primas	12
Tabla 2. Resumen del Catabolismo de los Monómeros de la Celulosa, Lípidos y Proteínas	13
Tabla 3. Reacción Global de Algunas Bacterias Acetanogénicas	13
Tabla 4. Condiciones Óptimas para el Crecimiento de Metanógenos	14
Tabla 5. Temperatura Promedio Diaria de las Mezclas	20
Tabla 6. Contraste de Temperatura Media Diaria de Biogás y Volumen de Biogás Producido	22
Tabla 7. Valores Promedios de pH Diario de las Mezclas	26

INDICE DE GRAFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Comportamiento de la Temperatura de las Mezclas vs Dias de Estudio	21
Gráfico 2. Comportamiento de la Temperatura del Biogás vs Tiempo de Estudio	23
Gráfico 3. Producción de Biogás Durante el Tiempo de Estudio	24
Gráfico 4. Producción de Biogás en Función de la Temperatura durante el Tiempo de Estudio	25
Gráfico 5. Sistemas de Digestión en Función del pH	26

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Biodigestor de domo flotante	8
Figura 2. Biodigestor de domo fijo	8
Figura 3. Biodigestor de domo estructura flexible	8
Figura 4. Biodiestor con taque de almacenamiento tradicional	9
Figura 5. Estructura de un Colector Solar de Placa Plana	10
Figura 6. Preparación de Mezclas para Alimentación de Biodigestores	15
Figura 7. Fermentación Simple o Convencional (Testigo)	17
Figura 8. Fermentación con Agitación Diaria	17
Figura 9. Fermentación con Aplicación de Temperatura Mediante Colector Solar de Placa Plana	18
Figura 10. Fermentación con Agitación Diaria y Aplicación de Temperatura	18
Figura 11. Vista Frontal del Sistema de Biodigestores Sometidos a Estudio	19

RESUMEN

El biodigestor anaerobio es un sistema de producción de biogás a partir de materia orgánica. Los biodigestores se diseñan para instalarse generalmente en comunidades rurales, con el fin de producir biogás para la cocción de los alimentos; por lo que no existen datos de los parámetros y variables de este estudio en Nicaragua. En este estudio se realizó la evaluación de los parámetros temperatura, pH, volumen de biogás producido de biodigestores anaerobio, alimentados con estiércol de vaca y agua. Se realizaron cuatro tratamientos.

Durante todo el estudio se midió la temperatura de los biodigestores y la temperatura del medio ambiente, así como el pH. La dilución de la materia orgánica en general fue de 3:1. La temperatura de operación del biodigestor (35–40 °C), el pH (7.06 – 7.22) los que estuvieron dentro de las condiciones óptimas de crecimiento de las bacterias metanogénicas. Se observó que la radiación solar y la temperatura del medio ambiente sí influyen en las condiciones de operación de los biodigestores por la cantidad de biogás producido.

ABSTRACT

The anaerobic digester system is a production of biogas from organic matter. The digesters are designed to be installed generally in rural communities in order to produce biogas for cooking food, so that no data of the parameters and variables of this study in Nicaragua. In this study we conducted an evaluation of the parameters temperature, pH, volume of biogas produced from anaerobic digesters fed with cow dung and water. There were four treatments.

Throughout the study measured the temperature models digesters and environmental temperature and pH. Dilution of the organic matter in general was 1:3. Operating temperature the biodigester was between (35-40 ° C), pH was between (7.06 - 7.22) those who were within optimum growth conditions of the methanogenic bacteria. It was noted that solar radiation and temperature of the environment if they influence operating conditions biodigestores models the amount of biogas produced.

I. INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

En el sector agropecuario de Nicaragua, existen una gran cantidad de unidades productivas pecuarias, que generan diversos desechos orgánicos, los cuales hasta hace relativamente poco tiempo, se habían considerado como un problema de salud pública y de contaminación ambiental. Con el desarrollo de tecnologías de energía renovable, en particular el aprovechamiento de biogás, se abre la oportunidad para que estos desechos sean utilizados en la producción de energía eléctrica y calórica. Los desechos de granjas porcinas, y ganaderas y rastros, presentan una gran potencialidad de generación de biogás, con la cualidad de que la energía generada con este compuesto, puede ser usada en diversos procesos productivos al interior de las explotaciones, de forma amigable con el medio ambiente.

En la actualidad los residuos orgánicos provenientes de desechos de animales, agrícolas y humanos que no son tratados adecuadamente en las zonas rurales y urbanas producen grandes cantidades gases como metano, dióxido de carbono y monóxido de carbono que son los principales causantes del efecto invernadero. Sumado a esto la contaminación de los recursos hídricos provocando enfermedades a la población, flora y fauna.

Los procesos de la digestión anaeróbica en los biodigestores reduce los componentes orgánicos a materiales de desechos de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), de esta manera hay una captura y una combustión de metano resultando en una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en comparación al manejo tradicional de los desechos orgánicos

[1].

La digestión anaeróbica es un proceso complejo que se realiza en múltiples etapas y en el que participan numerosos microorganismos (cerca de 140 especies están relacionadas con las diferentes etapas), a través de dichas etapas se convierte la materia orgánica en compuestos más reducidos y oxidado del carbono (CH_4 y CO_2), respectivamente, sin requerir de un aceptor externo de electrones como el oxígeno o el nitrógeno. [2]

La digestión anaeróbica está presente en muchos ecosistemas naturales contribuyendo al reciclaje de nutrientes y de materia orgánica. La digestión anaeróbica se a utilizando tradicionalmente en la estabilización de residuos líquidos domésticos y rurales atreves de tanques sépticos y en la mineralización de desechos provenientes de la depuración de aguas residuales municipales.

Se podría creer que el biogás solo tiene un peso importante en países en desarrollo, como China, Nepal, India, donde se han construido millones de biodigestores en los últimos 20 años. A nivel latinoamericano, se han construido biodigestores en, Colombia, Perú, Bolivia, México, Costa Rica Nicaragua. No obstante, también en Europa se ha incrementado su producción anual en niveles importantes, Alemania produjo en el 2007, más de 1,144

millones m³ al año, Inglaterra 463 millones m³, Dinamarca 387 millones m³, siguen Italia, Francia, Grecia, Austria, Bélgica, principalmente con fines de producción de electricidad y calor.[3]

Nicaragua cuenta con una amplia historia implementando plantas de biogás doméstico cerca de 1500 unidades, 500 de los cuales a través del programa Hambre Cero financiado por el Gobierno, con resultados poco alentadores.

El potencial técnico de implementación de plantas de biogás, a partir de estiércol de bovino, es de 55,000 unidades a nivel nacional; considerando fincas con más de 7 vacas paridas, en promedio.

El modelo más difundido es el de Saco plástico, aunque existen en funcionamiento modelos de Domo fijo y de Campana flotante, no se construyeron muchos. En general, donde están funcionando bien hay una reducción de más del 50% de la leña para cocinar. [3]

El desarrollo de esta investigación permitirá generar diversos conocimientos para el país, dentro de los que destaca por un lado la generación de fuentes energía mediante el aprovechamiento de biogás combinado con energía solar térmica para propiciar el rápido crecimiento de las bacterias, disminuyendo así el tiempo de retención hidráulico y el retardo en la obtención del biogás. Por otro lado, los sistemas de biogás atienden la problemática de impacto ambiental al disminuir la emisión de gases de efecto invernadero, vectores transmisores de enfermedades y diseminación de malos olores.

1.2 Problema

El difícil acceso a energías convencionales en lugares rurales sea convertido en un prerequisite para la ejecución de medidas llevadas a cabo como índice de eliminación de pobreza. Muchos programas de porte internacional trabajan en el tema de la relación de Energía-Pobreza en la búsqueda de facilitar el acceso a fuentes de energías confiables y limpias para los hogares. [4]

En este sentido, la ganadería en Nicaragua es una actividad pujante, que cuenta actualmente con un hato de 3.5 millones de cabezas de ganado bovino. La mayor parte de la población rural y un porcentaje importante de la población urbana utilizan biomasa, principalmente leña, para satisfacer sus necesidades básicas de cocción de alimentos. También se utiliza la biomasa (leña, carbón de leña y residuos vegetales) en algunas actividades productivas, tales como fabricación de ladrillos de barro, trapiches, etc. Esta energía es utilizada para cocción de alimentos (en fogones tradicionales) y en procesos artesanales con muy bajas eficiencias, lo que explica en parte su alto peso a nivel de consumo final de energía. [3]

1.3 Justificación

Las excretas animales y humanas, así como desechos vegetales son vistas por muchos como un contaminante ambiental de importancia. En países como el nuestro las fuentes de energía en las zonas rurales provienen principalmente de la leña y la administración de este recurso natural está siendo mal lograda, incrementando así el deterioro del ambiente mediante despale. [3]

Sin embargo, pueden generar recursos muy valiosos mediante su procesamiento, de forma tal, que al reciclarse parte de la energía y de sus nutrientes, contribuyen a hacer sostenible en el trópico, la producción animal y de especies vegetales integradas. Desde el siglo pasado se conocía en la India y China el uso de procesos fermentativos para producir el biogás y tratar ecológicamente las excretas de animales de forma artesanal. En los biodigestores, que son las instalaciones donde ocurren estos procesos, se obtiene además un efluente líquido cuyo valor económico como fertilizante es equivalente al del biogás. [5]

Con este estudio se pretende evaluar la producción de biogás, empleando de forma combinada tecnologías renovables, biomasa y solar térmica, en cuatro modelos de biodigestores, y transferir dicha tecnología a zonas rurales del país donde pueda satisfacer algunas de las necesidades energéticas básicas (como la cocción de alimentos y alternativamente producción de energía eléctrica) y favorecer la conservación del medioambiente.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Evaluar la eficiencia de producción de biogás en cuatro biodigestores anaerobios con tecnología combinada de biomasa y solar, mediante monitoreo de los volúmenes de biogás obtenido, para la generación de energía.

2.2 Objetivos Específicos.

- Establecer los parámetros de operación del proceso de fermentación en los biodigestores anaerobios: pH, Temperatura de la mezcla, Temperatura del gas, Agitación de la mezcla, volúmenes de producción de biogás.

- Determinar el volumen de biogás producido por cada biodigestor.

III. MARCO REFERENCIAL

La obtención de energía se dificulta cada vez más, ya que las fuentes energéticas no se encuentran en lugares accesibles para su extracción, y es algo que se considera fundamental para el crecimiento y desarrollo económico de un país.

Hoy en día, la energía que proporciona una estabilidad económica, tanto mundial como nacional, proviene de combustibles fósiles. Dada la situación, se está viendo la manera de aprovechar otras fuentes de energía renovables, tales como: hidráulica, solar, eólica y biomasa.

3.1 Energías Renovables

Como anteriormente se ha mencionado, se consideran energías renovables la energía hidráulica, eólica, solar y biomasa.^[6]

La energía hidráulica es el aprovechamiento de la energía potencial y cinética del agua, que mediante máquinas se transforma en energía mecánica para ser utilizada en otro dispositivo.

La energía solar es la energía radiante emitida por el sol, la cual la captamos por medio de concentradores solares y paneles fotovoltaicos, para poderla aprovechar en sistemas térmicos o eléctricos.

La energía eólica es el aprovechamiento de la energía cinética del viento, ocasionado por la diferencia de temperatura en la atmósfera. Se ha aprovechado para navegación, bombeo, molienda y electricidad.^[6]

3.2 Biomasa.

Biomasa, se pueden considerar la leña, los residuos agrícolas y animales, carbón vegetal y otros combustibles derivados de fuentes biológicas; a partir de ésta se puede producir biocombustibles como: biodiesel, bioetanol y biogás. De la biomasa se obtienen biocombustibles en forma sólida, líquida o gaseosa.^[6]

La energía de la biomasa es un tipo de energía renovable procedente del aprovechamiento de la materia orgánica e industrial formada en algún proceso biológico o mecánico, generalmente, de las sustancias que constituyen los seres vivos (plantas, ser humano, animales, entre otros), o sus restos y residuos.

En general cualquier substrato puede ser utilizado como biomasa en cuanto contengan carbohidratos, proteínas, grasas, celulosa y hemicelulosa como componentes principales. Para seleccionar la biomasa se deben tener en cuenta los siguientes puntos.

- El contenido de sustancias orgánicas debe ser el apropiado para el tipo de fermentación elegido.
- El valor nutricional de la sustancia orgánica se relaciona directamente con el potencial de formación de biogás, por ende se busca que sea lo más alto posible.
- El substrato debe estar libre de agentes patógenos que puedan inhibir el proceso de fermentación.
- El contenido de sustancias perjudiciales o tóxicas debe ser controlado para permitir una tranquila evolución de la fermentación.
- Es importante que el resultado final del substrato (después de haber aprovechado la fermentación para generar biogás) sea un desecho utilizable (ejemplo fertilizante).

3.3 Fermentación Anaerobia

El proceso unitario de tratamiento de digestión anaerobia se emplea en todo el mundo para la depuración de aguas residuales y fangos procedentes de la industria, la agricultura y de origen urbano. [7]

En la digestión anaeróbica más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aeróbico. La digestión anaeróbica es uno de los procesos más utilizados, para el tratamiento de purines, en el que la materia orgánica es transformada biológicamente, bajo condiciones anaeróbicas, en metano y Dióxido de carbono. [10]

3.4 Biodigestor

El biodigestor anaerobio se empezó a conocer a finales del siglo XIX.

Definición: Un digestor de desechos orgánicos o biodigestor es en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado biodigestor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales, residuos sólidos urbanos, aguas residuales e industriales, etc.). Sus componentes básicos son premezclado en determinada dilución de agua para que se descomponga el material orgánico, digestión de la mezcla, producción de biogás y distribución del efluente como fertilizante orgánico rico en nutrientes, también considerado como parte medular en la producción de biogás. [6]

Este sistema también puede incluir una cámara de carga y nivelación del agua residual antes del biodigestor, un dispositivo para captar y almacenar el biogás y cámaras de presión hidrostática y post-tratamiento (filtro y piedras, algas, secado, entre otros) a la salida del biodigestor.

3.5 Clasificación de Biodigestores Anaerobios

Existen varios criterios para clasificar a los biodigestores anaerobios, una de ellos es por su tecnología o tipo de proceso.

Por su tecnología se clasifican como: primera, segunda y tercera generación. De primera generación comprende aquellos procesos en donde la biomasa se encuentra en suspensión, de segunda aquellos en los que los microorganismos son retenidos en el biodigestor o por las propiedades de sedimentación que posee, y de tercera, al igual que el de segunda, los microorganismos se encuentran en forma de biopelícula, pero el soporte se expande con las altas velocidades de flujo. [6]

De acuerdo al proceso se clasifican en continuos, semicontinuos y discontinuos (por lote).

En los procesos continuos existe un biodigestor y un tanque de postdigestión (TPD) para los lodos. Cuando se le adiciona sustrato al biodigestor, saldrá la misma cantidad de lodo en el TPD, por lo que el nivel en el biodigestor se mantiene constante. Los lodos que entran en el TPD pueden contener algo de sustrato, por lo que el proceso de digestión continuará en él. Por lo regular, el TPD se encuentra sellado para captar el poco biogás que se pueda producir en él. Este proceso es adecuado para los granjeros.

Los procesos discontinuos tienen un biodigestor, el cual se llena con estiércol y cosustratos, se sella y se inicia el proceso de digestión. La producción de biogás se va incrementando con el tiempo hasta que alcanza un punto máximo. Es entonces, cuando se abre el biodigestor, se vacía para volverle a ingresar materia prima y se repite la operación.

Los procesos semicontinuos combinan las ventajas del proceso discontinuo y continuo. Permite utilizar el biodigestor para almacenamiento y digestión de la materia prima. [6]

3.6 Tipos de Biodigestores

- Biodigestor de domo flotante
- Biodigestor de domo fijo
- Biodigestor de estructura flexible
- Biodigestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno.

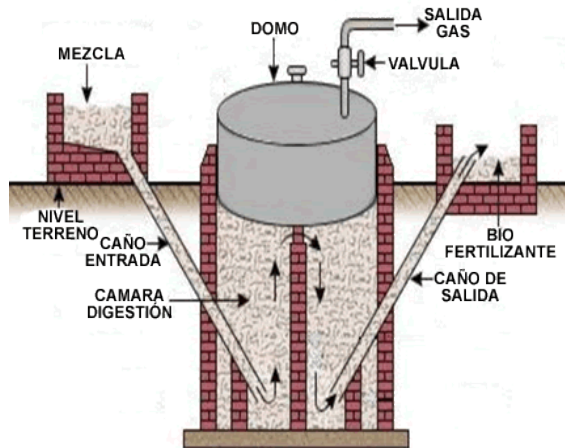


Figura 1. Biodigestor de domo flotante

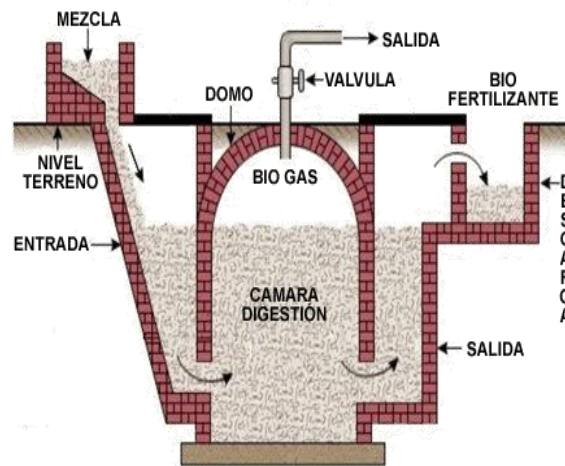


Figura 2. Biodigestor de domo fijo

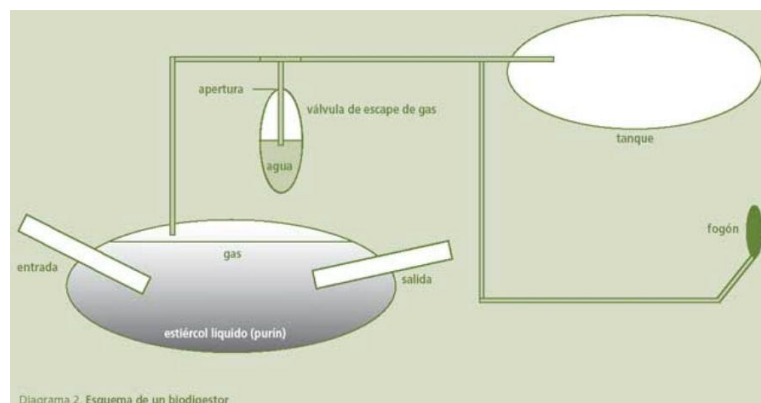


Diagrama 2. Esquema de un biodigestor

Figura 3. Biodigestor de estructura flexible

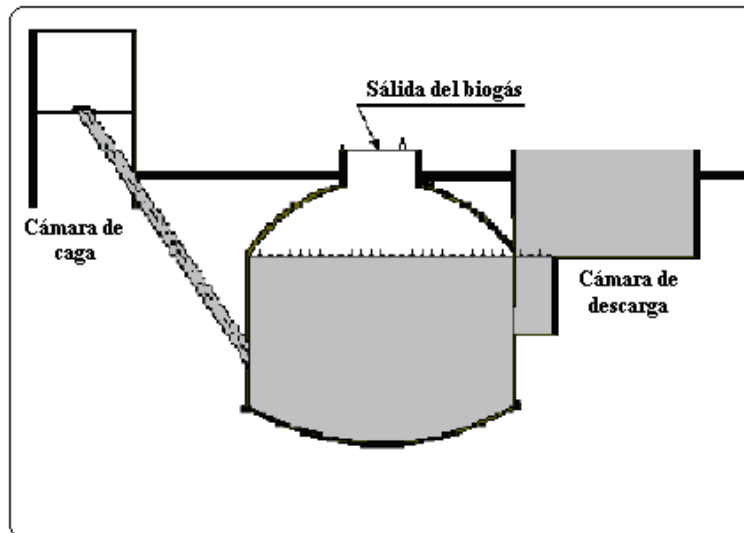


Figura 4. Biodigestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno

3.7 Ventajas y Desventajas de un Biodigestor

3.7.1 Ventajas

a) Producción de Energía

Por la acción de las bacterias metanogénicas, gran parte del contenido orgánico de las aguas se transforma en gas metano. Teóricamente 1 kg de la demanda química de oxígeno (DQO) eliminada produce 350 litros de metano a 35°C. Este combustible posee un elevado poder energético utilizable.

b) Producción de Fangos

Por quedar convertida la mayor parte de la materia orgánica, en el proceso anaerobio, en biogás, el sólido restante queda bien estabilizado y utilizable previa deshidratación como fertilizante.

c) Proceso Exterior

Como los biodigestores se construyen en ambientes cerrados, la producción de malos olores es baja en el proceso anaerobio, comparado con los olores desagradables que se desprenden en el sistema donde la depuración se realiza en espacios abiertos. Los digestores cerrados deben ubicarse a distancia mínima de 500 metros de las urbanizaciones.

3.7.2 Desventajas

a) Puesta en Marcha

Debido a la baja velocidad de crecimiento de los microorganismos, en el proceso anaeróbico la puesta en marcha de este tratamiento es lenta.

b) Temperatura

El tratamiento anaerobio a temperatura ambiente resulta demasiado lento, porque la temperatura a la cual la actividad de las bacterias es óptima debe ser de al menos 35 °C.

3.8 Captadores solares Térmicos

Un captador solar, también llamado colector solar, es cualquier dispositivo diseñado para recoger la energía radiada por el sol y convertirla en energía térmica. Los colectores se dividen en dos grandes grupos: los captadores de baja temperatura, utilizados fundamentalmente en sistemas domésticos de calefacción y ACS, y los colectores de alta temperatura, conformados mediante espejos, y utilizados generalmente para producir vapor que mueve una turbina que generará energía eléctrica.

Dentro de los captadores solares más comunes se encuentran:

- Captadores de placa plana
- Captadores de tubo de vacío
- Concentradores
- Captadores de aire

3.8.1 Captadores de Placa Plana (CPP)

Un captador solar plano, también llamado colector solar o panel solar térmico, es un dispositivo que sirve para aprovechar la energía de la radiación solar, transformándola en energía térmica de baja temperatura para diferentes usos domésticos, comerciales e industriales. [9]

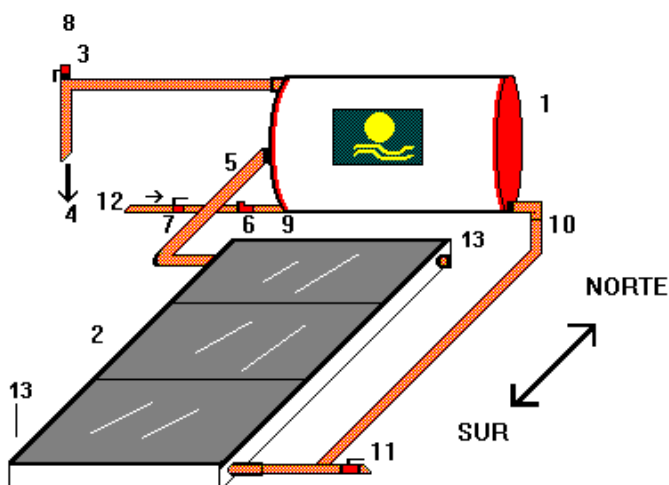


Figura 5. Estructura de un colector solar de placa plana.

3.8.2 Funcionamiento de los colectores de placa plana

Los colectores solares planos funcionan aprovechando el efecto invernadero, el mismo principio que se puede experimentar al entrar en un auto aparcado al sol en verano. El vidrio actúa como filtro para ciertas longitudes de onda de la luz solar: deja pasar fundamentalmente la luz visible, y es menos transparente a las ondas infrarrojas de menor energía. [9]

El sol incide sobre el vidrio del colector, que siendo transparente a la longitud de onda de la radiación visible, deja pasar la mayor parte de la energía. Ésta calienta entonces la placa colectora que, a su vez, se convierte en emisora de radiación en onda larga o infrarrojos. Pero como el vidrio es opaco para esas longitudes de onda, a pesar de las pérdidas por transmisión, (el vidrio es un mal aislante térmico), el recinto de la caja se calienta por encima de la temperatura exterior.

Al paso por la caja, el fluido caloportador que circula por los conductos se calienta, y transporta esa energía térmica a donde se desee. [9]

3.9 Biogás

La técnica empleada en el presente trabajo genera un biocombustible gaseoso a escala de laboratorio, denominado biogás; que por lo regular, se utiliza como generador de calor de proceso y de electricidad. Conocimiento que puede llevarse a las comunidades rurales para la cocción de los alimentos porque en dichos lugares no hay distribución de Gas. Esto conllevaría a mejorar la economía local, la disminución de problemas respiratorios (por la utilización de leña).

El biogás se produce por la fermentación anaeróbica de materia orgánica, de desechos agroindustriales y forestales, tales como: heces fecales, estiércol de vaca, de porcino, de caballo, de pollo, humano, etc.[6]

La generación de energía a partir de biogás queda dentro del ciclo natural. Básicamente no es más que acelerar un proceso, la fermentación anaeróbica, que ocurre en forma espontánea en la naturaleza, como el producido en el tracto digestivo de los animales rumiantes.[5]

El biogás está constituido principalmente de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y una serie de impurezas que dependen del origen primario del biogás.

Otros componentes comunes presentes en el biogás son:

- H_2S
- NH_3
- Vapor de agua
- Polvo
- N_2
- Siloxanos

3.10 Materia Prima para Producir Biogás

Se consideran fuentes de bioenergía los cultivos energéticos, residuos post-cosecha, subproductos y desechos orgánicos; y éstos se pueden transformar en biocombustibles en estado sólido, líquido o gaseoso.^[6]

Como materia prima, para producir biogás, se puede considerar la gallinaza, el estiércol de vaca y de cerdo; aunque hoy en día se le puede adicionar substratos como: desechos vegetales, sub-productos de animales, ensilaje de maíz y de pasto.^[6]

La materia prima debe contener una alta carga orgánica, como por ejemplo: aguas residuales de la industria alimentaria, residuos agrícolas, de algas y de los rastros, la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales, biomasa de agua dulce, malas hierbas, etc. Hoy en día, se está estudiando el rendimiento de las mezclas de substratos con estiércol.^[6]

La siguiente tabla muestra la composición y rendimiento de biogás de algunas materias primas.^[6]

Tabla 1. Composición y rendimiento de biogás de diferentes materias primas

Materia Prima	Rendimiento de Biogás (m³ /Ton mosto)
Cultivos Energéticos	550 – 750
Desechos Agroindustriales	400 – 800
Estiércol de Vaca	200 - 400
Estiércol de Cerdo	350 – 550
Gallinaza	350 – 550
Desechos Vegetales	400 – 700
Residuos de Cultivos	300 – 400
Ensilaje de Maíz	500 – 900
Ensilaje de Pasto	600 – 1300
Residuo del Procesamiento de la Carne	550 - 1110

Como se puede observar, los residuos del procesamiento de la carne es el que tiene mayor contenido carga orgánica en cuanto a materia prima; y como aditivo del proceso de biodigestión es el ensilaje de pasto. No obstante, una de las ventajas de tratar el estiércol, ya sea adicionando sustrato o no, es que se reduce el tiempo de diezmo de las bacterias patógenas.^[6]

3.11 Potencial de Ganado en Fincas para Producción de Biogás

Para la producción de 1m³ de biogás (2-3 horas de gas para cocinar) se requiere de 24 kg de estiércol de ganado al día. La disponibilidad de estiércol sin embargo está relacionado no solamente con el número de cabezas de ganado lechero (vacas paridas), sino también con el manejo que se da al ganado, tiempo de ordeño, número de veces de ordeño al día, tiempo de estadía en el corral, y distancia del corral a la casa finca. Un estimado de

estadía en el corral de 2 horas para el ordeño y lactancia de los terneros, y de 8 horas de pernoctación en el corral podría facilitar la disponibilidad de más de 5 kg de estiércol por cabeza de ganado. [5]

3.12 Microorganismos

El proceso de producción del biogás es por medio de una biodegradación anaeróbica de la materia orgánica, la cual llevan a cabo microorganismos que coexisten en el biodigestor, estos microorganismos son bacterias hidrolíticas-acidogénicas, acetogénicas y metanogénicas. [6]

3.12.1 Bacterias Hidrolíticas-Acidogénicas

En esta fase, las bacterias hidrolíticas hidrolizan la celulosa, los lípidos y las proteínas por medio de enzimas hidrolíticas. El resultado de la hidrólisis de cada compuesto resulta en el monómero de cada una. Al estar en un proceso anaerobio, las bacterias hidrolíticas necesitan generar energía y está la obtienen por medio del catabolismo de la glucosa, el glicerol y aminoácidos. Al catabolismo de la glucosa se le conoce con el nombre de “Glucólisis”.

Los productos del catabolismo se acidifican por medio de las bacterias acidogénicas, tales como: *Clostridium*, *Bifidobacterium*, *Desulphovibrio*, *Actinomycesy Staphylococcus*. Produciendo CO₂, H₂ y ácidos grasos volátiles, a mencionar: ácido propiónico, ácido acético y ácido butírico. [6]

Tabla 2. Resume del catabolismo de los monómeros de la celulosa, lípidos y proteínas

Polímero	Monómero	Catabolismo	Acidificación
Celulosa	Glucosa	Piruvato	Ácido acético
Lípidos	Glicerol	Piruvato	Ácido acético
Proteínas	Aminoácidos	Propionato2-Alquil-Acetato Butirato	Ácido propiónico Ácido acético Ácido Butírico

3.12.2 Bacterias Acetogénicas

Los ácidos grasos volátiles son convertidos a acetato, anhido carbónico e hidrógeno por bacterias acetogénicas, pero principalmente por dos familias, a mencionar: bacterias acetogénicas obligadas que producen hidrógeno y bacterias homoacetogénicas. [6]

La tabla 3. Reacción global de algunas bacterias acetogénicas

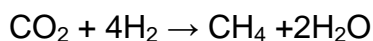
Tipo	Reacción Global	Nombre Científico
Ácido Propiónico	$Lactato^- \rightarrow Propionato^- + Acetato^- + CO_2$	<i>Propionibacterium</i> <i>Clostridiumpropionicum</i>
Ácido Butírico	$Hexosas \rightarrow Butirato^- + Acetato^- + H_2 + CO_2$	<i>Clostridiumbutyricum</i>

3.12.3 Bacterias Metanogénicas

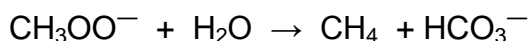
La metanogénesis es la producción biológica de CH₄. Este se produce por la descarboxilación del acetato y la metanización del anhídrido carbónico e hidrógeno por medio de las bacterias metanogénicas, tales como: *Methanobacterium*, *Methanobrevibacter*, *Methanothermus*, *Methanococcus*, *Methanomicrobium*, *Methanogenium*, *Methanosarcina*, *Methanolobus*, *Methanothrix*, *Methanopyrus*, *Methanocorpusculum* y *Methanobacillus*.

Se han aislado e identificado 84 especies de metanógenos y las principales especies son: *Thiobacillus thiooxidans* y *Thiobacillus ferrooxidans*, aunque dos familias son las responsables de producir CH₄, a mencionar: acetoclástica (es la responsable de producirlo en un 70 %) y la hidrogenotrófica. [6]

Las reacciones que producen el metano (CH₄) son a partir del anhídrido carbónico (CO₂) y acetato (CH₃COO⁻). Sus reacciones globales son como siguen:



En esta reacción se libera energía de 131 kJ.



En la reacción para la conversión de acetato a metano, se libera energía de 31 kJ.

El amoníaco favorece el crecimiento de las bacterias metanogénicas, pero en concentraciones altas puede ser tóxico para las mismas (convirtiéndose en un inhibidor). El amoníaco puede estar presente de dos formas en el biobiodigestor, como amoníaco libre o ión amonio.

Se ha reportado que el amoníaco libre inhibe más que el ión amonio. Sin embargo, la población microbiana, tanto metanogénica y no metanogénica, coexiste en el biodigestor manteniendo un apropiado pH durante la fermentación. [6]

Tabla 4. Condiciones óptimas para el crecimiento de metanógenos

Condición	(Nursen. et, 2004)	(Wang. et, 2011)
pH	6.6 a 7.6	6.8 a 7.5
Temperatura (°C)	32 a 42	25 a 30

IV. MATERIALES Y EQUIPOS

- Recipientes con capacidad de 20 L, 4 unidades (Biodigestores)
- Serpentes intercambiadores de calor, 2 unidades
- Colector Solar placa plana, marca KALOTRON, 1
- Recipientes de mezcla de materia prima, 4 unidades
- Soporte de biodigestores, 1
- Elementos de conducción de agua y biogás, 2 unidades
- Agitador de eje vertical ajustable a 150 RPM, 2 unidades
- Válvulas de 1''
- Dataloger (sensores térmicos)
- Cinta métrica, 1
- Sensores de pH, 4 unidades
- Recipientes colectores de biogás con capacidad de 5 L, 4 unidades
- Accesorios para captación de biogás, 1
- Balanza granataria, 1
- Ordenador y software

V. METODOLOGÍA

El estudio se realizó en laboratorio de la Maestría en Energías Renovables y Medio Ambiente, ubicada en el edificio de la Facultad de Ciencias y Tecnologías de Unan León.

Para la realización del estudio como materia prima se utilizó estiércol de ganado bovino, en una relación 1:3 sustrato biomásico-agua. Material procedente del Campus Agropecuario de Unan-León.

Se utilizó un colector solar térmico de placa plana para inyectar agua caliente al sistema.

Se preparó un volumen 15 L de mezcla y se dejó prefermentar por 20 días, después de este tiempo los lodos productos de este primer proceso se dividieron en cuatro partes para emplearse como sepas madres de bacterias en los cuatro biodigestores.



Figura 6. Preparación de la mezcla para alimentar el biodigestor

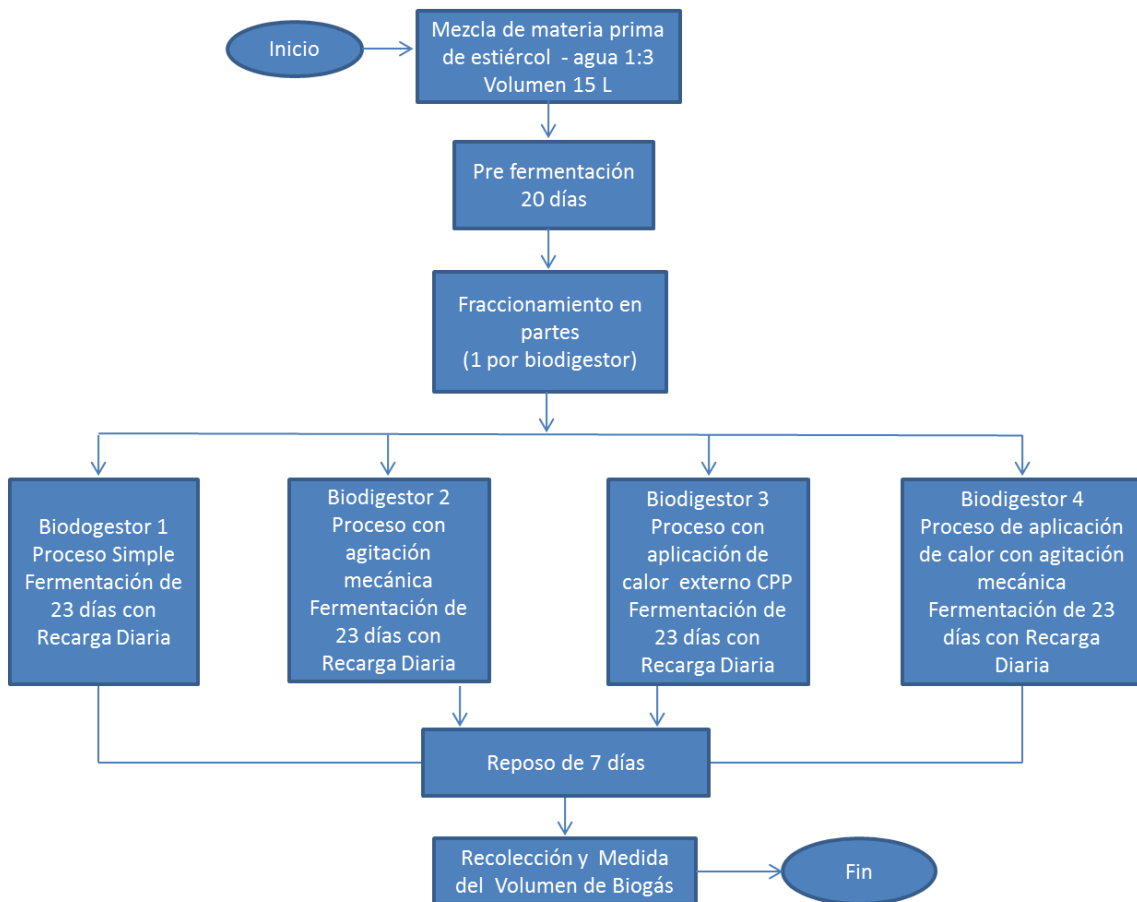
Posteriormente se realizaron las primeras recargas para dar inicio al estudio. Las recargas de mezcla biomásica-agua se realizaron diariamente. Y la agitación dos veces al día en los biodigestores sometidos a este proceso.

En cada biodigestor se midió el volumen de biogás producido. Y de forma continua la temperatura de la mezcla, temperatura del biogás y el pH de los

mismo. Todos los registros de los datos se realizaron simultáneamente a través de un software denominado PICOLOG. El cual está constituido de sondas termo pares de ocho unidades sensoriales, cuatro de ellas ubicadas en la mezcla biomásica-agua y las otras cuatro en la fase gaseosa. Los cuatro sensores de pH se ubicaron solamente en la mezcla.

Los cuatro procesos de biodigestión implementados a escala de laboratorio, se describen en el flujograma siguiente:

Flujograma de proceso de producción de biogás



DESCRIPCION DEL BIODIGESTOR, TESTIGO

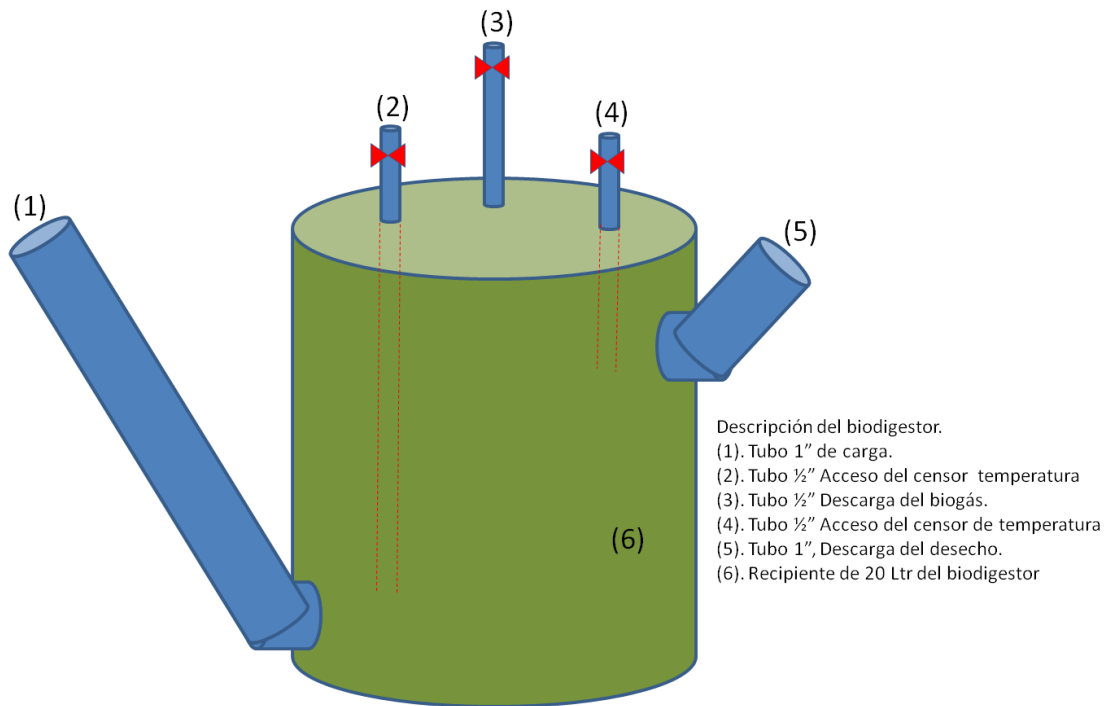


Figura 7. Fermentación simple o convencional que fungió como testigo

DESCRIPCION DEL BIODIGESTOR + AGITACION

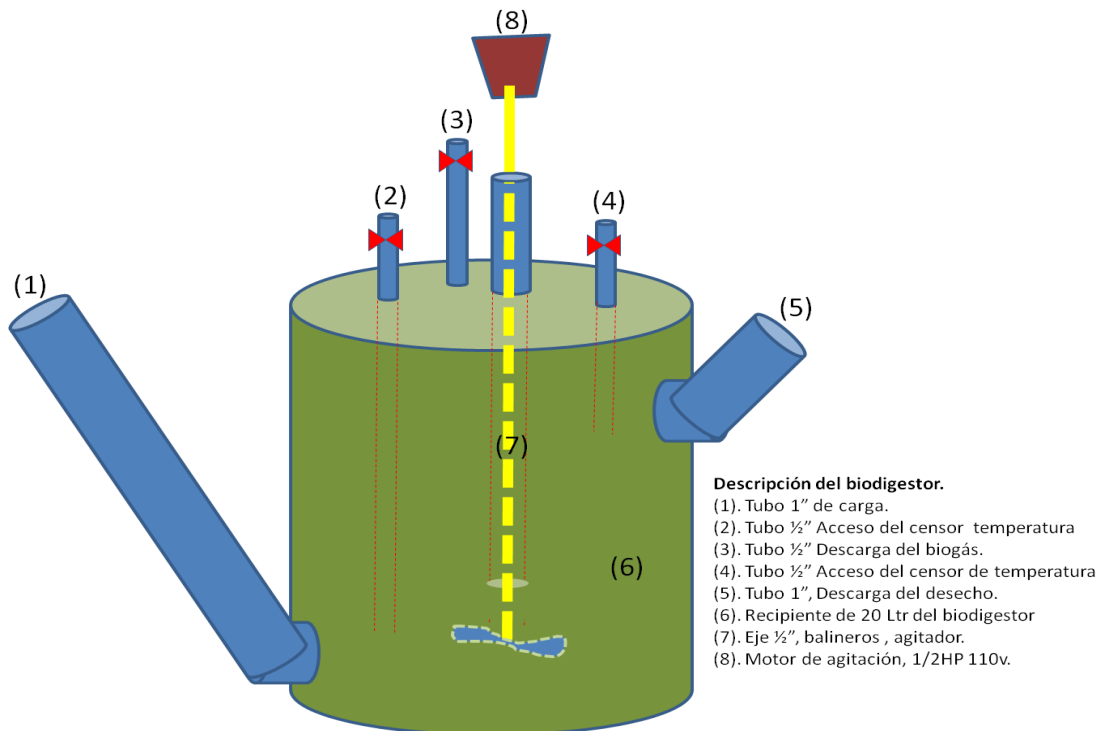


Figura 8. Fermentación con agitación diaria

DESCRIPCION DEL BIODIGESTOR + CALENTAMIENTO DEL ESTIERCOL

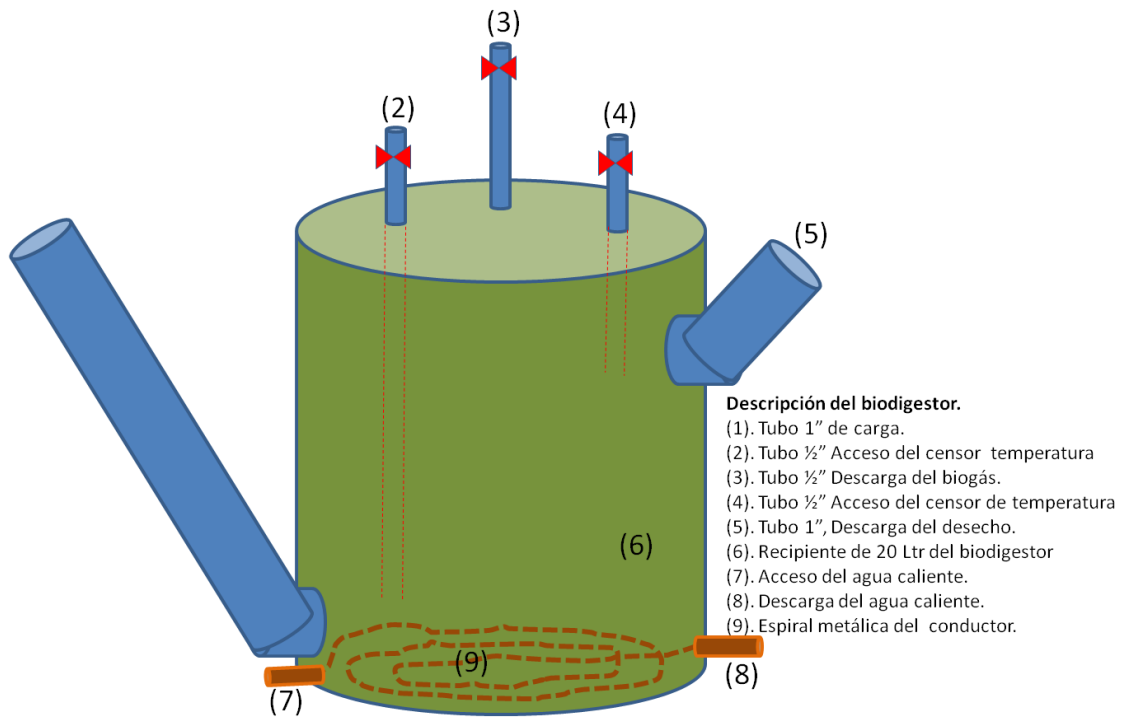


Figura 9. Fermentación con aplicación externa de temperatura mediante colector solar de placa plana.

DESCRIPCION DEL BIODIGESTOR CON AGITACION + CALENTAMIENTO DEL ESTIERCOL

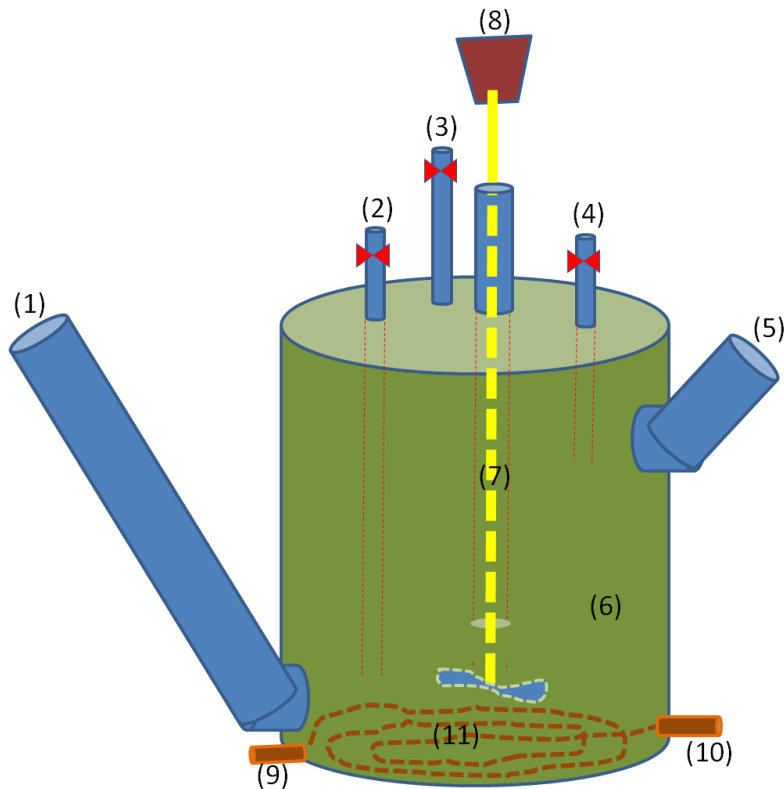


Figura 10. Fermentación con agitación diaria y aplicación de temperatura

Se utilizó un colector solar térmico para inyectar agua caliente al sistema, para estimular microorganismo que trabajan a otros niveles de temperaturas como las termofilicas

Las recargas de mezcla biomásica-agua se realizaron diariamente. Y la agitación en los biodigestores dos veces al día. Se realizaron dos veces al día las lecturas (9 am y 4pm), después de realizada la acción de agitación de las mezclas en los biodigestores con esta variante.



Figura 11. Vista frontal del sistema de biodigestores sometidos a estudio

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La función del colector solar térmico fue calentar agua y utilizar su energía calorífica para transferírsela a las mezclas en los biodigestores y lograr alcanzar los valores de temperatura de mayor utilidad para obtener el crecimiento acelerado de los microorganismos (Bacterias).

Se realizaron medidas de temperaturas en el sustrato durante 23 días cada hora utilizando la interfaz PICOLOG al cual estaban conectadas unas micro termocuplas, las que se encontraban en el interior de cada biodigester en contacto directo con las mezclas; el promedio de temperaturas registradas por cada día así como también el promedio de temperatura durante todo el estudio son las que se muestran en la tabla 5. A como se puede observar las temperaturas obtenidas en cada biodigester se ven afectadas principalmente por las condiciones ambientales y meteorológicas tales como días nublados, soleados o con lluvia.

Como se puede observar en la tabla 5, las temperaturas medidas en los cuatro biodigestores oscilan entre 27.58 y 35.60°C que favorecen el crecimiento de las bacterias metanogénicas, valores que se encuentran dentro de los rangos reportados en la literatura según Nursen.et.[11] Lo mismo se observa para los promedios de temperatura medida en todo el estudio. En el gráfico 1 y tabla 5 se muestra el comportamiento de la temperatura en el interior de los biodigestores durante los días de estudios, siendo los datos más notorios los biodigestores sometidos a calentamiento de las mezclas con el CPP.

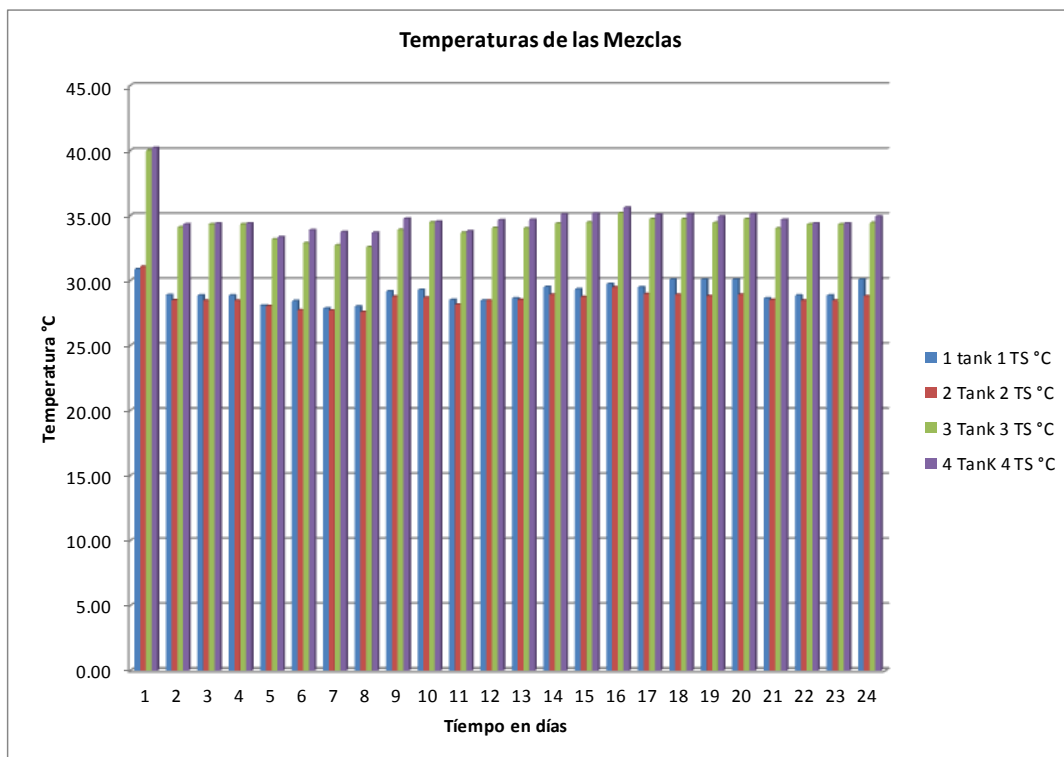
Tabla 5. Temperaturas promedio diario de las mezclas

1	2	3	4	
Tanq 1 TM	Tanq 2 TM	Tanq 3 TM	Tanq 4 TM	
°C	°C	°C	°C	
30.87	31.08	40.00	40.19	
28.88	28.47	34.10	34.34	
28.84	28.47	34.34	34.40	
28.84	28.47	34.34	34.40	
28.07	28.02	33.17	33.33	
28.43	27.73	32.87	33.89	
27.87	27.68	32.72	33.74	
28.00	27.58	32.58	33.68	
29.17	28.76	33.91	34.76	
29.27	28.67	34.48	34.52	
28.51	28.14	33.68	33.79	
28.47	28.47	34.05	34.64	
28.63	28.50	34.02	34.68	
29.50	28.91	34.40	35.09	
29.34	28.75	34.48	35.16	
29.73	29.47	35.19	35.60	
29.48	28.96	34.73	35.07	
30.09	28.90	34.73	35.13	
30.07	28.81	34.43	34.92	
30.09	28.90	34.73	35.13	
28.63	28.50	34.02	34.68	
28.84	28.47	34.34	34.40	
28.84	28.47	34.34	34.40	
30.07	28.81	34.43	34.92	
Promedios	29.11	28.63	34.34	34.79

En el gráfico 1 se puede observar que de manera general las temperaturas registradas en los biodigestores durante el estudio oscilan entre 27.58 y 35.6°C, a excepción del primer día de toma de datos en los biodigestores 3 y 4 que registran valores muy diferentes al resto de días debido a ajustes en los sistemas de biodigestión, y se encontró que los sensores de temperatura estaban en contacto directo con el sistema intercambiador de calor, posterior al arreglo se notara los registros estables de datos de acuerdo al comportamiento de cada biodigestor.

Así mismo se puede ver que las temperaturas de trabajo registradas durante el estudio en los cuatro biodigestores se encuentran en los rangos de producción de biogás citados por Nursen y Wang. [11,12]

Gráfico 1. Comportamiento de la Temperatura de las mezclas vs Días de estudio.



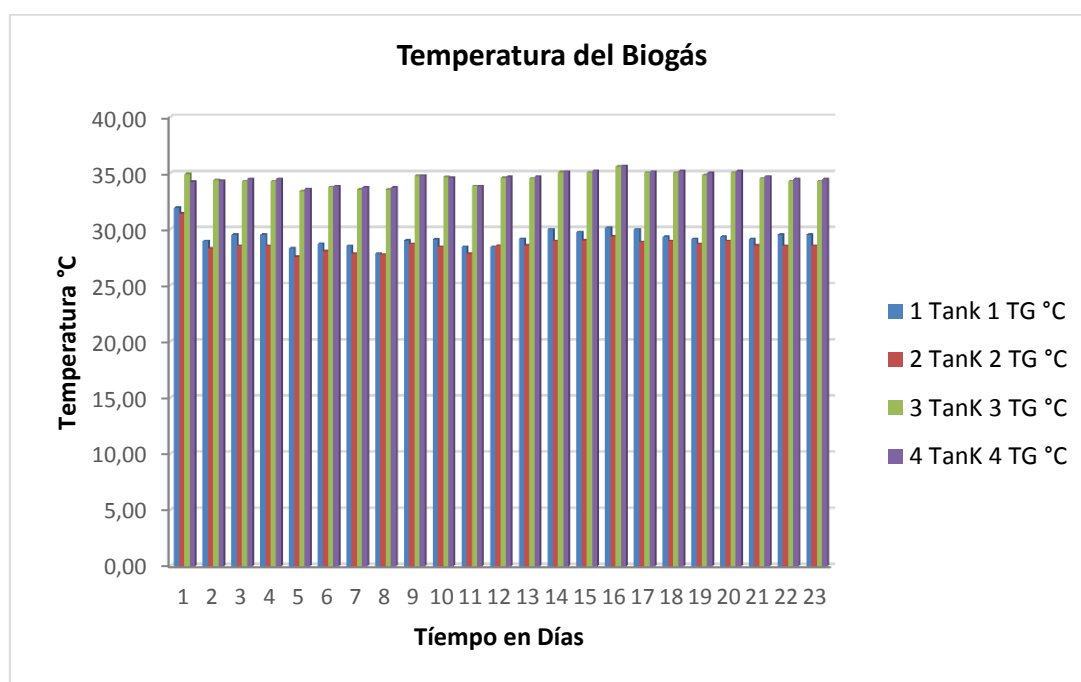
La tabla 6 muestra la temperatura media diaria asociada al volumen de biogás producido en cada biodigestor. Y los valores promedio diario de temperatura ambiente captados en paralelo durante el estudio para tener referencia de las condiciones externas si hacían algún efecto a lo interno de cada reactor. Como se observara los datos registrados en el ambiente no representan ninguna variante en comparación ante los datos tomados al interno.

Tabla 6. Contraste de temperatura media diaria y volumen del biogás producido.

N°	T.amb. Media Diaria	Tanque 1		Tanque 2		Tanque 3		Tanque 4	
		TBG	VBG	TBG	VBG	TBG	VBG	TBG	VBG
		°C	L	°C	L	°C	L	°C	L
1	30.6	31.92	0.00	31.40	0.00	34.92	0.00	34.23	0.00
2	31.0	28.95	1.15	28.30	1.23	34.39	1.68	34.31	1.75
3	31.1	29.52	2.30	28.53	2.46	34.26	3.36	34.47	3.50
4	30.4	29.52	3.45	28.53	3.69	34.26	5.04	34.47	5.25
5	30.3	28.31	5.20	27.55	6.80	33.39	6.72	33.60	7.10
6	30.4	28.72	5.75	28.05	6.15	33.77	8.4	33.83	8.75
7	30.7	28.52	6.10	27.82	6.62	33.54	9.55	33.74	10.50
8	31.4	27.83	8.05	27.76	8.61	33.54	11.76	33.73	12.25
9	30.8	29.01	9.20	28.70	9.84	34.76	13.44	34.80	14.00
10	30.8	29.10	10.35	28.46	11.07	34.65	15.12	34.60	15.75
11	30.6	28.44	11.50	27.82	12.30	33.85	16.80	33.85	17.50
12	30.1	28.43	12.65	28.55	13.53	34.58	18.48	34.66	19.25
13	30.9	29.15	13.80	28.56	14.76	34.54	20.16	34.70	21.00
14	30.8	30.00	14.95	28.95	15.99	35.09	21.84	35.13	22.75
15	30.8	29.75	21.58	29.02	17.22	35.07	35.4	35.21	24.50
16	30.6	30.14	22.11	29.36	19.20	35.60	35.46	35.65	37.20
17	30.8	30.00	22.63	28.88	21.20	35.06	35.52	35.12	36.50
18	29.9	29.33	23.16	28.96	21.80	35.05	35.58	35.19	36.80
19	30.1	29.15	23.68	28.71	21.10	34.83	35.64	35.02	35.70
20	31.0	29.33	24.21	28.96	21.27	35.05	35.70	35.19	36.50
21	30.7	29.15	24.73	28.56	21.22	34.54	35.76	34.70	37.40
22	31.1	29.52	25.40	28.53	21.17	34.26	35.28	34.47	37.80
23	30.4	29.52	25.50	28.53	21.12	34.26	36.96	34.47	38.80
24	31.1	29.15	26.45	28.71	21.07	34.83	35.4	35.02	38.50

Como se puede ver en el gráfico 2, el comportamiento de las temperaturas promedio diarias del biogás en el interior de los biodigestores son similares a las de las mezclas, es decir, que tanto las mezclas como el biogás se mantuvieron en un equilibrio térmico dentro de los biodigestores durante el tiempo que duró el estudio.

Gráfico 2. Comportamiento de la temperatura del biogás vs tiempo de estudio.



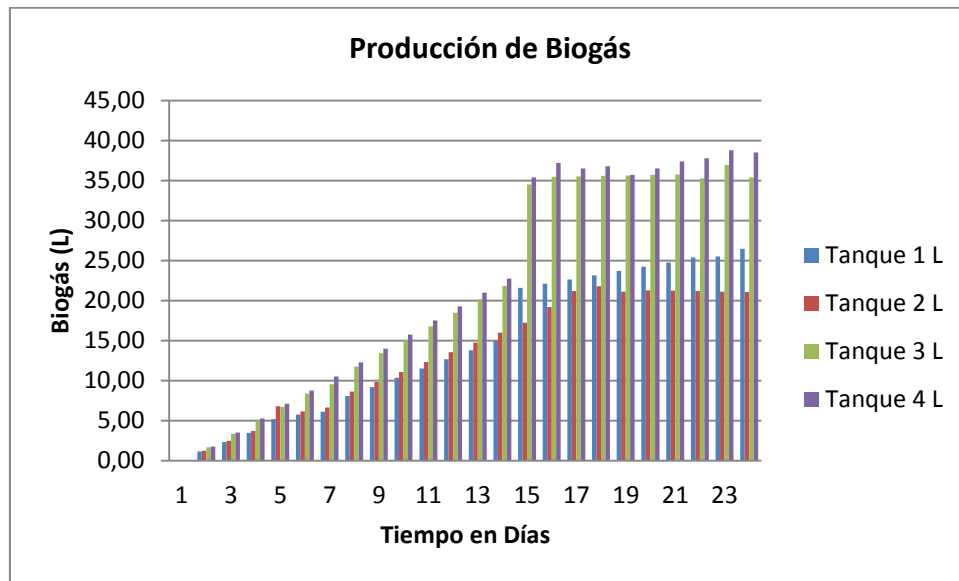
El gráfico 3, representa la producción de biogás por cada sistema de biodigestores durante todo el tiempo de estudio. Y se puede observar que la temperatura es factor determinante en la producción de biogás, ya que a partir del día 15 se presenta un sobre salto de aproximadamente 10 L en dicha producción de manera constante. Esto significa que la reproducción de bacterias metanogénicas alcanza su máximo a partir de este tiempo y por consiguiente aumenta significativamente la producción de biogás.

Para el caso del sistema 4 (biodigestor agitado y calentado) el promedio de biogás producido por kilogramo de estiércol fresco es de 24.8 litros.

La producción de biogás en litros por cada sistema durante el tiempo de estudio es de 343.9 en el tanque 1, 319.4 en el tanque 2, 508.2 en el tanque 3 y 530 para el tanque 4. Resultando un total de biogás producido en todo el estudio de 1701.4 L. Y en base al uso del biogás y a las equivalencias energéticas del biogás realizadas por J. Martí Herrero, este volumen de biogás sufraga un consumo de energía equivalente a 3.7 kW/h. Y en cocción de alimentos un equivalente a 10-13 horas de combustible.

Solamente en biodigestor 1 es capaz de producir 0.76 kW/h de energía o 2.0-2.5 horas de cocción continua. En contraste el biodigestor 4, produce 1.2 kW/h de energía o de 3-4 horas de cocción de alimentos continuo.

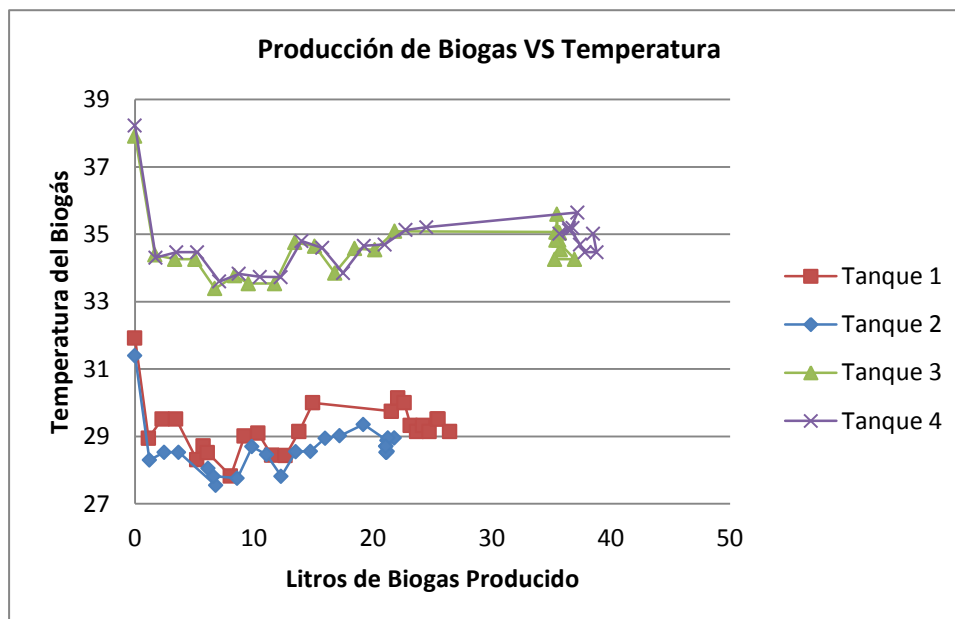
Gráfico 3. Producción de biogás durante el tiempo de estudio.



En el gráfico 4 se puede observar que de manera general las temperaturas medidas tanto en el biodigestor testigo (tanque 1) como en el biodigestor con sistema de agitación (tanque 2) alcanzan un máximo de 30°C durante el estudio. En cambio el biodigestor con aplicación de temperatura (tanque 3) y el biodigestor con sistema de temperatura y agitación logran temperaturas de hasta 35°C. Lo cual significa que la variable agitación no influye en el proceso de fermentación, y que la reproducción de bacterias metanogénicas depende únicamente de la temperatura.

También se puede ver en este gráfico, que los tanques 1 y 2 así como los 3 y 4 se encuentran separados por una rampa de temperatura de aproximadamente 3,5°C entre el punto más alto de los sistemas 1 y 2, y el punto más bajo de los sistemas 3 y 4, lo cual se debe a la cantidad de calor suministrado por el colector solar de placa plana.

Gráfico 4. Producción de biogás en función de la temperatura durante en tiempo de estudio.



En proceso de fermentación en los biodigestores normalmente debe estar en torno a 7.0 unidades de pH. Sin embargo la digestión para la obtención de biogás consta de tres etapas: hidrólisis, acidogenesis y metanogénesis.

En el gráfico 5, se valora el pH de las mezclas en función de los sistemas de digestión. Donde se puede observar que en los días 12 al 16 hay un decaimiento del pH en todos los sistemas. Esto puede ser debido a uno de los siguientes factores:

- 1) Recarga en esos días, la cual pudo haber sido más ácida que las anteriores.
- 2) Aumento de la temperatura tanto dentro del sistema como del medioambiente, provocando un aumento en la concentración de los ácidos volátiles que se traduce en una disminución del pH.

No obstante se puede observar que el pH en los sistemas se autorregula después de esos días, esto es debido al actuar de las bacterias metanogénicas que al degradar las proteínas produce amoníaco en la cual provoca un aumento del pH y de esta manera se regula nuevamente.

Grafico 5. Sistemas de Digestión en función del pH

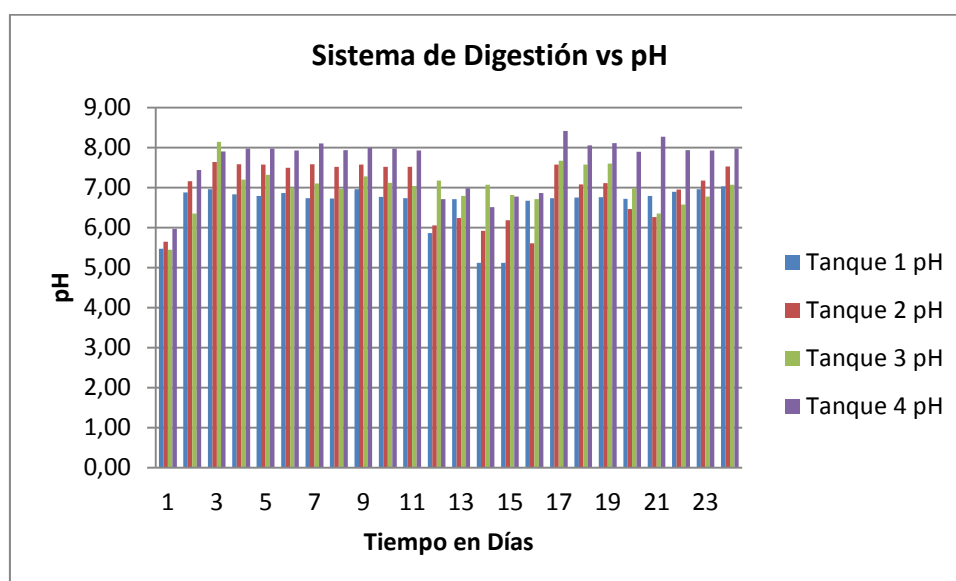


Tabla 7. Valor Promedio de pH Diario de las Mezclas

pH Diario de las Mezclas			
Tanque 1	Tanque 2	Tanque 3	Tanque 4
pH	pH	pH	pH
5.47	5.65	5.45	5.97
6.88	7.16	6.35	7.44
6.96	7.64	8.14	7.90
6.83	7.58	7.20	7.98
6.79	7.57	7.32	7.98
6.86	7.50	7.00	7.93
6.73	7.58	7.10	8.10
6.73	7.52	6.97	7.94
6.96	7.57	7.28	7.99
6.77	7.52	7.12	7.97
6.73	7.52	7.04	7.93
5.86	6.06	7.18	6.71
6.71	6.24	6.79	6.98
5.12	5.92	7.07	6.51
5.12	6.18	6.81	6.78
6.67	5.61	6.71	6.86
6.74	7.57	7.67	8.42
6.75	7.08	7.57	8.05
6.76	7.11	7.60	8.11
6.72	6.46	6.98	7.89
6.79	6.26	6.35	8.27
6.89	6.95	6.57	7.94
6.96	7.18	6.78	7.93
7.03	7.53	7.07	7.98

VII. CONCLUSIONES

En base a los estudios realizados en los sistemas biodigestores construidos artesanalmente que combinan tecnología solar y de biomasa se pudo comprobar que:

- El sistema más eficiente de los cuatro estudiados, es el sistema que combina agitación mecánica y calentamiento mediante colector solar de placa plana, siendo este 5% más eficiente que el sistema 3, 40% más eficiente que el sistema 2 y 35% más eficiente que el sistema 1.
- Que las temperaturas de operación de los biodigestores deben de estar alrededor de los 30-35°C porque a esta hubo una mayor reproducción de bacterias.
- El pH debe estar próximo a la neutralidad para un mejor desempeño de las bacterias.
- La agitación no es un parámetro determinante en la producción de biogás.
- El sistema de biodigestión que mayor volumen de biogás produjo, es el sistema combinado de agitación mecánica y calentamiento mediante colector solar de placa plana.

VIII. RECOMENDACIONES

- 1) Realizar este estudio con otro tipo de estiércol y con aplicación de temperatura solamente.
- 2) Trabajar a temperaturas más altas para ver si con un aumento de la población de bacterias termofílica aumenta la producción de biogás.
- 3) Realizar una evaluación fisicoquímica de los desechos del biodigestor para su potencial aplicación como fertilizante orgánico.
- 4) Mejorar el sistema de captación de biogás para evitar pérdidas por manipulación.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Flesch, TK; Desjardins, RL; Worth, D. 2011. Fugitive methane emissions from an agricultural biodigester. *Biomass and Bioenergy* 35 (9): 3927-3935.
2. Steyer, JP. ; Bernard, O.; Batstone, DJ.;Angelidaki, I. 2006. Lessons learnt from 15 years of ICQ in anaerobic digesters. *WaterScience and Tecnology*, 53 (4-5), 25-33.
3. Filomeno S, Fernández M, Van Nes W; Estudio de Factibilidad para un Programa de Biogás en Nicaragua, Managua Abril 2010.
4. Marti, J, Biodigestores Familiares: Guia de diseño y manual de instalación. 7. 2008.
5. J. A. Hilbert; “Manual para la Producción de Biogás”; Instituto de Ingeniería Rural; INTA-Castelar.
6. Jiménez D, “Evaluación de los Parámetros de un Biodigestor Anaerobio Tipo Continuo”, Xalapa, Veracruz, Mexico, 2012. Ly, J; Reyes, Z; Boletintecnico de Biodigestores.2007
7. Kiely G., Ingeniería Ambiental Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Vol. 3; 1999 Ed.McGraw-Hill.
8. S. Gómez Muñoz, A. Aznar Jimenez; “Diseño, Construcción y Puesta a Punto de un Biodigestor Tubular”; Universidad de Carlos III Madrid, 2012.
9. http://pendientedemigracion.ucm.es/info/fisatom/docencia/Masterfisica/Termica/T5b/Fundamentos_y_ecuaciones_de_balance_en_CPP.pdf (03-09-2013).
10. P. Roman; “Taller Biodigestores y Biogás; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Paraguay; 2012.
11. Nursen, O. E., & Coautores. (2004) Ammonia and pH Inhibition in Anaerobic Treatment of Wastewaters, Part: II Model development *Environmental Science and Health*,39(9), 2421-2435.
12. Wang, A. – J. & Coautores. (2011). *Advances in Biogas Technology*. (T Scheper, & Coeditores. Edits). *Advances in Biochemical Engineering Biotechnology*, 1-23.

X. ANEXOS

10.1 Glosario

Tanq: Tanque o recipiente que compone el biodigestor

TM: Temperatura de la mezcla.

TGB: Temperatura del Bio Gas

VBG: Volumen del Biogas.

T. Amb.: Temperatura del ambiente.

CPP: Colector solar de placa plana

10.2 Presupuesto del Estudio

Item	Descripción	U de M	Cant	P. Unit	Total	Observación
1	Recipientes 20 Lts	Undi	10	\$4.88	\$48.78	(Acarreo, biodigestor y desechos)
2	Tubo PVC 1 SDR 26	Unid	3	\$3.46	\$10.37	Conduccion de la mezcla
3	Accesorios PVC	Lote	1	\$73.17	\$73.17	Conduccion de la mezcla
4	Conduccion en metal 1/2"	Lote	1	\$7.32	\$7.32	Espiral de calentamiento de agua
5	Taladros 1/2 HP	Unid	2	\$60.00	\$120.00	Puestos como agitador vertical
6	Tarima de Biodigestor 0,5x 1,6 mts	Unid	1	\$65.04	\$65.04	Soporte
7	Valvulas de Bola 1" Plasticas	Unid	8	\$3.25	\$26.02	Control de flujos in - out
8	Coduccion en PE 16mm	Mts	35	\$0.28	\$9.80	Captacion de Biogas
9	Accesorios PE16mm	Lote	1	\$38.62	\$38.62	Captacion de Biogas
10	Recipientes Trasparentes 5Lts	Unid	4	\$2.50	\$10.00	(Captacion de Biogas)
11	Ejes agitador	Unid	2	\$40.65	\$81.30	(Balineras y cunas incluidas)
12	Acarreo de estiercol y mezcla	Dias	30	\$4.88	\$146.34	Transportes y actividades diarias
13	Dataloger (Temperatura)	Unid	1	\$100.00	\$100.00	Alquiler
14	Sensores de pH	Unid	4	\$50.00	\$200.00	Alquiler
15	Bascula 0-20 Lbr	Unid	1	\$24.39	\$24.39	Pesaje del estiercol para mesclar
16	Dosificador de agua	Unid	2	\$0.61	\$1.22	
17	Computadora portatil	Unid	1	\$120.00	\$120.00	Toma de datos y otros
18	Papeleria	Lote	1	\$45.00	\$45.00	Toma de datos y otros
Gran total					\$1,127.36	

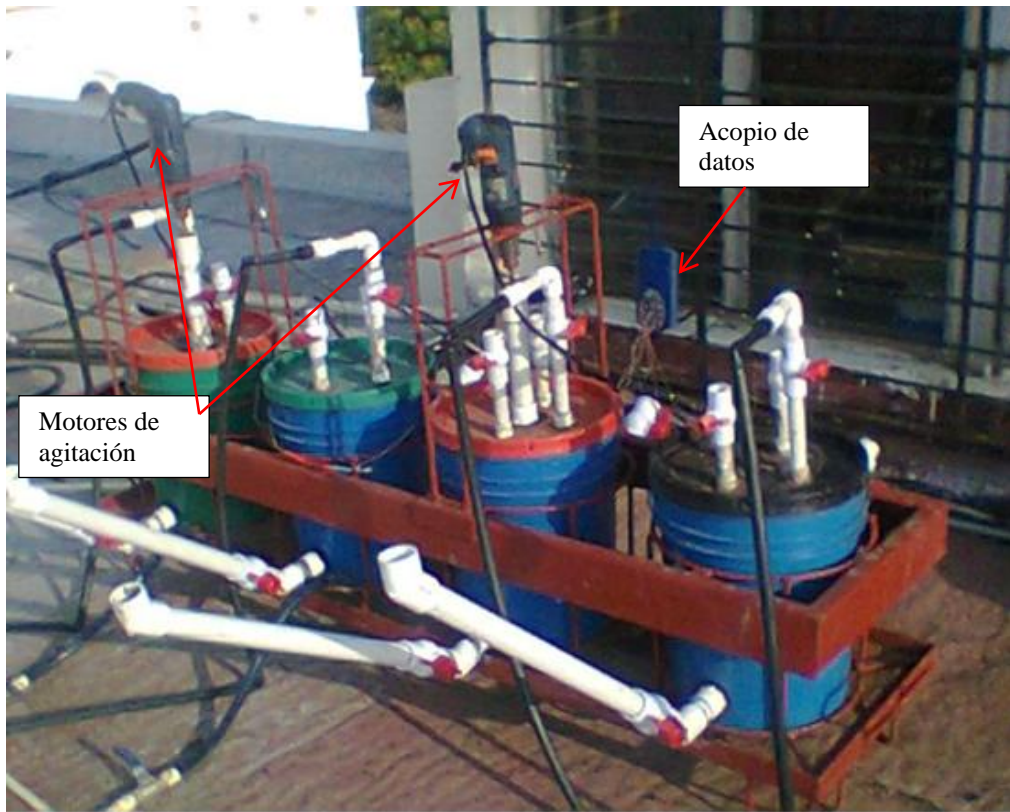
10.3 Discusión acerca del diseño de los biodigestores en laboratorio y puesta en marcha la construcción



10.4 Ajustes de la construcción de biodigestores con calibración de los niveles de recarga



10.5 Sistema de biodigestores terminados



10.6 Elaboración de las mezclas por medio del peso del estiércol



10.7 Homogenización de las mezclas y recargas del biodigestor



10.8 Sistema de captación de biogás y detalle de los accesorios



10.9 Labores diarias de recargas y toma de datos de pH



10.10 Detalle de las herramientas utilizadas para medir las temperaturas

