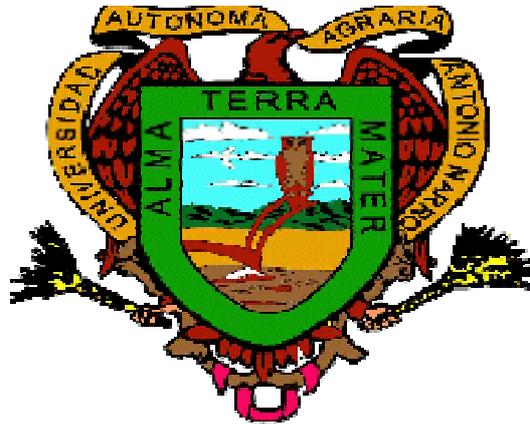


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**PRODUCCION DE BIOGAS A BASE DE DESECHOS  
AGROPECUARIOS (ESTIERCOL DE CABRA Y PASTO)**

**POR**

**KAREN DENISSE ORDOÑEZ MORALES**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL**

**PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO EN AGROECOLOGÍA**

**TORREON, COAHUILA, MÉXICO**

**MARZO DEL 2010**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**PRODUCCIÓN DE BIOGAS A BASE DE DESECHOS AGROPECUARIOS.**

**POR**

**KAREN DENISSE ORDOÑEZ MORALES**

**TESIS**

**Que somete a la consideración del comité asesor, como requisito parcial para  
obtener el título de:**

**INGENIERO EN AGROECOLOGÍA.**

**COMITÉ PARTICULAR**

**Asesor**



**Principal:**

**DR: JESUS VASQUEZ ARROYO**

**Asesor:**



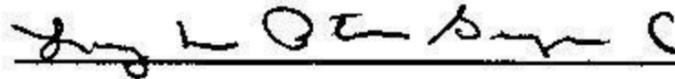
**M.C.: GERARDO ZAPATA SIFUENTES**

**Asesor:**



**MSc.: EMILIO DUARTE AYALA**

**Asesor:**



**M.C.: LUZ MARIA PATRICIA GUZMAN CEDILLO**

**COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**M.C. VICTOR MARTINEZ CUETO**



**Coordinación de la División  
de Carreras Agronómicas**

**TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO**

**MARZO DEL 2010**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

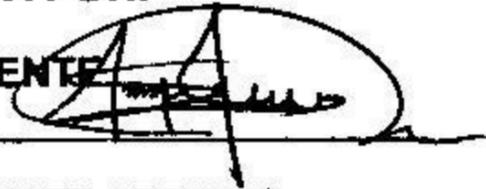
**PRODUCCIÓN DE BIOGAS A BASE DE DESECHOS AGROPECUARIOS**

**TESIS DEL C. KAREN DENISSE ORDOÑEZ MORALES QUE SE SOMETE A LA  
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO EN AGROECOLOGÍA.**

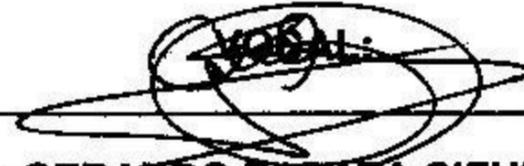
**APROBADA POR:**

**PRESIDENTE**



**DR. JESUS VASQUEZ ARROYO**

**VOCAL:**



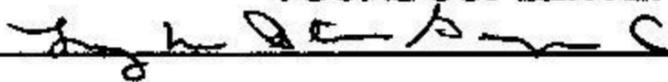
**MC. GERARDO ZAPATA SIFUENTES**

**VOCAL:**



**MSc. EMILIO DUARTE AYALA**

**VOCAL SUPLENTE:**



**M.C. L.M. PATRICIA GUZMAN CEDILLO**

**COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**M.C. VICTOR MARTINEZ CUETO**



**Coordinación de la División  
de Carreras Agronómicas**

**TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO**

**MARZO DEL 2010**

## **AGRADECIMIENTOS**

Le quiero agradecer más que nada a DIOS por darme la fuerza necesaria para poder seguir luchando y darme la dicha de estar viva, con salud y por que pude terminar esta meta que me propuse.

También a mi familia, que la conforman mis **padres y hermanas** que en todo momento me estuvieron apoyando, ayudando y dándome ánimos en todo momento, gracias padres por darme esa oportunidad de tener y terminar mi carrera a pesar de todo, y a mi **HIJO** por quien día a día lucho.

Al **Dr. Jesús Vásquez Arroyo** por ayudarme y aceptar que fuera su tesista y darme animo y apoyarme en el transcurso de la investigación.

A los maestros de la carrera y de las otras carreras por brindarme parte de su conocimiento para la formación en esta carrera, a la M.C. Genoveva Hernández Zamudio por ayudarme y brindarme su apoyo cuando más lo necesite y por sus enseñanzas y asesoría a la M.C. Luz María Patricia Guzmán Cedillo, MSc. Emilio Duarte Ayal y al M.C. Gerardo Zapata Sifuentes; por su ayuda y amistad gracias.

A mis **compañeros de grupo de la carrera de Agroecológica**, en especial a **Rocío** que la considero como a una hermana que siempre estuvo en todo momento conmigo y por su apoyo y ayuda de todo tipo, a **Homero** que es un buen amigo y que le agradezco de corazón todo el apoyo que me ha dado, **Itzel** que igualmente me ha brindado su apoyo, y a todos los demás, por brindarme su amistad y compartir todo este tiempo juntos y la convivencia que tuvimos se los agradezco mucho.

A mis amigas de tochito que me brindaron su amistad y apoyaron en momentos difíciles y por convivir este tiempo juntas, a Chema, Barry, Citlali, Eda, Tenchi, Tania, Cheli, Brenda y por los momentos tan bonitos que pasamos “EL TOCHO ES LA VIDA”.

A los compañeros y amigos de las demás carreras por brindarme su amistad y apoyo.

A ti Pineda que me ayudaste y apoyaste en el realizar el trabajo de campo que gracias a tu ayuda pude realizarlo. Y ahora me estas apoyando en estos momentos tan difíciles que estoy pasando y gracias por no dejarme sola y ayudarme y por todo tu amor.

## **DEDICATORIA**

**A MIS PADRES:**

**Sr. Julio Antonio Ordóñez Ruiz.**

**Sra. Antonia Morales Molina.**

**A LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO” UNIDAD  
LAGUNA.**

**Por permitirme formarme profesionalmente en sus aulas**

**AL DEPARTAMENTO DE AGROECOLOGIA**

**PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERO EN AGROECOLOGIA**

**Por ser el espacio oficial para la formación de las nuevas generaciones  
que enfrentaremos el espacio agropecuario.**

**A MI HIJO:**

**Romer Joaquín Álvarez Ordoñez.**

**A MIS HERMANAS**

**Liliana**

**Julieta**

**Kenia**

**A MI PAREJA**

**David Pineda**

## RESUMEN

La digestión anaerobia es un proceso importante para la descomposición de los desechos agropecuarios y, para que esta digestión se realice correctamente, se debe tener condiciones ambientales favorables principalmente temperaturas altas. De este proceso se tienen ventajas como la energía renovable, abonos orgánicos y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (metano y dióxido de carbono). En la presente investigación se evaluó una mezcla (3:1) de estiércol caprino con pasto seco para estimar la producción y composición del biogás y bioabono. La unidad experimental consistió en un digestor metálico de aproximadamente 200 litros. La mezcla fue analizada en sus propiedades fisicoquímicas, al final el bioabono sólido se evaluó el contenido de nitrógeno (1.61) y proteína (10.03%). Los resultados preliminares no fueron satisfactorios ya que la producción de biogás no fue determinada debido a posibles problemas con el biodigestor y las condiciones fluctuantes de temperaturas presentes durante el desarrollo experimental, sin embargo se presentan los datos de producción preliminar que nos llevaron a continuar investigando.

**Palabras claves:** digestión anaerobia, desechos agropecuarios, metano, biodigestor.

## ABSTRACT

Anaerobic digestion is an important process for the decomposition of agricultural waste and, for this digestion is carried out correctly, it should be good weather this I mean in temperature. This process has advantages such as renewable energy, compost and reduction of greenhouse effects gases (methane and carbon dioxide). In the present study evaluated a mixture (3:1) of goat manure with dry grass and to estimate the production of biogas and compost. The experimental unit consisted of a metal digester of about 200 liters. The initial mixture was analyzed in their physicochemical properties and finally evaluated only the end nitrogen content (1.61) and protein (10.03%). Preliminary results were not satisfactory, probably by digester problems and fluctuation in temperatures, however, preliminary data is present, as base of these investigations .

**Keywords:** anaerobic digestion, agricultural waste, methane digester.

## INDICE GENERAL

<b>PRESENTACION</b>	<b>I</b>
<b>APROBACION</b>	<b>II</b>
<b>JURADO</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>VI</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>VII</b>
<b>ABSTRAC</b>	<b>VIII</b>
<b>I. INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
Objetivos	5
Hipótesis	5
<b>II. REVISION DE LITERATURA</b>	
2.1. Producción de estiércol en México	6
2.2. Producción de residuos.	6
2.3. Descomposición de la materia orgánica	7
2.3.1. Fermentación anaerobia	8
2.3.1.1 Desventajas de la fermentación anaerobia	8
2.3.2. Fermentación aerobia	9
2.4. Que es el biogás	10
2.4.1. Componentes del biogás	11
2.4.2. Características del biogás	11
2.4.3. Las tres etapas para la producción de biogás	12
2.4.4. La tecnología del biogás	13
2.4.5. Efluentes que se obtienen del proceso de biogás	14
2.5. Metano	14

2.5.1. Metanogénesis	15
2.6. Organismo que intervienen en el proceso	16
2.7. Biodigestor	17
2.7.1. Tipos de biodigestores	19
2.7.1.1. Biodigestor discontinuo	19
2.7.1.1.1. Ventajas de los biodigestores discontinuos	20
2.7.1.1.2. Desventajas de los biodigestores discontinuos	21
2.7.1.2. Biodigestores continuos	21
2.7.1.2.1. Ventajas de los biodigestores continuos	21
2.7.1.2.2. Inconvenientes	22
2.7.1.3. Calidad de los sólidos volátiles	22
2.8. Estiércol	23
2.9. Factores ambientales	26
2.10. Los beneficios de la tecnología del biogás	27
2.10.1. Los beneficios ecológicos	28
2.11. Biogás como combustible	28
2.12. Usos del biogás	29
2.13. Uso del bioabono	30
2.14. Análisis de la materia prima	31

### **III. MATERIALES Y METODOS**

3.1. Lugar de realización del proyecto	32
3.2. Material biológico	32

3.3. El biodigestor	32
3.4. Variables de estudio	33
3.4.1. Composición química de la materia prima y el producto terminado	33
3.4.2. Materia orgánica	33
3.4.3. Fosforo	34
3.4.4. Conductividad eléctrica y pH	34
3.4.5. Micronutrientes	34
3.4.6. Calcio y Magnesio	35
3.4.7. Potasio	35
3.4.8. Nitrógeno	36
3.4.9. Medición del biogás	37
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSION</b>	
4.1. Composición del sustrato	38
4.2. Producción de biogás	38
4.3. Análisis del bioabono	39
4.4 Resultados Preliminares	40
<b>V. CONCLUSION</b>	41
<b>VI. REFERENCIAS</b>	42

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

La humanidad se está viendo afectada por la emisión de gases con efecto invernadero al ambiente como el metano, el monóxido de carbono y el dióxido de carbono, entre otros. Estos gases causan el efecto del calentamiento global, el cual en parte es atribuido a la actividad agrícola (Coto-Rodríguez and Maldonado-Maldonado, 2005). Ésta, contribuye con una quinta parte de los gases de efecto de invernadero (Ellis *et al.*, 2007). Sin embargo, el metano que es producido por la descomposición de los materiales orgánicos desechados por la agricultura, se puede aprovechar para contrarrestar la crisis energética que se está viviendo (Coto-Rodríguez and Maldonado-Maldonado, 2005).

Desde hace siglos, el ser humano observa el poder bacteriológico de la digestión de desechos orgánicos y recuperar el biogás o biometano con el fin de utilizarlos para cocinar, calentarse y moverse (motor a gas) (Anónimo, 2004). El biogás puede remplazar la gasolina hasta en un 100%, mientras que los motores diesel lo hace en un 80% (Quesada-Ugarte and Salas-Cisneros, 2006).

El estiércol de bovinos ha sido empleado para la producción de metano desde décadas, sin embargo, problemas como fallas en la digestión son rutinarias. Los problemas se han investigado en digestores a pequeña escala (1-2 L) en el laboratorio. Por otra parte, se ha remplado un digestor de 100L, el cual fue operado por 70 días (con 16 días de tiempo de retención hidráulico), con y sin mezclado originado por la recirculación de gas, los resultados son contundentes en cuanto el efecto del mezclado en la operación del digestor (Borole *et al.*, 2006).

Sin lugar a duda, las energías renovables constituirían la mayor parte de la energía del futuro en el planeta y en nuestro país, existen condiciones naturales propicias para el aprovechamiento de algunas fuentes energéticas que pueden dar su contribución no solo a la solución de parte de nuestra

demanda energética sino a la protección del ambiente y una meta agroecológica. El biogás, que es producido a partir de la biofermentación anaerobia de la materia orgánica (MO), se ha convertido en los últimos años en una de las alternativas más atractivas (Martínez, 2006)

En determinados países en desarrollo, se genera una gran cantidad de residuos orgánicos, que si no son gestionados convenientemente pueden suponer un grave problema para la salud de las personas y para la conservación del ambiente. Estos residuos orgánicos, generalmente de origen forestal, agrícola, ganadero o humano, tienen además un contenido energético que se puede aprovechar (Werner *et al*; 1989)

En 1896 en Exeter, Inglaterra, las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad (Anónimo, 2004). Por estudios realizados en Costa Rica, la eficiencia generada ha resultado ser del 7 % con una producción de 19.3 kW/h a una potencia de 14 kW, con lo que se encontró una relación de 2:1 m<sup>3</sup> de biogas por cada kW hora generado (Quesada-Ugarte and Salas-Cisneros, 2006).

Tras las guerras mundiales comienza a difundirse en Europa las llamadas fábricas productoras de biogás cuyo producto se empleaba en tractores y automóviles de la época. En todo el mundo se difunden los denominados tanques Imhoff para el tratamiento de aguas cloacales colectivas. El gas producido se le utilizó para el funcionamiento de las propias plantas, en vehículos municipales y en algunas ciudades se lo llegó a inyectar en la red de gas comunal. (Anónimo, 2004).

La producción de biogás a partir de tratamientos residuales biodegradables es principalmente medioambiental, considerándose por tanto como un subproducto del proceso de tratamiento biológico de la materia

orgánica (MO) en el cual el proceso de digestión o fermentación anaerobia no destruye si no que transforma a la MO (Anónimo, 2004).

El uso de biodigestores es una alternativa para aprovechar las excretas animales y humanas y lograr una disminución en la contaminación que estas causan, y al mismo tiempo producir biogás, para aumentar la rentabilidad al sistema. Para que la rentabilidad sea sostenible, se debe mejorar la cantidad y calidad de biogás que se produce con las excretas (Aldana-Catalán, 2008)

El posible aprovechamiento energético del biogás tiene cuatro tipos de residuos biodegradables: ganadero, de lodos de estaciones depuradoras de agua residuales, de los efluentes industriales, de la fracción orgánica de los sólidos urbanos (Anónimo, 2004).

El biogás es la alternativa renovable al gas natural, contemplándose su mezcla en la red de gas natural así como su uso en pilas de combustible. Además, la codigestión o fermentación conjunta de materiales orgánicos de distinta naturaleza, permite distintas mezclas con residuos ganaderos, agrícolas, cárnicos y alimentarios, etc., siendo ésta una posibilidad técnica viable de gran interés para las Administraciones públicas y la sociedad en general (Núñez, 2008).

El biogás producido a través de desechos orgánicos tiene una aplicación energética creciente en vertederos controlados, siendo necesario potenciar la digestión anaerobia en biorreactores que incluyan la codigestion en lodos de depuradoras (Anónimo, 2004).

En la actualidad, los cientos de proyectos realizados a través del mundo, que abarcan de simples granjas lecheras a plantas de tratamiento de aguas servidas de las grandes ciudades, demuestran que la recolección de los biogases con fines energéticos es económicamente sostenible y tiene al mismo tiempo un impacto favorable sobre el medio ambiente (Anónimo, 2004).

La aplicación del biogás en el área rural ha sido muy importante dentro de ella se pueden diferenciar dos campos claramente distintos. En el primero, el objetivo buscado es dar energía, sanidad y fertilizantes orgánicos a los agricultores de zonas marginales o al productor medio de los países con sectores rurales de muy bajos ingresos y difícil acceso a las fuentes convencionales de energía (Anónimo, 2004).

El segundo tipo de tecnología está dirigido al sector agrícola y agroindustrial de ingresos medios y altos. El objetivo buscado en este caso es brindar energía y solucionar graves problemas de contaminación. Los digestores de alta eficiencia desarrollados para esta aplicación tienen un mayor costo inicial y poseen sistemas que hacen más complejo su manejo y mantenimiento (Anónimo, 2004).

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar la cantidad y calidad de biogás a partir de desechos agropecuarios.

### **1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO**

Cuantificar la producción y composición del biogás generado a partir de fermentación anaerobia de estiércol caprino y pasto.

### **1.3 HIPOTESIS**

H1: Existe variación estadística significativa en la producción de biogás con el uso de mezclas de desechos agropecuarios en el proceso de digestión anaerobia.

H0: La variación en la producción de biogás con el uso de mezclas de desechos agropecuarios en el proceso de digestión anaerobia no significativa estadísticamente.

## **CAPÍTULO II**

### **II. REVISION DE LITERATURA**

#### **2.1. Producción de estiércol en México.**

La cantidad de estiércol producido en México puede estimarse, en 28 millones de cabeza de ganado, que producen 56 millones de kg de estiércol diario, en peso seco (2Kg/día animal), lo que representa una producción anual de 20.44 millones de toneladas al año, siendo esta cifra la que coloca al estiércol entre los subproductos orgánicos de mayor volumen. Para el caso de la Comarca Lagunera, corresponderían a 750,000 kg, representando el 3.7% del total nacional, considerando únicamente bovinos y caprinos, estos últimos con una producción diaria de 0.250 Kg de estiércol en peso seco (Pérez y Viniegra, 2009).

#### **2.2. Producción de Residuos**

Los materiales que se pueden usar para la generación de metano son muy variados, bajo una fermentación anaerobia (Carrillo, 2003):

- Residuos de cosechas: maloja de caña de azúcar, malezas, paja, rastrojo de maíz y otros cultivos.
- Residuos de origen animal: desechos de establos (estiércol, orina, paja de camas), camas de gallinas ponedoras, boñigas de cabras y ovejas, desperdicios de matadero (sangre, vísceras), desperdicios de pesca, restos de lana y cuero.
- Residuos de origen humano: basura, heces, orina.
- Residuos agroindustriales: tortas de oleaginosas, bagazo, salvado de arroz, desechos de tabaco y semillas, desperdicios del procesamiento de hortalizas y frutas, limos de prensas de ingenios azucareros, residuos de té, polvo de las desmotadoras e industria textil; mantillo forestal: ramitas, hojas, cortezas; plantas acuáticas: camalote, algas marinas.

### **2.3 Descomposición de la materia orgánica.**

La descomposición de materia orgánica constituye un proceso clave y limitante en los ciclos de macronutrientes por lo que desde muy antiguo se ha intentado comprender los mecanismos que lo controlan. La descomposición constituye un proceso ecosistémico de importancia comparable a la producción primaria. De hecho, un ecosistema necesita básicamente sólo productores y descomponedores para existir indefinidamente. Así, la descomposición completa los ciclos biogeoquímicos iniciados por los procesos fotosintéticos o quimiosintéticos. Por otro lado, la visión más o menos clásica del proceso de descomposición como etapa final en las cadenas tróficas liberando nutrientes inorgánicos se ha visto modificada en los últimos años a raíz de los descubrimientos sobre el papel que los microorganismos heterotróficos (hongos y bacterias) desempeñan en el reciclado de la materia orgánica e inorgánica. Los estudios en Ecología Microbiana en las últimas décadas han llevado a la idea del llamado loop microbiano que presupone que una gran cantidad de la producción primaria no es consumida directamente por herbívoros sino que es aprovechada por los microorganismos heterotróficos convirtiéndose en biomasa microbiana (Álvarez, 2005).

Los microorganismos actúan de vínculo de unión entre los procesos de producción primaria y secundaria, propician la reintroducción de compuestos inorgánicos en el sistema y producen biomasa microbiana susceptible de servir como alimento a organismos detritívoros. Con esta nueva concepción, el proceso de descomposición deja de tener un carácter terminal para adquirir uno central en el control del sistema regulando la dinámica de nutrientes del sistema, y actuando de vía de redistribución de la energía. Todo esto hace que tenga también importantes efectos en la estabilidad del ecosistema. La descomposición de la materia orgánica puede ser analizada desde distintos niveles de resolución. Así, es un proceso ecosistémico, resultado de la actividad

de la comunidad saprofítica, pero también un proceso biogeoquímico complejo que integra actividades enzimáticas y reacciones abióticas (Álvarez, 2005).

### **2.3.1 Fermentación anaerobia**

El proceso se caracteriza por la conversión de la materia orgánica a metano y de CO<sub>2</sub>, en ausencia de oxígeno y con la interacción de diferentes poblaciones bacterianas (Rodríguez y Sanitaria, 2009).

Es un proceso natural que ocurre en forma espontánea en la naturaleza y forma parte del ciclo biológico. De esta forma podemos encontrar el denominado "gas de los pantanos" que brota en aguas estancadas, en zonas anegadas para el cultivo de arroz, en los sedimentos de lagos y mares, en las zonas anóxicas del suelo, en fuentes de aguas termales sulfurosas y en el tracto digestivo de los rumiantes el gas natural metano de los yacimientos petrolíferos así como el gas producido en el tracto digestivo de los rumiantes como los bovinos. En todos estos procesos intervienen las denominadas bacterias metanogénicas (Díaz-Báez, *et al.*, 2002).

#### **2.3.1.1 Desventajas de la fermentación anaerobia.**

Los sistemas de digestión anaerobia son un método atractivo para la producción de energía renovable, reducir olores, hacer uso eficiente en el reciclado de los desechos orgánicos, mejorar el uso del estiércol como fertilizante y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Umetsu *et al.*, 2005). Además, constituyen una tecnología sustentable para la producción de energía (Wilkie, 2005), lo cual podría traducirse en la creación de una nueva economía local y de empleos (Ritchie and Watts, 2005).

Se ha demostrado que la digestión anaerobia es un proceso confiable cuando se lleva a cabo en condiciones termofílicas porque aumenta la hidrólisis, incrementa la descomposición de sólidos orgánicos y ofrece un control eficiente

de patógenos y parásitos (Tinajero and Noyola, 2006); las desventajas que limitan a éste son la dificultad para su control, poca calidad del efluente y baja estabilidad del proceso que produce una concentración alta de propionato (Angelidaki *et al.*, 2006).

La reducida eliminación de sólidos volátiles y la acumulación de ácidos grasos volátiles, principalmente ácido propiónico, disminuyen la capacidad de amortiguamiento de los sistemas anaeróbicos, con riesgo de reducir el pH y lograr una baja conversión de residuos orgánicos a metano, resultando en un proceso de digestión anaerobia inestable e ineficiente (Tinajero and Noyola, 2006).

La aplicación de la digestión anaerobia como una tecnología para el tratamiento de desechos orgánicos produce importantes beneficios más allá de la simple eliminación de éstos, con lo cual se mejora la calidad ambiental (Wilkie, 2005). La mayor desventaja de este proceso es la reducida tasa de crecimiento inicial de los microorganismos anaerobios (Olcay and Kocasoy, 2004).

Un proceso anaerobio bajo condiciones controladas ofrece una solución holística para el tratamiento de los desechos orgánicos porque además de estabilizar los sustratos, produce una cantidad significativa de energía en forma de biogás, reduce los olores, conserva los nutrientes, inactiva o controla patógenos y minimiza el impacto al ambiente causado por la emisión de gases a la atmósfera (Carballa *et al.*, 2006; Wilkie, 2003; Wilkie, 2005).

### **2.3.2 Fermentación aerobia**

Los procesos aeróbicos son aquellos que utilizan al oxígeno como aceptor final de electrones para la producción de energía. Existen procesos aeróbicos estrictos, que son aquellos que solamente pueden funcionar si hay

oxígeno, y los procesos aeróbicos facultativos, que son los que pueden alternar con estados anaeróbicos, de acuerdo a la concentración de O<sub>2</sub> disponible (Rodríguez y Sanitaria, 2009).

De manera general, los procesos aeróbicos tienen la siguiente reacción (Rodríguez y Sanitaria, 2009):



## 2.4 Que es el biogás

Se le llama biogás al gas se produce mediante descomposición de la materia orgánica o mejor dicho mediante digestión, este proceso es el mismo que se produce en el estomago de los mamíferos. También a la mezcla constituida por metano CH<sub>4</sub> en una proporción que oscila entre un 50% a un 70% y dióxido de carbono conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno. De este se deriva varios compuestos o se puede utilizar como eléctrigaz, biohidrogeno y pila de combustible. Este se puede obtener mediante fermentación anaerobia y aerobia. Es un combustible económico y renovable; en algunas regiones se utiliza principalmente para cocinar los alimentos y en algunos países se utiliza en vehículos de motor, para mezclar con el gas del alumbrado y para usos industriales (Chávez, 2000).

El biogás originado de bacterias en el proceso de biodegradación de material orgánico bajo condiciones anaerobias. La generación natural de biogás es una parte importante del ciclo de carbono biogeoquímico. La metanogenesis (metano producido por bacteria) es el último eslabón de los microorganismos que degradan el material orgánico y devuelven los productos de descomposición al ambiente. En este proceso de biogás es generado, una fuente de energía renovable (GTZ-GATE, 1999).

El biogás es un gas combustible pero no explosivo. Es menos denso que el aire y por lo tanto tiende a subir. Es importante que la instalación esté en el exterior o si no en un sitio con ventanas o puertas siempre abiertas. También es importante no fumar ni jugar con fuego a su lado (Bartomeu, 2005).

#### **2.4.1 Componentes del biogás.**

En general, la composición química del biogás es como sigue (Collazo, 2009):

Metano	40-70% de volumen
Dióxido de carbono, CO <sub>2</sub>	30-60%
Sulfuro de hidrogeno, H <sub>2</sub> S	0-3%
Hidrogeno, H <sub>2</sub>	0-1%

El valor energético por lo tanto del biogás dependerá por la concentración de metano-alrededor de 20-25 MJ/m<sup>3</sup>, comparado con 33 a 38 MJ/m<sup>3</sup> para el gas natural y si se desea el valor energético del biogás se debe limpiar con CO<sub>2</sub>, si éste se mezcla con aire, puede ser quemado en un amplio espectro de artefactos descomponiéndose principalmente en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O (Collazo, 2009).

#### **2.4.2 Características del biogás.**

Las características propias de biogás son la presión y temperatura-dependiente. También son afectados por el contenido de humedad. Los factores de interés principal son (GTZ-GATE, 1999):

- Cambio de volumen como una función de temperatura y presión
- El cambio del valor calorífico como una función de temperatura, presión
- y el contenido de vapor de agua.
- El cambio del vapor de agua contenida como una función de temperatura y presión.

### **2.4.3 Las tres etapas para la producción de biogás**

La digestión anaerobia, a partir de polímeros naturales y en ausencia de compuestos inorgánicos, se realiza en tres etapas (Soria *et al*; 2001):

#### **2.4.3.1 Hidrólisis**

En la que la materia orgánica es descompuesta por la acción de un grupo de bacterias hidrolíticas anaerobias que hidrolizan las moléculas solubles en agua, como grasas, proteínas y carbohidratos, y las transforman en monómeros y compuestos simples solubles.

#### **2.4.3.2 Acetogénesis**

Donde los alcoholes, ácidos grasos y compuestos aromáticos se degradan produciendo ácido acético, CO<sub>2</sub> e hidrogeno que son los sustratos de las bacterias metanogénicas.

#### **2.4.3.3 Formación de metano**

En la que se produce metano a partir de CO<sub>2</sub> e hidrogeno, a partir de la actividad de bacterias metanogénicas.

#### **2.4.3.4 Las bacterias metanogénicas**

Las bacterias<sup>10</sup> son muy pequeñas, entre 1 y 10 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) de longitud, y son muy variables en cuanto al modo de obtener la energía y el alimento.

Están en casi todos los ambientes: en el aire, el suelo y el agua. Algunas se encuentran en muchos alimentos y otras viven en simbiosis<sup>11</sup> con plantas, animales y otros seres vivos.

#### **2.4. 4 La tecnología del biogás.**

La tecnología del biogás se considera una importante herramienta para el uso máximo de los recursos naturales: Después de extraer la energía necesaria de estiércol y otros materiales de desechos orgánicos, el lodo resultante es un buen fertilizante, que le brinda a la tierra calidad general para obtener los rendimientos de la cosecha más altos (GTZ-GATE, 1999).

Según Werner y colaboradores 1989, previamente a la implantación de la tecnología de producción de biogás deben tenerse en cuenta algunas consideraciones básicas:

- Considerar otras alternativas posibles diferentes de la digestión anaerobia.
- Calcular minuciosamente tanto el sustrato disponible diariamente como la demanda energética. Si la planta de biogás no cubre una parte importante de la demanda energética, no cubrirá las expectativas y no será adecuada.
- Diseñar y construir el sistema de forma apropiada para minimizar el mantenimiento y facilitar las reparaciones.
- Estudiar las alternativas de emplazamiento detalladamente, construyendo únicamente en emplazamientos adecuados.

#### **2.4.5 Efluentes que se obtienen del proceso del biogás**

Del proceso para la obtención del biogás se obtienen diferentes efluentes los cuales se mencionan a continuación (Moncayo, 2003):

Efluente líquido: Presenta ventajas como la alta disponibilidad de nutrientes y la buena absorción por parte de las plantas, puede aplicarse inmediatamente sale del biodigestor, o almacenarse en tanques tapados por un periodo no mayor a cuatro semanas, para evitar grandes pérdidas de nitrógeno.

Efluente compostado: Otra manera de manejar el efluente es agregándole material verde (desechos de forraje de establo) y comportándolo, este método produce pérdidas de nitrógeno del 30% al 70%, pero tiene la ventaja de que el producto final es compacto, en forma de tierra negra, lo que facilita el transporte y aplicación.

Efluente seco: El resultado del secado es una pérdida casi total del nitrógeno orgánico (cerca del 90%), lo que equivale al 5 % del nitrógeno total. Las producciones observadas en cultivos al utilizar el efluente seco son las mismas que al usar estiércol seco o estiércol almacenado, este procedimiento se recomienda cuando se vayan a fertilizar grandes áreas, o la distancia a cultivos sea larga y difícil.

#### **2.5 Metano.**

El metano es un gas químicamente activo producido por procesos anaerobios (Verburg and Denier Van Der Gon, 2001), es moderadamente radioactivo con una capacidad para cambiar su concentración en la atmósfera en un rango de tiempo de aproximadamente siete años (Lelieveld *et al.*, 1998).

Las concentraciones de metano en la atmósfera son inferiores a las de CO<sub>2</sub>, sin embargo, el primero se está incrementando rápidamente y además

posee un efecto 21-30 veces más contaminante con respecto al CO<sub>2</sub>, y por lo tanto, más potente que éste en aumentar el calentamiento global (Carmona *et al.*, 2005). Por su parte, el incremento en la concentración de CO<sub>2</sub> es 200 veces mayor que el aumento del metano en la atmósfera (Lelieveld *et al.*, 1998).

Emisiones por el manejo del estiércol. El manejo del estiércol del ganado produce emisiones de metano y de óxido nitroso. El metano se produce mediante la descomposición anaeróbica del estiércol, mientras que el óxido nitroso se forma como parte del ciclo del nitrógeno, a través de la denitrificación del nitrógeno orgánico presente en el estiércol y en la orina del ganado (Berra y Finster, 2005).

Cuando el estiércol se dispone en sistemas que promueven las condiciones anaeróbicas (por ejemplo, en forma líquida en lagunas, tanques o fosas), la descomposición de la materia tiende a producir metano. Cuando el estiércol se maneja en forma sólida (por ejemplo, almacenamiento en pilas) o queda depositado sobre las pasturas y los campos naturales, tiende a descomponerse aeróbicamente y produce muy poco o nada de metano; la temperatura y la humedad influyen en el desarrollo de las bacterias responsables de su formación (Berra y Finster, 2005).

La composición del estiércol, que depende de la dieta de los animales, también afecta la cantidad de metano producido, cuanto mayor es el contenido energético y la digestibilidad del alimento, mayor es el potencial de emisión de metano (Berra y Finster, 2005).

### **2.5.1 Metanogénesis.**

Es la producción de metano a partir de la reducción de carbonos simples y CO<sub>2</sub>, utilizando H<sub>2</sub> para la fermentación. Es un proceso anaerobio,

naturalmente es producido en estómagos de rumiantes, en pantanos y rellenos sanitarios (Carrillo, 2003).

Las condiciones anóxicas en hábitat microbianos son predominantemente causadas por el rápido consumo de oxígeno por microorganismos aeróbicos y anaeróbicos facultativos en la superficie del hábitat (Carrillo, 2003).

Se produce metanogénesis en (Carrillo, 2003):

- medios psicrófilos
- medios mesófilos
- medios termófilos
- aguas frescas
- aguas de mar.
- ecosistemas hipersalinos.

## **2.6 Organismos que intervienen en este proceso**

Los organismos clave en la conversión de compuestos orgánicos complejos a metano son los fermentadores secundarios, especialmente las bacterias oxidantes de ácidos grasos o alcoholes que producen  $H_2$ , pues utilizan estos compuestos como fuente de energía en cultivos mixtos con un consumidor de  $H_2$  a través de una relación sintrófica (sintrofia = comiendo juntos). La energía libre asociada a las conversiones de los ácidos grasos es positiva, pero si la concentración de  $H_2$  se mantiene muy baja debido al consumo constante por los metanógenos pasa a tener signo negativo lo que determina su factibilidad. En la mayoría de los ecosistemas anóxicos, la acetogénesis limita el proceso global porque la velocidad de crecimiento de los microorganismos intervinientes es generalmente muy lenta (Carrillo, 2003).

Los metanógenos están muy extendidos en la tierra a pesar de su metabolismo especializado. Aunque la producción de metano se produce en gran cantidad en los ambientes claramente anaeróbicos como pantanos, zonas encharcadas o rumen, el proceso también se lleva a cabo en lugares como los suelos de bosques o praderas que podrían ser considerados aerobios, debido a la formación de microambientes anóxicos en el interior de las partículas de suelo (Carrillo, 2003).

La magnitud de la producción de metano por las arqueobacterias es superior a la obtenida anualmente de los pozos de gas natural. Las principales fuentes son los eructos de los rumiantes y el gas liberado en las zonas pantanosas. También se lleva a cabo la metanogénesis en el intestino de los vertebrados y de los insectos que comen madera como las termitas. Se han encontrado metanógenos viviendo como endosimbiontes de amebas y flagelados de vida libre acuática o albergados en el tubo digestivo de invertebrados (Carrillo, 2003).

La metanogénesis se observa con más frecuencia en los ambientes terrestres y las aguas continentales que en el mar, debido a las proporciones más bien altas de sulfato presentes en aguas y sedimentos marinos donde las bacterias reductoras de sulfato compiten con las poblaciones metanogénicas por el acetato y el  $H_2$  disponibles. En el océano los principales precursores de metano son las metilaminas apenas utilizadas por los reductores de sulfato, como la trimetilamina que es un producto importante de excreción en los animales marinos (Carrillo, 2003).

## **2.7 Biodigestor**

Es un recipiente cerrado o tanque el cual puede ser construido con diversos materiales como ladrillo y cemento, metal o plástico. El biodigestor, de

forma cilíndrica o esférica posee un ducto de entrada a través del cual se suministra la materia orgánica (por ejemplo, estiércol animal producto del lavado de instalaciones) en forma conjunta con agua, y un ducto de salida en el cual el material ya digerido por acción bacteriana abandona el biodigestor (Preston, 2005).

Para producir biogás se pueden emplearse diversos materiales orgánicos tales como residuos vegetales, estiércol, basura doméstica, camalotes, algas, efluentes de las industrias de alimentos, bebidas, pulpado y papel, y químicas (Preston, 2005).

Durante la bioconversión de materiales orgánicos a metano las distintas etapas tienen distinta velocidad: la degradación de la celulosa ocurre en semanas, la de las hemicelulosas y proteínas en días y la de las moléculas pequeñas, como azúcares, ácidos grasos y alcoholes, en horas, pero la lignina no es degradada en la mayoría de los sistemas de digestión anaeróbica (Moncayo, 2003).

El proceso en un digestor difiere de otros tipos de fermentaciones en que no es necesario utilizar cultivos puros de microorganismos. Las diversas bacterias capaces de descomponer las sustancias orgánicas y producir biogás están ampliamente distribuidas en la naturaleza. Se encuentran, por ejemplo en los excrementos animales y humanos. Estas bacterias pueden activarse y mantenerse indefinidamente con un manejo adecuado (Moncayo, 2003).

El tamaño del digestor está determinado por el contenido de sólidos y el tiempo de retención del residuo para un tipo de carga dado. Los materiales insolubles, tales como papel, paja y otros lignocelulósicos, pueden requerir un tratamiento de días (o aún años en ciertos rellenos sanitarios) mientras que puede lograrse hasta una reducción del 95% con una carga diaria de 20 kg / m<sup>3</sup> de digestor cuando el residuo es soluble (Carrillo, 2003).

Los materiales que ingresan y abandonan el biodigestor se denominan afluente y efluente respectivamente. El proceso de digestión que ocurre en el interior del biodigestor libera la energía química contenida en la materia orgánica, la cual se convierte en biogás (Carrillo, 2003).

### **2.7.1 Tipos de biodigestores.**

Existen dos grupos de biodigestores, ambos tienen características similares de mantenimiento, pero el resultado no es el mismo. Son estos (Soria, et al; 2001):

- biodigestores continuos.
- biodigestores discontinuos.

#### **2.7.1.1 Biodigestores discontinuos.**

También llamado biodigestor en lote o tipo batch, se llena completamente una vez, se sella y se vacía por completo después de un tiempo de retención cuando la biomasa haya dejado de producir gas. Puede ser con o sin agitación y requiere para acelerar su arranque de una proporción de inóculo del 20%. Su curva de producción de gas sigue la característica de arranque-estabilización-agotamiento; el abastecimiento continuo de biogás con estas plantas se logra con depósitos de gas o con varios digestores funcionando a la vez, operando cada uno de ellos en diferente etapa. Este tipo de digestores son eficaces para la digestión de materiales celulósicos que no pueden ser tratados en los digestores de tipo continuo debido al posible taponamiento de los conductos de alimentación y salida (ISAT, 1999).

Los biodigestores también pueden clasificarse por su modelo. La mayoría de las plantas de biogás difundidas en el mundo pertenecen a dos tipos de diseño, cuyos nombres derivan de los países en los cuales se realizaron los primeros modelos y posteriormente se les dio una difusión masiva. Estos son el modelo Chino (planta de cúpula fija), cuya forma se asemeja a una esfera y el gas se almacena dentro de la campana fija a presión variable, la cual se obtiene desplazando el líquido en digestión hacia una cámara llamada de hidropresión; el modelo Hindú (plantas de cilindro flotante) que posee una cámara de digestión de forma cilíndrica sobre la cual flota la campana de gas. Este digestor demanda un mayor gasto de materiales y la campana gasométrica es por lo general, el componente más caro del equipo (ISAT, 1999).

En China se construyó un biodigestor dentro de un invernadero, la construcción de un chiquero para cerdos también se realizó dentro de éste. En esas condiciones, el digestor puede operar fácilmente aún en épocas de frío y en áreas frías, las plantas y los puercos se complementan con el O<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub> de unos y otros (Mengjie, 2002).

#### **2.7.1.1.1 Ventajas de los biodigestores discontinuos (ISAT, 1999):**

- pueden procesarse una gran variedad de materiales la carga puede juntarse en campo abierto porque, aunque tenga tierra u otro inerte mezclado, no entorpece la operación del biodigestor.
- admiten cargas secas que no absorban humedad, así como de materiales que flotan en el agua.
- su trabajo en ciclos, los hace especialmente aptos para los casos en que la disponibilidad de materia prima no sea continua, sino periódica.

- no requiere prácticamente ninguna atención diaria.

#### **2.7.1.1.2. Desventajas de los biodigestores discontinuos son (ISAT, 1999):**

- la carga requiere un considerable y paciente trabajo.
- la descarga, también es una operación trabajosa.

#### **2.7.1.2 Biodigestores continuos**

En este tipo de biodigestores, el biogás es almacenado sobre el fermentador y el material residual es depositado en un estanque abierto para luego ser utilizado como abono orgánico. El biodigestor es alimentado regularmente con un determinado volumen de agua y biosólidos, y a través de un sistema de bombeo se le retira el mismo volumen de agua del material residual. La mayor parte de los digestores difundidos a lo largo de todo el mundo pertenecen a esta categoría y existen dentro de ella enormes variaciones sobre el mismo principio. Los componentes básicos que forman este sistema son una pileta de carga (entrada), el digestor, la campana de almacenamiento del gas, la salida del gas y la pileta de descarga o salida del efluente (ISAT, 1999).

#### **2.7.1.2.1 Ventajas del biodigestor continuo (ISAT, 1999) :**

- Permite controlar la digestión, con el grado de precisión que se quiera.
- Permite corregir cualquier anomalía que se presente en el proceso, en

cuanto es destacada.

- Permite manejar las variables relacionadas, carga específica, tiempo de retención y temperatura, a periodos son del orden de 10 años.
- La tarea de “puesta en marcha”, después del inicial, sólo se vuelve a repetir cuando hay que vaciarlo por razones de mantenimiento.
- Las operaciones de carga y descarga, de material a procesar y procesados, no requieren ninguna operación especial.

#### **2.7.1.2.2 Inconvenientes (ISAT, 1999):**

- La baja concentración de sólidos que admiten.
- No poseer un diseño apropiado para tratar materiales fibrosos, o aquellos cuyo peso específico sea menor que el de el agua.
- Problemas de limpieza de sedimentos, espuma e incrustaciones.
- El alto consumo de agua, por lo que al agregado líquido se reduce, con el agregado de orinas, un buen sustituto.

#### **2.7.1.3. Calidad de los sólidos volátiles**

Para mejorar la producción de metano de los biodigestores, es conveniente mejorar de los SV, es decir que nuestra mezcla de estiércoles se encuentre balanceada la cantidad de carbono/nitrógeno, que sea homogénea en cuanto no hayan impurezas como trozos de materia mayores a 1cm<sup>2</sup> , que

se encuentre con niveles de pH balanceados y que posea una alta cantidad de organismos metanizantes (Moncayo, 2003).

Los biodigestores industriales de gran porte no solo tienen en cuenta la temperatura de la biomasa, o el pH, sino la cantidad y calidad de sv que se ingresa, teniendo en cuenta que esta es parte integrante de cualquier estiércol (ISAT, 1999).

Otro factor a tener en cuenta, aunque solo afecta al proceso en circunstancias muy particulares, es la presión. Se ha llegado a contestar que a presiones del orden de  $700 \text{ kg/cm}^2$ , los microorganismos aún cumplen su proceso metabólico aunque muestran grandes dificultades para desarrollar su tarea, en cambio a presiones menores que la atmosférica, se vio que por debajo de  $0,35 \text{ kg/cm}^2$  de presión absoluta, el proceso de metanización se detiene. A los efectos prácticos, para las condiciones usuales de presión a que se realiza la fermentación metánica, entre  $0,7$  y  $1/4 \text{ kg/cm}^2$  de presión absoluta, la destrucción de sólidos volátiles es del orden del 60% , en las condiciones optimas de temperatura y pH, para tiempos de retención entre 12 u 25 días (ISAT, 1999).

## **2.8 Estiércol**

El estiércol contiene un buen número de nutrientes para las plantas. Casi la mitad del nitrógeno que contiene el estiércol está en forma amoniacal, si se maneja bien, es disponible casi inmediatamente para las plantas. El resto se encuentra en diversos compuestos orgánicos y no está disponible para las plantas. El nitrógeno orgánico debe ser convertido a nitrógeno amoniacal antes de ser absorbido por las plantas. La liberación de nitrógeno a partir del nitrógeno orgánico es un proceso microbiano que está regulado por la temperatura y humedad del suelo y que continúa por dos o tres años después de ser aplicado al suelo. Entre 25 y 75 por ciento del nitrógeno en el estiércol está disponible durante el año en que se aplicó, esto dependiendo del tipo de

estiércol y la forma en que se ha manejado. Aproximadamente la mitad del nitrógeno será liberada al año siguiente y así sucesivamente (Moncayo, 2003).

La disponibilidad de fósforo y potasio en el estiércol, en el año de aplicación, fluctúa entre 50 y 100 por ciento. El valor de los nutrimentos en el estiércol debe de ser tomado muy en cuenta. Una carga de una tonelada de estiércol típico (de vaca) con un contenido aproximado de 50% de humedad, contiene alrededor de 42 kg de nitrógeno (N), 18 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 26 Kg. de K<sub>2</sub>O (Robert, 2005).

El estiércol incrementa la materia orgánica y mejora la estructura física del suelo, incrementa la capacidad de retención de humedad y la infiltración, lo que reduce las pérdidas por acarreo. El estiércol también reduce los problemas de encostramiento y la susceptibilidad a la erosión por viento (eólica) y por agua (hídrica) (Martínez, 2006).

Es muy probable que el estiércol no sustituya a los fertilizantes comerciales, pero puede suplementar y mejorar un programa de fertilidad de suelos. Sin embargo, el estiércol requiere de un manejo cuidadoso. El problema es calcular cuándo será la liberación de nutrimentos del estiércol para ser absorbidos por la planta. Cuando utilice estiércol, evite las aplicaciones anuales en el mismo lugar o campo e incorpore el estiércol lo antes posible (Robert, 2005).

La aplicación del estiércol deberá ser una práctica útil y necesaria para decidir el cuanto aplicar de estiércol por año. Además el reciclaje apropiado de los nutrientes contenidos en los abonos orgánicos tales como estiércoles, a través de su incorporación en suelos agrícolas requiere del conocimiento del porcentaje de descomposición o también llamada "tasa de mineralización". Este porcentaje debe ser estimado para diferentes condiciones edáficas y agroecológicas, de tal manera que puedan utilizarse de apoyo para el cálculo de dosis del abono orgánico de interés. Una Sub-estimación de la dosis puede

ocasionar deficiencias de nutrientes por el cultivo y una reducción en rendimiento y calidad del producto. Por el contrario, una sobre-estimación de la dosis conduce a exceso e nutrientes, toxicidad al cultivo y contaminación del suelo y el agua (Martínez, 2006).

De acuerdo con la fuente de energía principal, los organismos vivos se clasifican en fototróficos (utilizan la radiación) los quimotróficos (utilizan la energía liberada de oxidaciones químicas). Además, los organismos pueden ser subdivididos con base en su fuente de energía principal en autótrofos los cuales usan el carbono inorgánico ( $\text{CO}_2$ ) y heterótrofos los cuales utilizan compuestos de carbono orgánico tales como carbohidratos (Martínez, 2006).

El estiércol generado en las explotaciones intensivas de ganado ha sido utilizado por décadas para la producción de metano, sin embargo, comúnmente surgen problemas como fallas del digestor (Borole et al., 2006). Dentro de la granja, la digestión anaerobia también estabiliza el estiércol y lo convierte en abono, con lo cual es posible almacenarse más fácilmente y por periodos más largos, además de reducir los costos de manejo (Wilkie, 2005).

La composición química del estiércol varía de acuerdo al tipo de animales que se trate y en función de la dieta del ganado (INIFAP, 2005). Como se puede observar en el Cuadro 1, la gallinaza presenta en general el mayor contenido de N, así como de fósforo y magnesio (Martínez, 2006).

Cuadro 1. Composición del estiércol de diferentes especies de ganado.

Elemento	Tipos de estiércol			
	Bovino	Gallinaza	Porcino	Ovino
Nitrógeno (%)	2-8	5-8	3-5	3-5
Fósforo (%)	0.2-1.0	1-2	0.5-1.0	0.4-0.8
Potasio (%)	1-3	1-2	1-2	2-3
Magnesio (%)	1.0-1.5	2-3	0.08	0.2

## 2.9 Factores ambientales

Entre los factores ambientales importantes para el funcionamiento de los digestores figuran: la temperatura, la concentración de sólidos, la concentración de ácidos volátiles, la formación de espuma, la concentración de nutrientes esenciales, las sustancias tóxicas y el pH (Carrillo, 2003).

Las metanobacterias sólo pueden multiplicarse cuando está avanzada la fermentación de los substratos primarios por acción de las bacterias anaerobias facultativas (por ejemplo *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* o *Bacillus* spp.) y se haya consumido todo el oxígeno disuelto, de manera que el potencial redox haya alcanzado en un valor menor que -200 mV. Además, el pH no debe bajar demasiado, debido a los ácidos producidos por los *Clostridium*, para no inhibir el crecimiento de los metanógenos (Carrillo, 2003).

Comúnmente la concentración de ácidos grasos volátiles no supera los 2 a 3 g/L, expresados como ácido acético. Si se sobrepasa este nivel, la digestión cesará en dos o tres días debido a que los metanógenos no pueden utilizar los ácidos a la misma velocidad con que se producen. El pH óptimo para la

digestión está entre 7,0 y 7,2, aunque el rango satisfactorio va de 6,6 a 7,6. La digestión comienza a inhibirse a pH 6,5. Una vez que se ha estabilizado un digestor el lodo está bien amortiguado, es decir la concentración de protones no varía aún cuando se añadan cantidades relativamente grandes de ácido o álcali. Si esta capacidad de amortiguación se destruye y el pH disminuye cesa la metanogénesis (Carrillo, 2003).

El  $\text{CO}_2$  es soluble en agua y reacciona con los iones hidroxilo para formar bicarbonato. La concentración de  $\text{HCO}_3^{--}$  es afectada por la temperatura, el pH y la presencia de otros materiales en la fase líquida. Las condiciones que favorecen la producción de bicarbonato aumentarán a su vez el porcentaje de metano en la fase gaseosa. La gama de temperatura para la digestión anaeróbica tiene dos zonas óptimas una mesófila (30 - 40°C) y otra termófila (45 - 60°C). Casi todos los digestores funcionan dentro de los límites de temperaturas mesófilas y la digestión óptima se obtiene a unos 35°C. La velocidad de digestión a temperaturas superiores a 45°C es mayor que a temperaturas más bajas, sin embargo las bacterias son sumamente sensibles a los cambios ambientales especialmente una disminución repentina de sólo unos pocos grados (Carrillo, 2003).

## **2.10 Los beneficios de la tecnología del biogás.**

El quemar estiércol y residuos de plantas se considera una pérdida de nutrientes para la planta. Granjeros de los países en vías de desarrollo utilizan fertilizantes químicos para mantener la productividad de las cosechas. No obstante, muchos granjeros pequeños continúan quemando incluso los fertilizantes potencialmente valiosos, aunque no puedan darse el lujo de comprar los fertilizantes químicos. Sin embargo, la cantidad técnicamente disponible de nitrógeno, potasio y fosforoso en los materiales orgánicos es alrededor de ocho veces más alta que la cantidad de fertilizantes químicos realmente consumidos en los países en vías de desarrollo, sobre todo para los

pequeños granjeros. La tecnología del biogás se considera una importante herramienta para el uso máximo de los recursos naturales: Después de extraer la energía necesaria de estiércol y otros materiales de desechos orgánicos, el lodo resultante es un buen fertilizante, que le brinda a la tierra calidad general para obtener los rendimientos de la cosecha más altos (GTZ-GATE, 1999).

### **2.10.1 Beneficios ecológicos**

El biogás no ofrece varios beneficios ecológicos los cuales son los siguientes (Chávez, 2000):

- El uso favorece a no cortar árboles para cocinar, secar o en carbón.
- Ahorra tiempo en acarreo de leña, en bodegas, lavado de recipientes por las usuarias al no tizar las ollas.
- Ahorra dinero en compra de leña, carbón, gas y derivados de petróleo y otros usos a futuro.
- Elimina malos olores y moscas transmisoras y contaminantes.
- Ahorra en la compra de fertilizantes y en el abuso de éste.
- Los animales no excretan en el campo, contaminando fuentes de agua en Las Microcuencas Hidrográficas.
- Favorece el uso al reducir el daño en la capa de ozono al liberar menos metano a la atmósfera.
- Más árboles, menos metano, más dinero, mejor ambiente.

## **2. 11 Biogás como combustible**

El metano es el componente más importante bajo el aspecto de usar el biogás como un combustible (GTZ-GATE, 1999).

El uso del biogás como combustible, tiene ventajas positivas para el medio ambiente (Moncayo, 2003):

- La combustión del metano es limpia, ya que no da lugar a productos contaminantes y no deja residuo alguno. No sucede así con los combustibles tradicionales derivados del petróleo que emiten hidrocarburos sin quemar, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, partículas muy contaminantes todos ellos.
- El CO<sub>2</sub> que se genera en una combustión no se puede considerar un contaminante. Sin embargo, en la actualidad las diferentes actividades humanas consumen una gran cantidad de energía, por lo que se libera mucho CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Este alto contenido en CO<sub>2</sub> de la misma es el responsable del recalentamiento terrestre, del famoso efecto invernadero.
- En último lugar, lo que no quiere decir que sea menos importante, remarcar que el biogás se obtiene a partir de materia orgánica. Se trata por lo tanto de un recurso energético renovable, frente a los combustibles fósiles que se encuentran en cantidad limitada.

### **2.12 Usos del biogás.**

El biogás puede ser usado de la misma manera que los otros gases combustibles, encontrando su mayor aplicación para cocinar y para el alumbrado público (Laichena and Wafula, 1997). Incluso, el biogás se puede combinar con el gas natural, ya que tienen un contenido de energía similar, lo cual permite la mezcla de los dos gases sin reducir el contenido energético, pero para tal fin, sería necesario separar el bióxido de carbono contenido en el biogás (Vinnerås *et al.*, 2006).

La mayoría de los gases producidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales y rellenos sanitarios son quemados, pero una parte del gas es usado como fuente para la generación de calor por combustión en calentadores de agua (Bien *et al.*, 2004; Chun *et al.*, 2005). Esta energía también puede ser

utilizada como una alternativa al uso del gas natural mediante su aprovechamiento como combustible en la cocina (Yasui et al., 2005) o para el alumbrado público en forma directa, mediante lámparas de gas (Felipe-Morales and Moreno, 2005); se puede generar energía mecánica por combustión en máquinas de gas y generar electricidad utilizando máquinas de gas o turbinas (Bien et al., 2004; Wilkie, 2003).

### **2.13 Usos del bioabono**

Resultados de investigaciones recientes han demostrado que el proceso de biodigestión produce mejoras importantes en el valor del estiércol de ganado como fertilizante para los cultivos, como también para las plantas acuáticas o los peces cultivados en estanques (Preston, 2005).

El bioabono sólido o biosol producido en el biodigestor es un excelente abono para los cultivos, el cual se recolecta cada que se hace la descarga del biodigestor (Felipe-Morales and Moreno, 2005). Este abono también puede usarse en actividades forestales, jardinería, viveros y recuperación del suelo en espacios degradados (Iglesias-Vázquez, 2002), pues incrementa la materia orgánica y la actividad de los microorganismos del suelo (INIFAP, 2005).

El abono líquido o biol es otro producto del biodigestor que se puede utilizar en una gran variedad de especies vegetales de ciclo corto o perenne, con aplicaciones dirigidas al follaje, al suelo, a la semilla o a la raíz (Gomero, 2005). El biol no sólo es un excelente abono orgánico para los cultivos, también es un valioso activador del crecimiento y la floración de las plantas gracias a su contenido de fitohormonas (Felipe-Morales and Moreno, 2005).

## 2.14. Análisis de la materia prima

Se le realizan varios análisis a la muestra que se está investigando la cual se obtienen resultados positivos o negativos (Martínez, 2006).

Los resultados de la composición de los estiércoles al tiempo cero (columna izquierda) y al final (columna derecha) del proceso de digestión anaerobia se presentan en el cuadro 2. Como se puede observar, los cambios más significativos se registraron en conductividad eléctrica, materia orgánica y relación C/N. El valor más bajo para la conductividad se presentó en el estiércol de cerdo, mientras que para materia orgánica y relación C/N lo fue para el de bovinos (Martínez, 2006).

Cuadro 2. Composición del estiércol al inicio y de bioabono al final del proceso de digestión anaeróbica bajo condiciones de la Comarca Lagunera.

Tipo de estiércol	pH		CE (mS/cm)		% Mat. Orgánica		Nitrógeno total (%)		Carbono orgánico (%)		Relación C/N		Fósforo (%)	
<b>Caprino</b>	8.3	8.6	23.0	14.0	55.5	58.9	2.05	2.94	32.2	34.21	16:1	11:1	0.26	0.23
<b>Bovino</b>	8.4	8.5	19.1	11.6	53.4	54.6	2.29	2.73	31.0	31.65	16:1	11:1	0.25	0.23
<b>Porcino</b>	6.5	6.8	29.4	11.2	56.0	56.8	4.92	2.84	32.5	32.95	6:1	11:1	1.15	0.81

## **CAPITULO III**

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1 Lugar de realización del proyecto**

Este experimento se realizó en la Unidad de Producción Agroecológica de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna durante el periodo comprendido del 2009. La ubicación geográfica de esta unidad es 25° 55' latitud norte y 103° 37' longitud oeste, con una altura de 1127 metros sobre el nivel del mar.

#### **3.2 Material biológico.**

Se utilizó estiércol de cabra (40Kg) y material vegetal (10 Kg pasto seco y verde) como materia prima para evaluar las diferencias de producción de biogás y la calidad que nos puede dar el composta, mediante la digestión anaerobia. Este material lo obtuvimos en el establo de las cabras que se encuentra en esta universidad.

#### **3.3 El Biodigestor**

La unidad experimental consistió en un digestor metálico color blanco de 200 litros, con tapa, que fue facilitado por el M.C. Aurelio Maldonado Contreras profesor investigador de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Unidad Gómez Palacio. Este se colocó en un área limpia y soleado, ya que la temperatura es un factor importante, para el buen desempeño del proceso para la producción de este gas.

Esta unidad se llenó hasta alcanzar 2/3 con mezcla de estiércol (40 Kg) y pasto seco (10 Kg) y 100 L de agua. Esta mezcla fue homogenizada y luego fue cerrado el biodigestor el 13 de Abril del 2009 y se dejó un tiempo de residencia de 40 días para iniciar con las mediciones de flujo, adaptándole un flujómetro de gas (SL-2, de Darhan GM Corporation, Korea)

### **3.4 Variables de estudio.**

#### **3.4.1 Composición química de la materia prima y del producto terminado.**

En el Laboratorio de Suelos de la UAAAN se realizaron las determinaciones para estimar los parámetros de pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, fósforo, calcio y magnesio, potasio, micronutrientes. Se tomo una muestra la cual fue analizada antes del proceso de digestión. Y al finalizar el experimento se tomo una muestra la cual se analizo el contenido de nitrógeno y proteína que contiene después del proceso de digestión.

#### **3.4.2. Materia orgánica (método de Wolkey y Black)**

Se peso 0.006 g de la muestra seca pasado por el tamiz de 0.5 mm y se coloco en un matraz Erlenmeyer de 500 ml, incluyendo testigo sin suelo y se le agregó 10 ml de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) 1N girando el matraz cuidadosamente para que entre en contacto con toda la muestra.

Después se le agrego cuidadosamente con una bureta 20 ml de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado a la suspensión, se agito durante un minuto, dejándose reposar durante 30 minutos.

Transcurrido este tiempo se le añadió 100 ml de agua destilada y se le adicionaron 10 gotas del indicador ferroina. Posteriormente se titulo con disolución de sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ) gota a gota hasta un punto final de rojo ladrillo.

### **3.4.3. Fósforo (método de Olsen)**

Se pesó 2.5 g de la muestra tamizada por la maya de 2 mm y se colocó en un matraz Erlenmeyer de 125 ml se le adicionó 50 ml de solución extractora y se tapó con un cuadro de Parafilm, se agitó durante 30 minutos (Agitador Mecánico Eberbach). Se filtra inmediatamente empleando papel filtro y se tomaron 5 ml del filtrado y se coloca en un tubo aforado de 25 ml y se le adicionó una gota de Nitrofenol, un ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5N, gota a gota 4 ml de reactivo B, se aforo con agua destilada hasta los 25 ml del tubo. Se cubrió con papel Parafilm y se agitó. Después se lee por absorbancia (820 nm de longitud de onda) dejando pasar 30 minutos.

### **3.4.4. Conductividad eléctrica y pH**

Se preparó una pasta saturada agregando agua destilada a la muestra de 130 g y agitándola. Al saturarse la pasta, brilla por reflexión de la luz. Ya saturada, se deja reposar por 24 horas.

Transcurrido este tiempo, la pasta se coloca en uno de los embudos con papel filtro y se aplica al vacío, el extracto se recibió en un tubo de ensayo. Se realizan las determinaciones de la conductividad eléctrica con el conductímetro y el pH con el pHmetro.

### **3.4.5. Micronutrientes**

Se pesaron 5 g de muestra, y se le agregó 40 ml de DTPA y se agitó durante dos horas (agitador mecánico Eberbach). Después se midió el contenido de Cu, Zn, Mn y Fe con el equipo de absorción atómica (Perkin Elmer 2380), las longitudes de ondas son las siguientes:

Cu 324.8 nm.

Fe 248.3 nm.

Zn 213.9 nm.

Mn 279.5 nm.

Se realizaron las operaciones para la relación ml/peso y el resultado obtenido se multiplicó con el obtenido de la medición de absorción atómica (Perkin Elmer 2380).

#### **3.4.6. Calcio y Magnesio (método por extracción con acetato de amonio y lectura en absorción atómica).**

Se hace una disolución de 1:100 y se realizó la lectura en el equipo de absorción atómica (Perkin Elmer 2380)

#### **3.4.7. Potasio (método por extracción con acetato de amonio y lectura en absorción atómica).**

Se pesó 5 g del sustrato y se coloca en un tubo de centrifuga y se le adicionó acetato de amonio ( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ) 1N, se tapa el tubo con papel parafilm y se coloca en posición horizontal y se agitó por 10 minutos.

Se centrifuga la suspensión hasta que el sobrenadante está claro, se filtró y colocó en un matraz aforado de 100 mL con papel Whatman No. 2, 4 o similar y se repite este proceso dos veces, se realizó la lectura en el aparato de absorción atómica.

### **3.4.8. Nitrógeno (N) (método de Kjeldahl):**

En digestión:

Se pesó en papel filtro dos muestras (0.3 y 0.5 g) muestra seca pasado por la maya de 0.5 mm, se colocó cada papel con la muestra seca en dos matraces de Kjeldahl se incluyó un testigo (sin muestra).

Se disolvió un ml de ácido salicílico en 35 ml de ácido sulfúrico concentrado y esto se le agregó a cada matraz procurando que no se resbale por las paredes. Se dejó reposar 30 min.

Posteriormente se agregó a cada matraz 15.69 g de tiosulfato de sodio pentahidratado y 7.82 g de sulfato de cobre pentahidratado y se puso a digerir hasta que alcanzara un color verde claro, durante este tiempo, en cada 15 minutos se giraban los matraces para evitar que la muestra se pegara en el matraz.

Unas veces que tomo este color se dejó enfriar y después se le adicionó a cada matraz 300 ml de agua destilada.

Destilación:

Se colocó en matraces Erlenmeyer de 500 ml (las dos muestras pesadas de 0.3 y 0.5 g y el testigo) 10 ml de ácido clorhídrico 0.1 N. Se agregaron 50 ml de agua destilada y 4 gotas de rojo metilo. Posteriormente se colocaron los matraces en los tubos de destilación.

A los matraces de Kjeldahl se le agregaron 100 ml de hidróxido de sodio al 45 % y se procedió a colocarlos en el destilador lo más rápido posible. De cada matraz se recogerán 200 ml del filtrado.

### **Titulación.**

Se titularon los matraces de 500 ml con hidróxido de sodio 1 N hasta que desapareciera el color rojizo y quede un verde claro.

Cálculos para N:

$$\% \text{ N total} = \frac{(\text{mL NaOH testigo}) - (\text{mL NaOH muestra}) \times N \times 0.14 \times 100}{\text{Gramos de muestra}}$$

0.14= peso equivalente del Nitrógeno.

Cálculos para proteína se utiliza como factor 6.23 y esto se multiplica por el % de nitrógeno de total que nos dio en la operación anterior.

### **3.4.9. Medición del biogás.**

Para la determinación del biogás, el digestor contó con una lectura inicial y se pretendía determinar la producción (en L) por diferencia en la medición cada 24 h.

## CAPITULO IV

### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Composición del sustrato.

Los resultados que se obtuvieron de los análisis que se le realizaron al inicio de la investigación al sustrato solido, ya no fue posible realizar un segundo estudio al final (Cuadro 1).

CUADRO 1. Composición del estiércol al inicio del proceso de digestión anaerobia bajo condiciones de la Comarca Lagunera.

TIPO DE MUESTRA	% M. O	pH	CE (ms/cm)	Fósforo (ppm)	MICRONUTRIENTES (ppm)				Calcio (meq/L)	Magnesio (meq/L)	Potasio (meq/100g)
ESTIERCOL DE CABRA CON PASTO SECO	61.2	7.49	9.38	22.8	Cu 9.5	Zn 6.4	Fe 3.3	Mn 15.1	4.89	18.1	1.57

Este tipo de estiércol es bueno en contenido de fosforo en comparación con los resultados obtenidos por (Martínez, 2006), pero la conductividad eléctrica (CE) y pH resultaron diferentes.

#### 4.2 Producción de biogás.

El periodo de la medición se realizo a partir del 20 de abril del 2009 al 20 de septiembre del 2009. La producción no se pudo estimar por día.

En este trabajo de investigación no hubo cuantificaciones de biogás esto quiere decir que no se obtuvo producción, debido principalmente a fugas que se tuvieron y que no se pudieron controlar, dado que se requieren presiones

mayores a  $1.5 \text{ kg/cm}^2$  y por otro parte, debido a las temperaturas fluctuantes, altas y bajas ocasionadas por las irregularidades del clima regional.

Se pudo verificar que los procesos de digestión se llevaron a cabo, debido a los cambios en las características visuales del sustrato utilizado.

Respecto a la producción de biogás si han habido resultados en otros trabajos de investigación de producción de biogás a base de estiércol de diferentes animales como de bovinos, cerdos y caprinos, de estudios realizados por Martínez (2006) bajo condiciones de la Región Lagunera.

Como se puede observar en la Figura 1. Existe una correlación significativa entre la producción de biogás y las temperaturas, esto, debido a los estudios preliminares que se obtuvieron en el Departamento de Agroecología y que dieron la pauta para la continuación de esta investigación.

Actualmente (2010), se diseñaron dos nuevos biodigestores a base de PVC hidáulico y parentemente no presentan fuga, con ello, se pretende estimar la producción del biogás, composición química como el metano, dióxido de carbono, y dióxido de azufre.

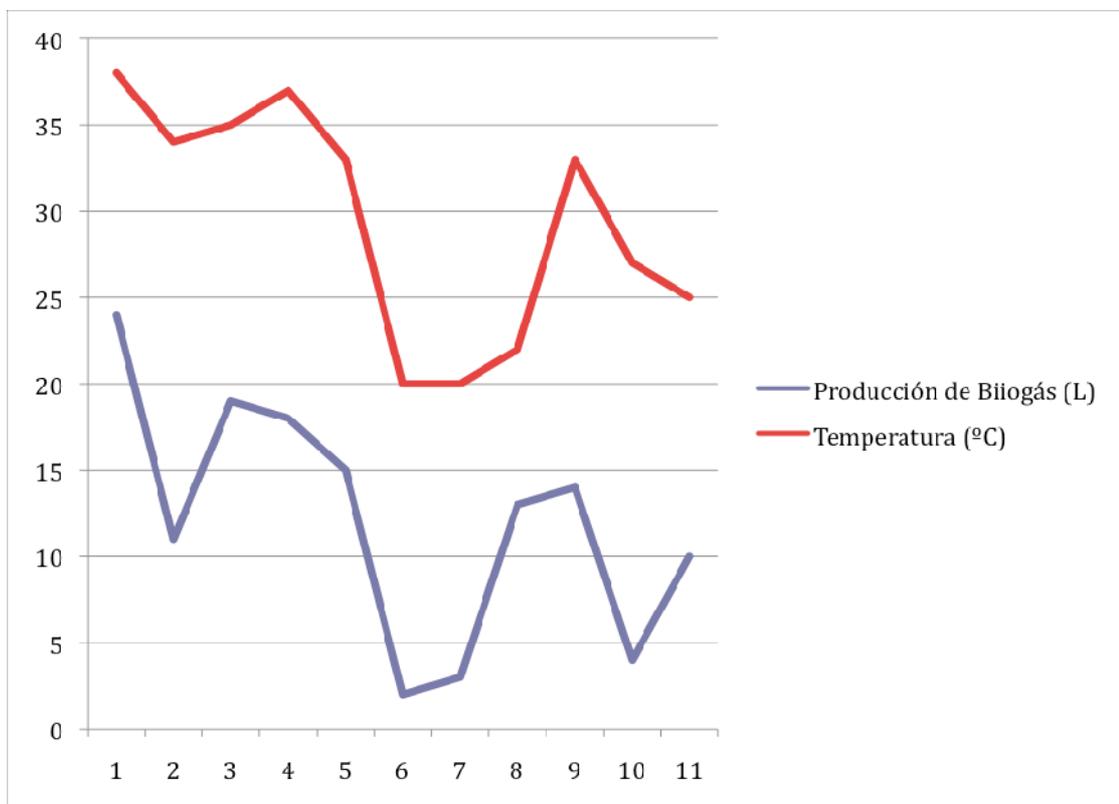
#### **4.3 Análisis del bioabono**

Los resultados que se obtuvieron de los análisis que se le realizaron al bioabono sólido se presenta en el Cuadro 2, donde el valor de nitrógeno (N) es importante, así como la conversión de este a proteína empleando un factor de conversión (6.23). Cabe destacar que este valor está por debajo de los reportados por Martínez (2006) (Cuadro 2), mientras que para el caso del procesamiento de estiércol por lombrices en México, los valores promedio no sobrepasan a nuestro valor encontrado, lo que le da cierta ventaja al proceso de fermentación anaerobia.

**Cuadro 2.** Composición del bioabono al final del proceso de digestión anaerobia bajo condiciones de la Comarca Lagunera.

TIPO DE MUESTRA	NITROGENO %	PROTEINA (%)
BIOABONO	1.61	10.03

#### 4.4 Resultados preliminares



**Figura 1.** Estimaciones de la producción de biogas con estiércol de cabra en 11 determinaciones diarias del 18-28 Nov. del 2006. (Datos no publicados)

## **CONCLUSION.**

Estimar las variación en la producción de biogás se complicaron debido a posibles fugas que presentó el digestor y que no se detectan de acuerdo con las pruebas de formación de burbujas al aplicarle jabón, por ello es recomendable en estudios subsecuentes, que el biodigestor cuente con un manómetro para medir presión y verificar que no se pierde presión por fugas.

El contenido de N del biabono fue de 1.61 % el cual nos indica que este es rico en el contenido de este nutriente y se recomienda su uso para el suelo y a las plantas.

## REFERENCIAS

- Aldana-Catalán, L.Y.** 2008. Suplementación de Biodigestores con vinaza y su efecto sobre la producción y calidad del biogás y sus efluentes, EARTH, Guacimo, Limón, Costa Rica.
- Álvarez S.** 2005. La descomposición de materia orgánica en humedales: la importancia del componente microbiano. Ecosistemas 14: 17-29.
- Angelidaki, I., X. Chen, J. Cui, P. Kaparaju, and L. Ellegaard.** 2006. Thermophilic anaerobic digestion of source-sorted organic fraction of household municipal solid waste: start-up procedure for continuously stirred tank reactor. Water Research 40:2621-2628.
- Anónimo.** 2004. Historia del biogas. Fecha de Consulta. 23 de Junio de 2009. Disponible en:  
[http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/san\\_juan/712/otras\\_fuentes\\_energéticas\\_renova.htm](http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/san_juan/712/otras_fuentes_energéticas_renova.htm)
- Bartomeu, O. O.** 2005. Como realizar una pequeña cocina de biogás. Fecha de Consulta. 23 de Junio de 2009. Disponible en:  
[http://www.telefonica.net/web2/obiogas/Demostracion\\_biogas.pdf](http://www.telefonica.net/web2/obiogas/Demostracion_biogas.pdf)
- Berra, G y Finster L.** 2005. Influencia de la ganadería argentina .Emisión de Gases de Efecto Invernadero. Fecha de Consulta. 23 de Junio de 2009. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/ediciones/idia/carne/carneo03.pdf>
- Bien, J.B., G. Malina, J.D. Bien, and L. Wolny.** 2004. Enhancing anaerobic fermentation of sewage sludge for increasing biogas generation. J. Env. Sci. Health A39:939-949.
- Borole, A. P., K. T. Klasson, W. Ridenour, J. Holland, K. Karim, M. H. Al-Dahhan.** 2006. Methane production in a 100-L upflow bioreactor by

anaerobic digestion of farm waste. Appl. Biochem. Biotech. 129-132: 887-896.

**Carballa, M., F. Omil, A. C. Alder, and J. M. Lema.** 2006. Comparison between the conventional anaerobic digestion of sewage sludge and its combination with a chemical or thermal pre-treatment concerning the removal of pharmaceuticals and personal care products. Water Sci. Tech. 53: 109-117.

**Carmona, J.C., D.M. Bolívar, and L.A. Giraldo.** 2005. El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. Rev. Col. Cienc. Pec. 18:49-63

**Carrillo, L.** 2003. Microbiología Agrícola. Fecha de Consulta. 23 de Junio de 2009. Disponible en <http://www.unsa.edu.ar/matbib/micragri/micagricap5.pdf#search=%22BIOGAS%20A%20PARTIR%20DE%20CELULOSA%20Y%20ESTIERCOL%22>.

**Chávez, M. E.** 2000. Biodigestor conservacionista. Fecha de Consulta. 23 de Junio de 2009. Disponible en [http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_ciencia/biodigestor1.pdf#search=%22pdf%20biogas%20a%20partir%20de%20desechos%20vegetales%20y%20estiercol%22](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/biodigestor1.pdf#search=%22pdf%20biogas%20a%20partir%20de%20desechos%20vegetales%20y%20estiercol%22)

**Chun, Y. N., S. W. Kim, H. O. Song, and J. O. Chae.** 2005. SynGas production from organic waste using non-thermal-pulsed discharge. J. Air Waste Man. Assoc. 55: 430-436.

**Collazo, S., M.** 2009. Biogás. Disponible en: <http://193.146.36.56/aulaempresa/trabajos/TRABAJOS%202006/Marcos%20Collazo/Biog%C3%A1s.pdf>

**Coto-Rodríguez, J.E., and J.J. Maldonado-Maldonado.** 2005. Implementación de un sistema para la generar electricidad a partir de biogás en EARTH, EARTH, Guácimo, Costa Rica.

- Díaz-Báez, M.; Espitia, S. y Molina, F.** 2002. Digestión Anaerobia una Aproximación a la Tecnología. UNIBIBLIOS. Bogotá, Colombia.
- Ellis, J.L., E. Kebreab, N.E. Odongo, B.W. McBride, E.K. Okine, and J. France.** 2007. Prediction of methane production from dairy and beef cattle. J Dairy Sci 90:3456-66.
- Felipe-Morales, C., and U. Moreno.** 2005. Producción de biogás con estiércol de cuy. LEISA Rev. Agroecol. 21: 23-24.
- Gomero, O. L.** 2005. Los biodigestores campesinos una innovación para el aprovechamiento de los recursos orgánicos (Red de Accion en Alternativa al Uso de Agroquimicos, RAAA/RAPAL Subregión Andina) J. LEISA Revista de Agroecología: pp. 25-27
- GTZ-GATE.** 1999. Biogas Digest Fecha de Consulta. 23 de Junio de 2009. Disponible en: <http://www2.gtz.de/dokumente/bib/04-5364.pdf>
- INIFAP.** 2005. Uso sustentable de desechos orgánicos en sistemas de producción agrícola, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, México.
- Iglesias-Vázquez, C.** 2002. Programa piloto de gestión de residuos valorizables en Galicia. In: C. d. P. A. e. D. Rural (ed.) Libro blanco de la agricultura y el desarrollo rural. p 1-9. Xunta de Galicia, Santiago de Compostela, Galicia, España.
- ISAT.** 1999. Biogas digest (Volume I. Biogas basics; Volume II. Application and product development). Fecha de Consulta. 23 de Junio de 2009. Disponible en: <http://www2.gtz.de/dokumente/bib/04-5364.pdf>.
- Laichena, J. K., and J. C. Wafula (Editors).** 1997. Biogas technology for rural households in Kenya. Organization of the petroleum exporting countries. OPEC Rev., 223-244 pp.

- Lelieveld, J., P. J. Crutzen, and F. J. Dentener.** 1998. Changing concentration, lifetime and climate forcing of atmospheric methane. *Tellus* 50B: 128-150.
- Martínez E.** 2006. Tesis producción de Biogas y Bioabono de tres tipos de estiércol mediante digestión anaerobia. Torreón, Coah. Mex.
- Mengjie, W.** 2002. Biogas technology and ecological environment development in rural areas of China.
- Moncayo, R. M.** 2003. "La producción y el aprovechamiento del Biogás". Fecha de consulta: 12 de Sep. 2008. Disponible en: <http://www.aqualimpia.com/PDF/EI%20Zamorano%20La%20produccion%20de%20biogas.pdf>
- Núñez M.** 2008. Biogás. Fecha de Consulta. 23 de Junio de 2009. Disponible en: [http://www.energiasrenovables.ciemat.es/adjuntos\\_agenda/Biogas08.pdf](http://www.energiasrenovables.ciemat.es/adjuntos_agenda/Biogas08.pdf)
- Olcay, O., and G. Kocasoy.** 2004. Acceleration of the decomposition rate of anaerobic biological treatment. *J. Env. Sci. Health A39*: 1083-1093.
- Pérez G., P y Viniegra G.** 2009. Potencial del uso del estiércol en a alimentación de loa bovinos. Disponible en: <http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/cienciavet/revistas/CVvol1/CVv1c10.pdf>
- Preston, T. R.** 2005. Los biodigestores en los sistemas agrícolas ecológicos. *LEISA Rev. Agroecol.* 21: 18-22.
- Quesada-Ugarte, M.R., and N.B. Salas-Cisneros.** 2006. Generación de energía eléctrica a partir de biogas, EARTH, Guácimo, Costa Rica.
- Ritchie, A., and B. Watts.** 2005. Why we should step on the gas. *Building Design*: 31.

- Robert. T., L.** 2005. Breves Agronómicas: El estiércol, almacén de nutrientes para las plantas. Disponible en: [http://www.ppi-ppic.org/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/EB95D4ED6A97949506256AE80060EB08/\\$file/Breves+El+Estiercol.pdf](http://www.ppi-ppic.org/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/EB95D4ED6A97949506256AE80060EB08/$file/Breves+El+Estiercol.pdf)
- Rodriguez, J., A y Sanitaria.** 2009. Tratamiento anaerobio de aguas residuales. Colombia. Fecha de Consulta. 23 de Junio de 2009. Disponible en <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tratamiento545.pdf>.
- Soria-Fregoso. M. J., R. Ferrera-Cerrato, J. Etchever-Barra, G. Alcántar-González, J. Trinidad-Santos, L. Borges-Gómez y G. Pereyra-Perez.** 2001. Producción de biofertilizantes mediante biodigestion de excreta liquida de cerdo. Terra 19:353-362.
- Tinajero, A., and A. Noyola.** 2006. Increasing microbial activity in thermophilic anaerobic digestion of physicochemical sludge. Water Sci. Tech. 54: 245-251.
- Umetsu, K., Y. Kimura, J. Takahashi, T. Kishimoto, T. Kojima, B. Young.** 2005. Methane emission from stored dairy manure slurry and slurry after digestion by methane digester. An. Sci. Jour. 76: 73-79.
- Verburg, P.H., and H.A.C. Denier Van Der Gon.** 2001. Spatial and temporal dynamics of methane emissions from agricultural sources in China. Glob. Chan. Biol. 7:31-47.
- Vinnerås, B., C. Schönning, and A. Nordin.** 2006. Identification of the microbiological community in biogas systems and evaluation of microbial risks from gas usage. Sci. Total Environ. 367: 606-615.
- Werner, U; Stöhr, U; Hees, N.** 1989. Biogas Plants in animal Husbandry. Deutsche Zentrum für Entwicklungstechnologien (GATE), Deutsche

Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (gt;z) GmbH. Disponible en:  
[http://www.undp.kz/library\\_of\\_publications/files/155\\_28461.zip](http://www.undp.kz/library_of_publications/files/155_28461.zip)

**Wilkie, A. C.** 2003. Anaerobic digestion of flushed dairy manure. In: Anaerobic digester technology applications in animal agriculture, Alexandria, Virginia. p 350-354.

**Wilkie, A. C.** 2005. Anaerobic digestion: Biology and benefits. In: Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service, Cornell University, Ithaca, NY. Pp 63-72.

**Yasui, H., K. Komatsu, R. Goel, R. Matsuhashi, A. Ohashi, and H. Harada.** 2005. Minimization of greenhouse gas emission by application of anaerobic digestion process with biogas utilization. Water Sci. Tech. 52:545-552.