



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA
ESCUELA DE INGENEIRIA AGROPECUARIA

*“Estimación del aporte de un biodigestor a la sostenibilidad de
una finca ganadera”*

Trabajo de graduación previo a la obtención
del título de Ingeniero Agropecuario

AUTOR:

Henry Neptalí Bustamante Castro

DIRECTOR:

Ing. John Atiencia Mestanza

CUENCA- ECUADOR

2009

DEDICATORIA:

Dedico con todo cariño este trabajo a mis queridos padres Genoveva y Gaspar por el esfuerzo y dedicación que me supieron dar, por todos los momentos difíciles que pasaron para poder brindarme la educación.

AGRADECIMIENTO

Primero a Dios, por permitirme vivir y realizar mis sueños, luego a mi hermano Edgar que junto a Dios están a mi lado siempre para protegerme y cuidarme en todo momento.

A mis padres Genoveva Castro y Gaspar Bustamante por todo el esfuerzo que realizaron para que realice mis estudios, quienes me supieron guiar por el buen camino con sus consejos y experiencias.

A todos mis hermanos, Román, Nerio, Soledad, Ximena, que me han brindado todo su apoyo incondicional en lo económico y moral para que culmine mis estudios.

A mis tíos, Moisés y Mesías que son como mis hermanos que han dado todo su apoyo y consejos y que han sabido guiarme por el camino del bien.

A mamá Nico, que a más de ser una excelente abuelita ha sido mi segunda madre, me apoya en todo y me cuida con sus oraciones.

A todos mis amigos de la infancia que me han brindado su apoyo moral incondicional.

A mis compañeros y amigos de la universidad por todas las cosas buenas y malas que hemos pasado juntos por el apoyo que me han brindado en mis estudios.

A mis cuñadas Karina, Lucía y a mi cuñado Juan, gracias por todo el apoyo incondicional que me han brindado

A mis primos, sobrinos y demás amigos que de una u otra manera me han ayudado y apoyado a que se cumplan mis metas.

Al profesor y amigo que me ha ayudado en todos mis problemas de la universidad y la vida diaria muchas gracias Ing. Jhon Atiencia.

A la Universidad del Azuay, por toda la enseñanza que impartieron, a todos los profesores de mi carrera. Gracias por todo

A la universidad Agraria de la Habana (Cuba) por permitir que realice mi trabajo de grado y la hospitalidad que nos han brindado.

A mi tutor de la tesina que a más de ser un profesor es mi amigo y que si no fuera por el apoyo brindado de su parte no sería posible este trabajo, gracias Dr. Félix Ponce C.

A TODOS GRACIAS

RESUMEN

Este trabajo consistió en determinar el rendimiento de un bio-digestor como una unidad para procesar residuos de una vaquería en Cuba. Fueron estudiados la producción del biogás como combustible en las actividades diarias de la granja y la dirección de los residuos producidos. El volumen real del bio-digestor fue de 27.44 m³, y la producción de biogás fue de 8.36 m³ diarios. Se constató que la granja requiere 155,13 kw. por día, la energía producida por el bio-digestor cubrió un 45% de la demanda, ahorrando a la granja un consumo eléctrico de 5220 kw.

ABSTRACT

The aim of the present work was to determine the performance of a bio-digester as a processor unit to profit the residues of a cattle farm at Cuba. The production of biogas as a fuel used in daily activities of the farm and the management of wastes produced was studied. The real volume of the bio-digester was 27.44 m³, and the production of biogas was 8.36 m³ per day. Since the farm requires 155,13 kw per day, the energy produced by the bio-digester gave 45% of the demand, saving 5220 kw to the farm electric consume.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Páginas
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Resumen.....	iv
Abstract.....	v
Índice de contenidos.....	vi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	
1.1 Historia del Biogás.....	4
1.2 Definición y composición del biogás.....	6
1.3 El biogás como energía renovable.....	6
1.4 Características del biogás.....	6
1.5 Biología de la producción del biogás.....	7
1.6 Principales factores que afectan la producción del biogás.....	8
1.7 Sustratos para la producción de biogás.....	13
1.8 Compuestos orgánicos para la digestión anaeróbica y la producción de biogás.....	13
1.9 Utilización del biogás.....	15
1.10 Características de una planta de biogás.....	17
1.11 Beneficios de la tecnología del biogás.....	18
1.12 Economía energética.....	19
1.13 Efecto ambiental de la producción de biogás.....	22
1.14 El efluente como fertilizante.....	26
CAPITULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS	
2.1 Materiales.....	28
2.2 Ubicación del biodigestor.....	28
2.3 Caracterización de la vaquería 25.....	28
2.4 Comportamiento de la masa ganadera.....	29

2.5 Metodología para determinar volumen total del biodigestor actualmente construido.....	29
2.6 Metodología para determinar el potencial de producción de biogás de la unidad	31
2.7 Metodología para determinar el consumo de energía eléctrica de la unidad.....	32
2.8 Método para determinar la cantidad de energía para calentar el agua necesaria para la higiene de la unidad.....	32
2.9 Cálculo de la cantidad de biogás requerido que necesita un motor de combustión interna.....	33
2.10 Energía correspondiente al combustible.....	33
2.11 Método de cálculo de los efectos al medio ambiental con la utilización de la energías renovables y alternativas.....	33
2.12 Metodología para determinar la carga contaminante a la atmosfera que se genera en cada tecnología.....	34

CAPITULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Capacidad real del biodigestor construido actualmente.....	35
3.2 Potencial de producción de biogás y capacidad que debe tener el biodigestor para procesar las excretas.....	36
3.3 Energía fósil que demanda la unidad 25.....	38
- Calentamiento de agua.....	40
- La iluminación de la unidad y la casa del vaquero.....	41
- Motor de ordeño.....	41
- Sistema de enfriamiento de la leche.....	42
- Accionar la turbina de agua.....	42
- La cocina de biogás de la casa del vaquero.....	43
3.4 Aporte del biodigestor a la sostenibilidad energética de la unidad 025.....	43
3.5 Aporte del biodigestor a la limpieza de la atmosfera.....	43
3.6 Algunos efectos económicos de la producción y el empleo del biogás.....	44
3.7 Aporte a la independencia de los insumos externos de la unidad.....	45
CONCLUSIONES.....	46
RECOMENDACIONES.....	47

BIBLIOGRAFÍA	48
ANEXOS	
- Anexo 1: Fotos.....	53
- anexo 2: Gastos de construcción de la planta de biogás.....	54

Bustamante Castro Henry Neptalí

Trabajo de Graduación

Ing. John Atiencia Mestanza

Mayo del 2009

ESTIMACIÓN DEL APORTE DE UN BIODIGESTOR A LA SOSTENIBILIDAD DE UNA FINCA GANADERA

INTRODUCCIÓN

Según Savickas y Klementavicius (2004) se conoce que casi tres mil millones de personas en el mundo emplean todavía la leña como fuente de energía para calentar agua y cocinar, lo que provoca, junto a otros efectos, que anualmente se pierdan en el mundo entre 16 a 20 millones de hectáreas de bosques tropicales y zonas arboladas. En respuesta a esta situación surgen varias alternativas para llevar a cabo la cocción de alimentos, que tienen bajo impacto ambiental, como es el caso del biogás producido a partir de los residuales orgánicos que generan todas las poblaciones de animales y personas, así como todos los restos orgánicos de industrias y agricultura.

En la actividad agropecuaria se genera una abundante biomasa (residuos de cosechas, excretas de animales, residuales de viviendas y establos, etc.) las cuales se pueden emplear en la producción de energía en forma de biogás y además, ya existen las tecnologías para utilizar dicha energía eficientemente en diferentes necesidades del productor: Cocinar, calentar agua, para motores de combustión interna empleados para el bombeo de agua, generación de electricidad, y en otras muchas variantes que genera este combustible.

Las poblaciones de ganado mayor, como los bovinos estabulados para la producción de leche y carne, demandan muchos insumos externos (Electricidad, agua, combustibles para transporte y producción de biomasa vegetal para heno y forraje, etc.), pero también producen o generan una abundante cantidad de desechos, tales como: excretas, orín, restos de piensos y forrajes y otros, que pueden ser utilizados en la producción de energía a partir de la biodigestión de estos desechos.

En la búsqueda de soluciones para la sustitución de energías convencionales en las vaquerías y microfincas lecheras, reviste gran interés la producción de biogás a partir de los procesos de fermentación anaerobia, por dos razones fundamentales: La introducción de esta tecnología no solo resuelve la sustitución de portadores energéticos para la cocción de los alimentos y el alumbrado de los vaqueros que residen en la instalación, sino que también armoniza con los programas y estrategias para evitar la contaminación del medio ambiente.

Se obtiene además de energía barata, una serie de productos como biofertilizantes y nutrientes proteicos, a partir de los lodos residuales a bajo costo, que pueden ser utilizados en la propia instalación y de esta manera fomentar la Agricultura Orgánica.

Por todo lo mencionado anteriormente, nos proponemos determinar el aporte energético y la utilización de dicha energía obtenida en la producción de biogás a partir de las excretas y su posible uso en la sustitución de portadores energéticos no renovables para aumentar la sostenibilidad de la unidad lechera 25 de la Finca Guayabal.

EL PROBLEMA:

¿Cuál es el aporte a la sostenibilidad económica, energética, ecológica y social de un biodigestor en una finca ganadera?

HIPOTESIS:

Con la determinación del potencial energético y de los residuales procesados por un biodigestor en la unidad 25 de la Finca Ganadera el Guayabal, y su uso en sustitución de portadores no renovables empleados en esta, es posible determinar la magnitud del aporte de la tecnología a la sostenibilidad de dicha Finca.

OBJETIVO GENERAL

- Determinar la capacidad del biodigestor y el potencial de los residuales de la unidad 25 de la Finca Guayabal, así como el aprovechamiento del biogás generado en sustitución de las demandas de energía no renovable y los efluentes aportados a la fertilización orgánica en dicha unidad.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Calcular el potencial de los residuales y la capacidad del biodigestor para la producción de energía a partir de las excretas de bovinos.
- Determinar los costos energéticos de los insumos no renovables empleados actualmente para el servicio de la unidad 25 en la Finca Guayabal, así como las propuestas de sustitución de estos por la producción del biodigestor.
- Evaluar algunos elementos del efecto económico, ecológico y social por el uso del biodigestor en la unidad lechera n° 25 de la Finca Guayabal.

CAPITULO1 FUNDAMENTACIÒN TEÒRICA

1.1. Historia del Biogás

Desde 1667 se conoce la existencia del gas metano, llamándose desde un principio “gas de los pantanos”, pues este se produce en forma natural en zonas húmedas (Wolverton *et al.*, 1975).

En 1808 Humphry Davy produce gas metano (principal componente del Biogás) en un laboratorio. Se toma este acontecimiento como el inicio de la investigación en biogás. Desde esos días hasta la actualidad mucho se ha avanzado sobre el tema y, actualmente, se cuenta con instalaciones que van desde la pequeña escala doméstica hasta las aplicaciones agroindustriales.

Alrededor de 1861 se divulgó por Luís Pasteur que la formación del biogás estaba asociada a la formación de bacterias anaerobias (Rodríguez J *et al.*, 1995)

Según Pedraza G. *et al* (1995), en las primeras décadas del siglo pasado, en varias ciudades de Europa, Asia y Estados Unidos, se instalaron plantas de biogás de aguas negras, en donde los sedimentos del alcantarillado eran sometidos al proceso de digestión anaerobia y el gas producido fue utilizado para el alumbrado público; esto se generalizó con más intensidad a partir de 1920.

Durante la Segunda Guerra Mundial, en Francia y Alemania, se construyeron grandes fábricas productoras de biogás que se emplearon para abastecer de energía gaseosa a tractores y vehículos. Es de señalar que en el decenio de 1950 a 1959 la mayoría de las plantas de biogás dejaron de funcionar al desarrollarse el uso de los combustibles fósiles por la comodidad, simplicidad y los bajos costos que significaban

China es el país que ha llevado a la práctica el uso del Biogás en mayor escala. Existen allí más de siete millones de digestores rurales en funcionamiento.

Estos proveen gas para cubrir necesidades de cocción iluminación, a la vez que se van recuperando suelos degradados a través de siglos de cultivos

La India experimenta desde 1939 con diversos sistemas para aplicar en climas fríos o cálidos, y actualmente, 500 000 familias utilizan plantas de biogás para producir energía como sustituto del combustible doméstico así como para obtener un fertilizante económico (Adams R. 1997).

En América Latina, también se ha utilizado esta fuente energética. Guatemala fue el primer país en desarrollar esta tecnología utilizando desechos de animales y vegetales; y es en 1954 en que reporta la construcción de sus primeras plantas de biogás. Posteriormente, México, desarrolló esta tecnología construyendo plantas de biogás para uso doméstico de muy bajo costo y tecnología rudimentaria. (CIPAV – CENDI. 2005)

A partir de la década de los años 70 del siglo pasado, se comenzó de nuevo a tomar interés por la aplicación de fuentes renovables de energía. En este sentido se comenzaron a desarrollar diferentes sistemas de digestores para tratar las aguas residuales industriales, de planes pecuarios y aguas negras con mayor eficiencia y pequeños volúmenes de digestor, denominados “Sistemas de Segunda Generación”. Es de señalar además, la importancia que le han dado ha esta fuente energética diferentes organizaciones regionales y de ámbito mundial, las cuales desarrollan proyectos para lograr una mayor generalización de la misma. (López, M. 2000).

Cuba está entre los países latinoamericanos de mayor potencial bioenergético aprovechable de residuales agropecuarios. Aquí, se han desarrollado experiencias con plantas para tratamiento anaerobio a nivel de vaquería principalmente con digestores hindúes y a escala industrial con aprovechamiento del biogás, combinándolo con el saneamiento ambiental, la producción de biofertilizantes, la producción de alimentos y el bienestar de la población rural. (Cairo, P y G. Quintero. 1980).

1.2. Definición y composición del Biogás

Atendiendo al nombre, se puede englobar dentro del término biogás a cualquier gas obtenido a partir de materia orgánica o a través de algún proceso de carácter biológico; sin embargo, generalmente el término biogás se reserva para el gas de origen orgánico obtenido por digestión anaerobia. Se trata de una mezcla de gases que aparecen en diferente concentración según sea la materia orgánica a partir de la cual se obtenga el biogás y el modo en el que se ha llevado a cabo la digestión anaerobia. Por dar unos rangos de valores se puede decir que: Arribas, M. (2006), plantea que el biogás es una mezcla gaseosa de metano (50% a 70%) y de dióxido de carbono (30% a 50%) con pequeñas proporciones de otros componentes (N_2 , O_2 , H_2 , SH_2).

1.3. El biogás como energía renovable

Energía renovable, también llamada energía alternativa o blanda, este término engloba una serie de fuentes energéticas que en teoría no se agotarían con el paso del tiempo. Estas fuentes serían una alternativa a otras tradicionales y producirían un impacto ambiental mínimo (Adams, 1997).

1.4 Características del biogás (Adams, 1997).

- Densidad-----1,09 Kg./m³
- Solubilidad en agua-----baja
- Presión crítica-----673,1 Pa.
- Temperatura crítica-----82,5 °C
- Poder calorífico-----4700-5500 Kcal.
- Es altamente antidetonante, con un índice entre 115-125 octano
- A temperatura ambiente, permanece en forma de gas a presiones del orden de 200 kgf/cm²
- La velocidad de propagación de la llama no llega a 50 cm/seg.
- Contenido máximo para el encendido del biogás-----20,9-29,12%
- Contenido mínimo para el encendido del biogás-----6,99-9,52%
- Es barato
- Es inodoro

- Arde con una llama azul libre de humo
- Su combustión no molesta a los usuarios
- Posee un límite de inflamabilidad en el aire entre 6-12% por volumen
- Tiene una densidad menor en un 20% que la densidad del aire

1.5. Biología de la producción de biogás

- Digestión anaerobia

Los productos obtenidos en la digestión anaerobia no son más que el resultado de la actividad de una serie de bacterias que para obtener la energía y las sustancias químicas que necesitan para vivir transforman unos productos en otros (Steel, R. G. D. y J. H. Torrie., 1960).

Se pueden diferenciar cuatro grupos de bacterias asociados a las diferentes fases del proceso y sus poblaciones han de mantenerse en un delicado equilibrio:

- Bacterias hidrolíticas

Estas bacterias son las responsables de la primera degradación de la materia orgánica. Lo que hacen es descomponer los polímeros orgánicos complejos dando lugar a moléculas más sencillas. Es importantísima la presencia de agua en esta fase, puesto que es imprescindible para que tenga lugar la hidrólisis. Tal es así que buena parte de los microorganismos sólo actúan sobre materia orgánica en disolución (Zapata A., 2007).

- Bacterias ácido génicas

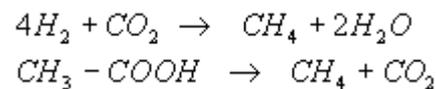
Estas bacterias degradan hidratos de carbono, lípidos y proteínas produciendo ácidos grasos volátiles (AGV), H_2 , NH_3 y CO_2 . Son anaerobias facultativas y se desarrollan fortuitamente o bien pertenecen a la flora específica del vertido.

- Bacterias acetogénicas

Estas bacterias aprovechan los AGV producidos por los microorganismos acidogénicos para formar ácido acético, además de dióxido de carbono e hidrógeno. La única exigencia que presentan estas bacterias para desarrollarse adecuadamente es que haya en el medio, otros microorganismos que consuman el hidrógeno que se forma. Un exceso de hidrógeno actuará como inhibidor de su desarrollo (Polprasert, Ch. 1989).

- Bacterias metanogénicas

Según Polprasert, 1989, las bacterias metanogénicas son las menos conocidas de todas. Son estrictamente anaerobias y para su desarrollo necesitan un potencial de oxidación-reducción muy bajo, e incluso así su desarrollo es muy lento. Las dos reacciones que realizan estas bacterias y que conducen a la formación de metano son:



En el medio también pueden existir otras bacterias anaerobias estrictas, como las sulfobacterias, que compitan con las bacterias metanogénicas en la utilización del hidrógeno y el ácido acético.

Así pues, se hace necesario un estricto control sobre estos microorganismos para que estén presentes en las cantidades que optimicen el proceso, tanto en lo que respecta al tiempo necesario para que tenga lugar, como la cantidad de metano producida. Dada la dificultad de crecimiento de las bacterias metanogénicas, cuando sea posible, además de introducir un inóculo inicial (fangos de digestores anaerobios) para aportar la flora bacteriana adecuada, se forzará que la digestión tenga lugar en las condiciones más favorables para el desarrollo de las mismas (Armas, 2006).

1.6. Principales factores que afectan la producción de biogás

La actividad metabólica involucrada en el proceso metanogénico se ve afectada por diversos factores. Debido a que cada grupo de bacterias que intervienen en las

distintas etapas del proceso responde en forma diferencial a esos cambios, no es posible dar valores cualitativos sobre el grado que afecta cada uno de ellos a la producción de gas en forma precisa (Lengericher H, 2000).

Entre los factores más importantes a tenerse en cuenta se desarrollarán los siguientes: el tipo de sustrato (nutrientes disponibles); la temperatura del sustrato; la carga volumétrica; el tiempo de retención hidráulico; el nivel de acidez (pH); la relación Carbono/Nitrógeno; la concentración del sustrato; el agregado de inoculantes; el grado de mezclado; y la presencia de compuestos inhibidores del proceso (Barrera, P., 1993).

Cuando se tratan residuos ganaderos, agroalimentarios, sí que se puede establecer (con un cierto costo) en qué condiciones se quiere que tenga lugar la digestión. Por ello, se impondrán aquellas condiciones en las que la producción de metano sea mayor, puesto que esto supondrá un mayor beneficio energético y por lo tanto económico.

Los factores fundamentales a considerar son:

- Acidez del medio (pH)

Según Mandujano y Martínez (1983), la acidez es uno de los parámetros de control más habituales debido a que los microorganismos metanogénicos presentan una gran sensibilidad a las variaciones del mismo. Si el valor del pH se mantiene entre 6,8 y 7,4 se consigue un buen rendimiento de degradación y una elevada concentración de metano en el biogás. Pequeñas variaciones también implican eficacia en el proceso. Si el pH es inferior a 6,2 la actividad de las bacterias metanogénicas se ve inhibida y por de bajo de 4,5 la inhibición también afecta a las acidogénicas. Para valores superiores a 8,5 los efectos son similares.

- Temperatura

La digestión anaerobia puede tener lugar para un amplio rango de temperaturas, pero dentro de él se distinguen unas zonas claramente diferenciadas que corresponden a las temperaturas de funcionamiento óptimo de tres grupos diferentes de bacterias: las psicrófilas ($T < 20^{\circ}\text{C}$), las mesófilas ($20^{\circ} < T < 45^{\circ}$) y las

termófilas ($50^{\circ} < T < 60^{\circ}$). La producción de gas es máxima en el rango termofílico, pero el mantenimiento del sistema a estas temperaturas consume más energía que la que puede proporcionar el gas producido. Además las bacterias termófilas son mucho más sensibles a las variaciones térmicas que las mesófilas, lo que implica la necesidad de un mayor control del sistema, actividad muy costosa. Esto hace que como norma general se trabaje en el rango mesófilo. Alrededor de 35-36 °C se tienen las mejores condiciones de crecimiento de las bacterias y velocidad de producción de metano.

- Contenido en sólidos

Es igualmente un factor determinante. Si la alimentación está muy diluida, las bacterias no tienen suficiente alimento para vivir; mientras que un exceso en sólidos disminuye la movilidad de los microorganismos y por consiguiente la efectividad del proceso, ya que les impide acceder al alimento. Como norma general el contenido en sólidos suele ser inferior al 10% (ya comentamos al hablar de las materias primas que estas solían estar constituidas por biomasa con un elevado contenido en humedad).

- Alcalinidad

La alcalinidad da una medida de la capacidad amortiguadora (tampón) que posee un digestor ante posibles cambios del pH del efluente a tratar, y ya se ha visto la importancia de que el pH se mantuviese más o menos constante dentro de un rango de valores. Esta alcalinidad va a determinar el que se puedan tratar o no residuos que no sean neutros. El principal tampón lo constituye el sistema dióxido de carbono/bicarbonato. El CO_2 que se forma en el propio proceso al descomponerse la materia orgánica reacciona con el amoníaco procedente de la desaminación de compuestos nitrogenados y con los cationes metálicos presentes en el medio, formando carbonatos y bicarbonatos.

Se consideran valores adecuados concentraciones de CO_3Ca comprendidas entre 2500 y 5000 mg/l. Por contra, concentraciones inferiores a 1000 mg/l resultan insuficientes y no garantizan la estabilidad del digestor ante una posible acumulación de ácidos (Biblioteca Red solar, 2006)

- Acidez volátil

La actividad de los microorganismos metanogénicos es óptima para bajas concentraciones de ácidos volátiles, por ello es necesario que la formación de metano tenga lugar a la misma velocidad que la formación de los AGV. Si no es así se producirá una acumulación de éstos que actuará como inhibidora del metabolismo anaerobio. El control se lleva a cabo principalmente sobre el ácido acético pues es el principal sustrato para la formación de metano. Los resultados científicos de carácter cuantitativo obtenidos en este sentido no son uniformes.

- Nutrientes

Para que se produzca el crecimiento y la actividad microbiana, es necesario un aporte de nutrientes a las células. Éstas han de tener disponible en el sustrato carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y algunas sales minerales. Las pequeñas concentraciones de sodio, potasio, calcio, molibdeno o hierro favorecen la descomposición del sustrato y la formación de metano.

Una de las ventajas que presenta el proceso anaerobio frente a la degradación de la materia por mecanismos aerobios reside precisamente en los nutrientes, puesto que para un mismo nivel de degradación el proceso anaerobio requiere menos de la mitad de nutrientes (Werner, U., 1989).

- Tóxicos o inhibidores

Además, de los posibles efectos inhibidores debidos a una descompensación del equilibrio de fuerzas que debe establecerse ente las diferentes fases de la digestión anaerobia (ejemplo: exceso de AGV), existen una serie de sustancias que bloquean igualmente el proceso y que se pueden considerar como tóxicos. En primer lugar cabe destacar el oxígeno debido a que algunas fases como la metanogénesis las llevan a cabo bacterias estrictamente anaerobias. Sin embargo, el efecto inhibidor del oxígeno no es permanente, ya que en la flora bacteriana existen también microorganismos facultativos que irán consumiendo el oxígeno que pueda tener el medio. Si la biomasa a degradar es muy rica en nitrógeno se producirá un exceso de amoníaco que inhibirá el proceso. Otro tóxico son los

metales pesados que afectan en concreto a los microorganismos metanogénicos y que se pueden eliminar en forma de sulfuros metálicos insolubles si en el medio tenemos sulfuro de hidrógeno. Pero hay que tener en cuenta que los sulfuros resultan tóxicos igualmente (Rodríguez, J., 1994).

Al hablar de los nutrientes se ha dicho que las sales minerales favorecían la digestión, e incluso se ha indicado qué metales resultaban especialmente beneficiosos. Sin embargo, estos propios metales en concentraciones elevadas pueden tener el efecto contrario y detener el proceso anaerobio, especialmente los alcalinos y alcalinotérreos.

Según John (2006), existe una gran cantidad de sustancias que pueden inhibir la digestión, siempre y cuando sus concentraciones superen ciertos valores límite. Tampoco existe unanimidad en cuanto a dichos valores puesto que puede haber poblaciones bacterianas aclimatadas a la presencia de determinados tóxicos y que por lo tanto pueden desarrollar su actividad para concentraciones de los mismos superiores a las teóricas

- Densidad de carga

Para Osei-Safo, C. (2003) la densidad de carga mide la cantidad de materia orgánica por unidad de volumen que se introduce diariamente en el digestor. Al introducir demasiada materia orgánica se puede ocasionar un exceso de AGV, que ya se ha visto que inhibía el proceso.

- Tiempos de retención

Se consideran dos tiempos de retención:

- *Tiempo hidráulico de retención (THR)*: mide el tiempo que permanece el agua residual en el digestor y se define como:

$$THR = \frac{\text{Volumen digestor}}{\text{Volumen de efluente / día}} \quad (1.1)$$

- *Tiempo de retención de sólidos (TRS)*: mide la permanencia de biomasa en el digestor y se define como:

$$TRS = \frac{\text{Sólidos en suspensión en el digestor}}{\text{Sólidos en el efluente / día}} \quad (1.2)$$

1.7. Sustratos para la producción de biogás

El sustrato es el material de partida en la producción de biogás. En principio, todos los materiales orgánicos pueden fermentar o ser digeridos. Sin embargo, sólo algunos pueden ser utilizados como sustratos en plantas de producción de biogás sencillas. Cuando se llena una planta de biogás, el excremento sólido debe diluirse con aproximadamente la misma cantidad de líquido, en lo posible orina. La máxima producción de gas que se puede conseguir a partir de una cantidad dada de materia prima depende del sustrato que se utilice. (Guardado Chacón, 2006)

1.8. Compuestos orgánicos más convenientes para la digestión anaeróbica y la producción de biogás

- Desperdicios de animales incluyendo paja, desperdicios de comida y estiércol
- Desperdicios de cosechas: bagazo, hierbajos, rastrojo, paja y forraje podrido
- Desperdicios de matadero, residuos de animales tales como la sangre, carne, desperdicios de pesca, cuero y desperdicios de lana
- Residuos industriales que tienen base agrícola tales como aceite endurecido, desperdicios de frutas y vegetales procesados, bagazo y residuos de centrales azucareros, aserrín, residuos y semillas de tabaco, afrecho de arroz, residuos de té y polvo de algodón de las industrias textiles
- Humus de bosques
- Desperdicios de cosechas acuáticas tales como algas marinas y jacintos acuáticos Independientemente del tipo de cosecha que se considere, desperdicios en formas de hojas, tallos, cáscaras y cascarones de frutas o raíces, serán siempre productos de la agricultura y serán una fuente apropiada de biogás al ser procesados anaeróbicamente. Desperdicios humanos y aguas cloacales son tan valiosas como los desperdicios de animales, los cuales generalmente se “desperdician” al usarse como abono. Los residuos de plantas procesadoras y empacadoras de alimentos, ya sean vegetales o animales, también pueden ser convertidos en biogás, inclusive desperdicios sólidos, propiamente separados y colocados en vertederos sanitarios, se convierten en fuentes duraderas y útiles de biogás
- Materia prima de naturaleza variada da mejores resultados que materia prima de una sola fuente. (FAO., 1983).

Las tablas 1, 2 y 3 muestran los rendimientos, características y relaciones que tienen las materias primas en la digestión.

Tabla 1. Rendimientos de materia prima de digestión

Estiércol de	t/año/500Kg/PV	MS (%)
Bovino ceba	9,5	20
Vaca lechera	13,4	21
Ovino	6,7	35
Cerdo	17	25
Caballo	8,9	40
Ave	5	46

Fuente: (Werner, E. 1983).

Tabla 2. Características de algunas materias primas

Tipo de material	% C	% N	C/N	m³biogás por ton.ms	% CH₄
Estiércol bovino	7,3	0,29	25	250-280	50-60
Estiércol porcino	7,3	0,60	13	550-590	-
Estiércol equino	10,0	0,42	24	200-300	-
Estiércol ovino	16,0	0,55	29	-	-
Estiércol humano	2,5	0,85	3	-	-
Paja de cereales	46,0	0,53	87	300-350	55-60
Hojas de árboles	41,0	1,00	41	200-300	55-60
Residuos de aguas negras	-	-	-	600-650	50

Fuente: (Werner, E. 1983).

Tabla 3. Dependencia entre rendimiento y la composición del biogás con la naturaleza del material digerido

Fuente: (Werner, E. 1983).

Residuo	Producción biogás L/Kg.	Metano %	Potencia calórica (kJ/m³)
Estiércol vacuno	342	76	72,086
Estiércol de cerdo	415	81	28,992
Paja de trigo	367	79	28,190
Hierba	557	84	30,297
Hojas remolacha	501	85	30,397
Tallos de maíz	514	83	29,895

1.9. Utilización del biogás

La historia de la utilización del biogás muestra desarrollos independientes en varios países desarrollados e industrializados.

Normalmente, el biogás producido por un biodigestor puede utilizarse directamente como cualquier otro gas combustible. Sin embargo, es posible que su utilización requiera a veces procesos que, por ejemplo, reduzcan el contenido de sulfuro de hidrógeno. Cuando el biogás se mezcla con aire en una proporción 1 a 20, se forma una mezcla altamente explosiva. Por lo tanto, las pérdidas de las cañerías en espacios cerrados constituyen un peligro potencial. (Díaz Untoria, J. A., 2000)

- Cocinado

Existen varios quemadores de biogás, los cuales son sencillos y pueden hacerse localmente. Los quemadores son de arcilla y a veces de metal, según los materiales de que se dispongan. Existen productores de equipos domésticos que se han especializado en el diseño y construcción de cocinas para biogás.

Las partes básicas de un quemador son: una boquilla, una entrada de aire y una cámara de mezcla. Las cocinas que normalmente se ofertan de butano-propano pueden utilizarse, pero es necesario adaptar el diámetro de la boquilla y regular la entrada de aire para la mezcla del biogás.



Figura 1: Instalación de una cocina de biogás.

En la tabla 4 se indica el consumo de biogás y el tiempo por actividad, mientras que en la Tabla 5 se expone la necesidad de biogás según su destino, de forma aproximada.

Tabla 4. Consumo de Biogás por actividad

Producto	Tiempo (minutos)	Consumo (litros)
1 libra de arroz	30-50	150-200
1 libra de frijol	85-150	400-600
1 libra de maíz	50-70	268-270
1 libra de masa para tortillas	25-40	230-370
1 libra de carne	70-100	350-450
4 huevos fritos (revueltos)	5-7	25-35
1 litro de café	30-35	120-130
9 huevos duros	14	85-123
4 plátanos fritos	38	195

Tabla 5. Necesidad de biogás según su destino

Comedores obreros de:	50 comensales	18 m ³
	150 comensales	53 m ³
	300 comensales	105 m ³
	3 habitantes	1.5 m ³
Viviendas campesinas de:	6 habitantes	3 m ³
	12 habitantes	6 m ³
	18 habitantes	9 m ³

- Biogás como combustible automotor y para generación de electricidad

El biogás puede ser utilizado como combustible para motores diesel y a gasolina. En el caso de los motores diesel, el biogás puede reemplazar hasta el 80% del acpm (la baja capacidad de ignición del biogás no permite reemplazar la totalidad del acpm en este tipo de motores que carecen de bujía para la combustión). Aunque en los motores a gasolina el biogás puede reemplazar la totalidad de la misma, en general, en los proyectos a nivel agropecuario se le ha dado preferencia a los motores diesel considerando que se trata de un motor más resistente y que se encuentra con mayor frecuencia en el medio rural. (Álvarez, E. y Martínez, C, 2005)

1.10. Características de una planta de biogás

Según Sánchez E., (2001), las plantas de biogás son las encargadas de almacenar las excretas u otras fuentes con sus respectivas proporciones de agua para que sean biodigeridas en forma natural para la formación de biogás.

Partes componentes de una planta de biogás

- Digestor
- Gasómetro
- Pozo de mezclado
- Conductores de gas

Digestor: Es el recipiente en que ocurre la transformación de biomasa en biogás y residuos digeridos. Existen varios tipos de digestores:

1. De alta productividad
2. De régimen continuo
3. De régimen discontinuo
4. De tipo hindú
5. De tipo chino
6. Horizontal

Gasómetro: Es el encargado de almacenar el biogás y darle presión al mismo para ser utilizado.

Pozo de mezclado: Es el lugar donde es mezclado el estiércol con el agua.

Conductores de gas: Son los encargados de transportar el agua desde el digestor hasta el gasómetro y de estos a los consumidores.

Según Lugones, B. (2006), las características de una planta de biogás para que opere correctamente son las siguientes:

1. No debe tener fuga de gases, ni entrada de aire para eso debe ser hermética.
2. Debe tener buena impermeabilización que evite fuga de residuales al terreno y la parte exterior del digestor debe estar bien compactada.

3. La planta de biogás debe estar a la luz solar la mayor parte del día para que aumente la temperatura.
4. Asegurarse que el material a digerir este libre de tierra o materia extraña.
5. Los materiales a digerir deben mezclarse con agua en proporciones adecuadas y lograr homogeneidad si no se utiliza agua que posea la humedad requerida.
6. Debe estar la materia libre de antibióticos, ácidos o materias extrañas que puedan ocasionar la muerte de la flora bacteriana.
7. Deberán tomarse medidas de seguridad que impidan el desarrollo de accidentes y en caso de ocurrir contar con los medios necesarios.
8. Se deberá contar con un medio para romper las natas que se forman.
9. La distancia mínima a lugares muy calientes o donde haya llama debe ser de 30 m
10. Localizarla cerca al lugar donde se producen los residuos utilizados como materia prima.
11. Evitar las zonas con tráfico continuo de personas o animales.

1.11. Beneficios de la tecnología del biogás

Los sistemas de biogás pueden proveer beneficios a sus usuarios, a la sociedad y al medio ambiente en general (Savickas, J. y Klementavicius, A. 2004):

- Producción de energía (calor, luz, electricidad);
- Transformación de desechos orgánicos en fertilizante de alta calidad;
- Mejoramiento de las condiciones higiénicas a través de la reducción de patógenos, huevos de gusanos y moscas;
- Reducción en la cantidad de trabajo relacionado con la recolección de leña para cocinar (principalmente llevado a cabo por mujeres)
- Ventajas ambientales a través de la protección del suelo, del agua, del aire y la vegetación leñosa, reducción de la deforestación;
- Beneficios micro-económicos a través de la sustitución de energía y fertilizantes, del aumento en los ingresos y del aumento en la producción agrícola-ganadera;
- Beneficios macro-económicos a través de la generación descentralizada de energía, reducción en los costos de importación y protección ambiental.

1.12 ECONOMÍA ENERGÉTICA

La **economía energética** es una subclase de la economía que se centra en sus relaciones con la energía (tecnología) como base de todas las demás relaciones. Es una subclase de la economía ecológica en cuanto asume que la cadena alimentaria en la ecología tiene una analogía directa a la cadena de suministro de energía para las actividades humanas.

Para ser sostenible, el desarrollo ha de ser respetuoso con el medio ambiente. Esta es una condición de partida para la sostenibilidad. En lo cultural el desarrollo sostenible debe ser respetuoso de los valores y las expresiones culturales, en particular su calidad, diversidad y legitimidad. En lo social debe ser respetuoso con los valores sociales sobre los cuales se sustentan. En lo económico toda gestión que aspire a ser sostenible ha de ser económicamente viable, tanto para validarse así misma, como para respaldar también los gastos de variado tipo que hacen posible la propia sostenibilidad. (Santamaría Jorge, 2005). La energía posee estrechos vínculos con la economía, con las cuestiones sociales y por supuesto con el medio ambiente.

Aunque es incuestionable, el potencial de la energía para alcanzar el desarrollo económico y social, también lo es en la repercusión que tiene en la degradación del medio ambiente, ya que la combustión de combustibles fósiles es la mayor fuente antropogénica de gases tóxicos que atenta contra la salud humana, en específico, y en general contra la salud de los ecosistemas. Pérez Gómez Martha (2005)

- Hundimiento de la energía

Lo anterior, por supuesto, es lo opuesto a las tendencias actuales hacia la urbanización. Sólo en China se espera que 900 millones de personas se trasladen del campo a las ciudades en la próxima generación. Joseph Tainter ha estudiado cerca de dos docenas de civilizaciones desaparecidas y, en ningún caso, ninguna de ellas fue capaz de evitar su hundimiento debido al constante incremento del peso de la cima de la pirámide del valor que tensionó la capacidad de resistencia del entorno hasta el punto en que ya no pudo mantener a la población – la ecología llama a esto “dieoff” (en inglés, fallecimiento, extinción). La visión humana de la

situación en el momento que sucedía sería la de un incremento de caos, conflicto y estado de guerra.

"El hecho de que los sistemas de resolución de los problemas parezcan implicar una gran complejidad, mayores costes, y resultados en disminución tiene implicaciones significativas para la sostenibilidad. En su momento, los sistemas que se desarrollaron en esta forma, tuvieron crisis financieras, fallaron en la resolución de problemas, se hundieron, o pasaron a necesitar grandes subsidios de energía. Este ha sido el patrón histórico de casos tales como el Imperio romano, el Imperio Maya, la sociedad chacoán del sudoeste americano, el estado de guerra en la Europa medieval y en la del Renacimiento, y algunos aspectos de soluciones aplicadas a problemas contemporáneos. (Tainter 1988, 1992, 1994b, 1995a)

- Recurso agua

Un número cada vez mayor de seres humanos empieza a cercar las tierras vírgenes que quedan, incluso en áreas consideradas más o menos a salvo de la explotación. La insaciable demanda de energía ha impuesto la necesidad de explotar el gas y el petróleo de las regiones árticas, poniendo en peligro el delicado equilibrio ecológico de los ecosistemas.

El agotamiento de los acuíferos en muchas partes del mundo y la creciente demanda de agua producirá conflictos entre el uso agrícola, industrial y doméstico de ésta. La escasez impondrá restricciones en el uso del agua y aumentará el coste de su consumo. El agua podría convertirse en la crisis energética de comienzos del siglo XXI (Adams, 1997).

Debido al crecimiento de la población humana y otros factores, la disponibilidad del agua potable por persona está disminuyendo. Este problema podría resolverse obteniendo más agua, distribuyéndola mejor o desperdiciándola menos.

El agua es un recurso estratégico para muchos países. Se han peleado muchas guerras, como la Guerra de los seis días en el Medio Oriente, para poder obtener un mejor acceso al agua. Se prevé más problemas de este tipo en el futuro por la creciente población humana, contaminación y calentamiento global.

Según la UNESCO (2003), en su programa mundial para la estimación del agua, indica que en los próximos 20 años, la cantidad de agua disponible para todos decrecerá en un 30%. El 40% de los habitantes del mundo actualmente no tiene la cantidad mínima necesaria para el mínimo aseo. Más de 2,2 millones de personas murieron en el año 2000 por enfermedades relacionadas con el consumo de agua contaminada o por ahogamiento. En el 2004, el programa de caridad enfocado al agua *WaterAid* del Reino Unido informó que un niño muere cada 15 segundos debido a las enfermedades relacionadas con el agua que podrían fácilmente evitarse.

Tabla 6. Criterios de calidad para la destinación del recurso para uso pecuario.

REFERENCIA	SÍMBOLO	VALOR (*)
Aluminio	Al	5,0
Arsénico	As	0,2
Boro	Bo.	5,0
Cadmio	Cd	0,05
Cinc	Zn	25,0
Cobre	Cu	0,5
Cromo	Cr ⁶⁺	1,0
Mercurio	Hg	0,01
Nitratos + Nitritos	N	100,0
Nitrito	N	10,0
Plomo	Pb	0,1
Contenido de Sales	masa total	3.000

(*) Todos los valores están expresados en mg/l, excepto aquellos para los cuales se presentan directamente sus unidades. (Fuente: UNESCO 2003)

El sector agrícola es el mayor consumidor de agua con el 65%, no sólo porque la superficie irrigada en el mundo ha tenido que quintuplicarse sino porque no se cuenta con un sistema de riego eficiente, razón principal que provoca que las pérdidas se tornen monumentales.

- Falta de agua

Mientras que en muchos lugares el agua limpia y fresca se da por hecho, en otros es un recurso escaso debido a la falta de agua o a la contaminación de sus fuentes. Aproximadamente 1.100 millones de personas, es decir, el 18 por ciento de la población mundial, no tienen acceso a fuentes seguras de agua potable, y más de 2.400 millones de personas carecen de saneamiento adecuado.

1.13. Efecto ambiental de la producción de biogás

El petróleo es una fuente energética no renovable y su insensato despilfarro tiene múltiple consecuencia dramáticas para el medio ambiente y la salud: efecto invernadero, lluvias ácidas, contaminación de todo tipo (óxido de nitrógeno y de azufre en las centrales termoeléctricas, plomo, benceno, ozono en el tráfico urbano, etc.) (Baracca Ángelo, 2000).

La obtención de metano a partir de materia orgánica es una actividad cuyo balance medioambiental es netamente positivo. Este beneficio se puede analizar en dos niveles: el asociado al proceso de obtención o captación del biogás y el asociado a la utilización del biogás como combustible.

Los digestores cumplen una función ecológica ideal: reciclar totalmente los desechos a un costo muy bajo, pero como contrapartida (menor por supuesto) emite olores (FAO., 1992).

El uso de la digestión anaerobia en los países con pocos recursos es importante para resolver ambos problemas los ecológicos y económicos (Marchaim, U., 1992). Tanto el Metano como el Dióxido de Carbono, son gases invernadero. Las emisiones de Dióxido de Carbono provenientes del estiércol son el resultado de la descomposición de materia orgánica vegetal y como tales, no contribuyen tanto al calentamiento global general como las emisiones de Dióxido de Carbono que resultan de la quema de combustible fósil. Cuando el Metano es liberado a la atmósfera contribuirá al calentamiento global (Valles, S., *et al* 2002).

Es posible capturar el Metano proveniente del estiércol en instalaciones diseñadas especialmente (instalaciones de biogás) y usando el Metano (biogás) como fuente

de energía. La producción y uso de biogás para la casa, finca o a nivel industrial reducirá la necesidad de uso de combustible fósil y por lo tanto, las emisiones de Dióxido de Carbono provenientes del mismo. (Mandujano, M. I., 1979).

La producción de biogás en condiciones controladas, utilizando tecnologías variadas, presenta factores dentro de los cuales, algunos pueden ser positivos y otros negativos en el impacto al medio ambiente. (Lora D., 2001)

- Factores de impacto Medioambiental Positivo

Según Viñas M., *et al* (1999), en la mayoría de casos el volumen del estiércol es reducido y las emisiones al medio ambiente son reducidas. La producción de biogás reduce la necesidad de combustible fósil, y el mantillo [compost] de estiércol tiene un valor más alto como fertilizante orgánico.

El costo de transporte para llevar el estiércol de las áreas de excedente a donde éste es deficitario, es reducido.

Dentro de las energías convencionales, los sistemas de biogás son de inmediata y segura aplicación a un costo despreciable, además presenta una serie de ventajas como:

- Reducen la peligrosidad y la contaminación de los residuos.
- No producen desequilibrio en la naturaleza.
- Es una fuente alternativa de energía, ecológicamente equilibrada, de bajo costo y de fácil obtención que cubre las necesidades de gas, combustible y alumbrado; además se aprovechan los residuos sólidos y líquidos de los digestores.
- Al procesarse subproductos orgánicos en los digestores se podría evitar la contaminación ambiental.
- El aprovechamiento de los subproductos orgánicos produciendo biogás podría reducir la deforestación y la erosión del suelo.

- Factores de impacto Medioambiental Negativo

La primera consecuencia, y la más obvia, es su ya mencionado olor desagradable, que siempre implica un impacto negativo notable, pero es su alto contenido en metano el que más peligro confiere al biogás, ya que éste entraña dos riesgos:

En primer lugar el biogás es un gas combustible y, por ello, puede dar lugar a incendios. Dado que el gas fluye por vías preferenciales y, con frecuencia, lo son los contactos con el vaso receptor, dichos incendios pueden propagarse a las áreas colindantes con el vertedero. Este hecho se ha producido con cierta frecuencia. Asimismo, el metano forma mezclas explosivas con gases inertes, de las que es un triste ejemplo el grisú de las minas.

Por otra parte, la naturaleza gaseosa y asfixiante del biogás hace que su migración por grietas y bóvedas subterráneas, diaclasas, suelos incoherentes, etc., sea especialmente dañina, tanto para la vegetación perimetral, como para las estructuras o viviendas más o menos próximas al depósito.

Estos problemas conducen a que la eliminación controlada del biogás sea necesaria para que un vertedero merezca ser considerado como realmente controlado y, por esta razón, las diferentes legislaciones han ido exigiendo, cada vez de una manera más estricta, la incorporación de la extracción y tratamiento controlado del biogás a la gestión de los vertederos

La mayoría de formas de procesamiento del estiércol (secado y paletizado, separación de sólidos y líquidos) requieren energía fósil.

- Sistema de captación o aprovechamiento del biogás

Cuando se utiliza la digestión anaerobia para tratar efluentes agroindustriales o aguas residuales, lo que se está llevando a cabo es una depuración. Lo que se consigue es una disminución de la carga contaminante de la materia orgánica que se trata, por lo tanto se reduce el impacto ambiental de la misma. (Fonte A., 2006).

La contaminación orgánica del agua afecta al equilibrio del ecosistema que constituyen los ríos, pero no sólo eso, sino que agua sirve de vehículo para la propagación de esta contaminación, afectando a la fertilidad de los suelos.

El efecto de los residuos agroindustriales es semejante. El vertido incontrolado de los mismos provoca graves problemas de contaminación en los suelos. Pero esta contaminación no queda circunscrita al terreno de vertido, sino que debido a la lixiviación (que consiste en el arrastre por parte del agua de lluvia de las sustancias presentes en el suelo) se propaga a estratos inferiores del propio suelo. Una vez que estas sustancias orgánicas abandonan las capas superiores del suelo, quedan fuera del alcance de las raíces de las plantas y de microorganismos y continúan su movimiento descendente hacia los acuíferos sin sufrir apenas ninguna transformación química o biológica. Es característica, por ejemplo, la contaminación de las aguas subterráneas por nitratos. (López, 1994).

La contaminación también puede afectar directamente a las aguas superficiales. Cuando la contaminación afecta al agua aparece el problema adicional de que ésta actúa como vehículo que transporta la contaminación a lugares alejados del foco inicial. (Ghosh, S. y D. L. Klass., 1976).

También la atmósfera se ve afectada debido a fenómenos de volatilización, por los cuales se emiten sustancias contaminantes, por ejemplo amoníaco, desde el suelo a la atmósfera.

De la digestión anaerobia resultan (además del biogás), unos lodos que contienen una carga orgánica menor a la de los residuos de partida y que son químicamente más estables, como consecuencia de la actividad de los microorganismos sobre ellas. Estos lodos son ricos en nutrientes, por lo que pueden ser utilizados como alimento para animales o como abono orgánico. Pero este uso no puede ser incontrolado, sino que hay que evaluar las cantidades de sustancias químicas que son retiradas con las cosechas y aportar esa misma cantidad. De lo contrario, se producirá una acumulación de las sustancias químicas aportadas en exceso y aparecerán de nuevo los problemas de contaminación.

En los vertederos de RSU también tienen lugar los procesos de lixiviación y vaporización, con efectos semejantes a los anteriormente expuestos. Pero a esto se

añade la presencia del propio metano que se forma en las capas de basura inferiores que están protegidas de la acción del oxígeno. Este metano se libera a la atmósfera y constituye un contaminante más de la misma. Asimismo, a la vez que escapa hacia la atmósfera, el biogás desplaza al oxígeno de la superficie del vertedero. Al no haber oxígeno, no se puede desarrollar vegetación, por lo que toda la extensión ocupada por el vertedero resulta estéril. El que no haya vegetación implica además, que no se produzca a través de ella, la recuperación de los nutrientes presentes en los RSU y así la recuperación del suelo.

Finalmente, el metano causa en los vertederos un problema que no sólo es de carácter ecológico, sino que afecta a la seguridad de los mismos. El biogás que se forma puede acumularse formando bolsas de gas, que bajo efectos de presión pueden desplazarse a largas distancias. La cuestión es que el metano es altamente inflamable y si algunas de estas bolsas entra en contacto con el oxígeno atmosférico, puede provocar grandes explosiones.

Con la captación del biogás del vertedero se retira del mismo el agente que causa los problemas, por lo que estos desaparecen. (Ghosh, S. y D. L. Klass., 1976).

1.14. El efluente como fertilizante

En la digestión anaerobia (DA) el N gaseoso se transforma en amoníaco (NH_3), y diluido en agua esta a disposición de las plantas como nutriente. Un efluente líquido es más rico en N y potasio, mientras que otro más espeso, como el obtenido de paja y pasto fermentado es relativamente más rico en fósforo. Balanceando estas características se puede obtener un buen fertilizante.

La relación de nutrientes sería: N: P₂ O₅: K₂O = 1:0,5:1. Un barro de baja relación C/N tiene mejores propiedades fertilizantes. El análisis de los resultados de la aplicación del efluente como fertilizante no es extrapolable, siendo conveniente basarse en ensayos propios. De todas maneras, datos fiables se pueden obtener después de 3 a 5 años. Con varios años de abono se puede notar un mejoramiento en la estructura del suelo, aumenta la proporción de materia orgánica y le permite almacenar más agua. De ser necesario almacenar el abono habrá que cubrirlo para que el N no se volatilice.

El uso de las fuentes renovables de energía debe tener, en primer lugar, un fin noble y estar basado en una ética altamente humanitaria. Por eso el procesamiento de residuales para acabar con los focos de contaminación y, a la vez, producir biofertilizantes y biogás para la cocción de alimentos o para la producción de electricidad en lugares de difícil accesos, cumple con un noble objetivo social y medioambiental. (Berris Pérez, Luís 2007).

CAPITULO2: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

<u>1.-Materiales de Oficina:</u>	<u>2.- Materiales Físicos:</u>
-Material Bibliográfico	-Biodigertor de la vaquería
-Computador	-Flexómetro
-Calculadora	-Cámara fotográfica
-Datos obtenidos	
-Lápiz	
-Marcadores	
-Hojas A ₄	
-Impresora	

2.2 Ubicación del Biodigestor

El trabajo se realizó en las vaquerías 25 pertenecientes a la Finca Guayabal que cuenta con 42 ha de tierras y está ubicadas a 3 Km. al noroeste de San José de las Lajas en la provincia de La Habana entre los poblados de Jamaica, Cuatro Caminos y Tapaste, al sur de la Autopista Nacional de Cuba, a los 22° 58' de latitud norte y los 82° 09' de longitud oeste. Tiene una temperatura que oscila entre 25° C., con precipitaciones entre 1400 -1600 mm. al año

2.3. Caracterización de la vaquería 25

La vaquería 25 tiene un área total de 42 ha, derivándose un área de 31ha para pastos, 6ha para forrajes y cuenta con 5 Ha de leguminosas arbustivas (Leucaena Sp).

Además de las áreas destinadas al pastoreo y autoconsumo se encuentra una sala de ordeño, la cual cuenta con un cuarto de control donde están situados los motores, bombas y sistemas de mando, un cuarto para el almacenamiento de

leche y pienso. Además cuentan con tres naves de sombra que tienen una capacidad de 30 vacas por nave, también cuenta con un área para la maternidad.

Cuenta con instalaciones para el abastecimiento del agua necesaria para los diferentes consumidores de dicha unidad, así como con toda la red eléctrica relacionada con el alumbrado, el ordeño, para el funcionamiento de la nevera y para la vivienda del vaquero.

2.4. Comportamiento de la masa ganadera

La unidad comienza con 50 animales adultos e irá aumentando el número de vacas y novillas de forma progresiva hasta la cantidad prevista de 100 en total

El manejo de los animales en la unidad de producción es como sigue: Estos son llevados al pastoreo por la mañana (7:00 a.m.) y son recogidos en las horas calurosas del medio día a las 11:00am hasta las 2:30p.m., después los llevan nuevamente a los cuarterones, y regresan a las naves de sombra a las 7:30 p.m. donde permanecen por toda la noche, y es aquí donde se concentra el mayor potencial de excretas para el abastecimiento de la producción del biogás.

2.5 Metodología para determinar volumen total del biodigestor, según cantidad de animales disponible en la unidad 25 de la Finca Guayabal. (Martínez Collado, 2007)

Determinar el potencial de excretas (C_E), en Kg.-día.

$$C_E = m_1 \times E_d$$

Donde: C_E – cantidad de excretas en Kg. /día.

m_1 - cantidad de animales

E_d – excretas diaria por animal en Kg. /día

Cantidad de biomasa para el biodigestor, en kg/día

$$C_B = C_E \times P_{E(H_2O)}$$

Donde C_B – cantidad de biomasa en Kg. /día.

C_E – cantidad de excretas en Kg. /día.

$P_{E(H_2O)}$ – proporción excretas- agua, en los bovinos esta es de 1:1

Volumen diario de biomasa (V_{BM}), en m^3 /día.

Primero se determina la cantidad equivalente de biomasa a partir de la densidad,

V_{d_e} – densidad equivalente de la mezcla de la relación agua/excretas, en m^3 /día.

En el caso de las excretas de las vacas esta relación es **1:1**

Tiempo de retención de la biomasa (TR), en días.

Se estima que un reactor normal a **30°C** el tiempo requerido para biodegradar la materia prima alimentada es de 20 días, tiempo que se puede afectar por las radiaciones de la temperatura ambiental.

Para el funcionamiento del biodigestor durante todo el año, se considera **25°C** como temperatura promedio para todo el año y se emplea, en este caso un coeficiente de temperatura, cuyo valor es de **1,3**

Volumen de digestión de la biomasa (V_{Bd}), en m^3

$$V_{Bd} = C_B \times TR, m^3$$

C_B – volumen de biomasa, en m^3

TR – tiempo de retención, en días (en este caso se consideró 20 días)

Volumen de almacenamiento de gas, m^3

$$V_G = C_E \times R_E, en m^3.$$

Donde: V_G – volumen de almacenamiento del biogás producido, en m^3 .

C_E – cantidad de excretas en kg/días.

R_E – rendimiento de biogás que produce las excretas en m^3 . (en el caso de los bovinos este rendimiento es de 0,036 m^3 /kg).

Volumen total del biodigestor (V_{BD}), en m^3 .

$$V_{BD} = V_D + V_G \text{ en } m^3$$

2.6. Metodología para determinar la capacidad de generación de biogás del biodigestor de la unidad 25 de la finca Guayabal.

a- Formula para determinar el volumen del cuerpo básico del biodigestor.

$$V_{Bd} = A \times h$$

Donde; V_{Bd} es el volumen, en m^3

A - es el área de la base del cilindro (cuerpo del digestor) en m^2

$$A = \pi r^2$$

r – radio del cuerpo cilíndrico del digestor, de la campana y de la cúpula, en m .

h - es el alto del cuerpo del digestor en m

por lo tanto:

$$V_{Bd} = \pi r^2 \times h$$

b- para determinar volumen de almacenamiento del biogás

$$V_{Bg} = A_g \times h_g$$

Donde: V_{Bg} es el volumen de la campana en m^3

A_g es el área de la base de la campana en m^2 .

$$A_g = \pi r_g^2 \times h_g$$

R_g – radio de la campana en m

h_g es el alto de la campana en m .

c – para determinar el volumen de la copa de la campana

$$V_C = \pi r_c^2 \times h_c / 3$$

Donde: V_c – volumen de la cúpula, en m^3

r_c – radio de la base de la cúpula, en m.

h_c – alto de la cúpula, en m.

d- Volumen total del biodigestor (V_{BDt}).

$$V_{BDt} = V_{Bd} + V_{Bg} + V_C \text{ en m}^3$$

2.7. Metodología para determinar el consumo de energía eléctrica de los procesos productivo de la unidad.

e realizó un inventario de los consumidores eléctricos y se determinó el tiempo de trabajo medio de cada categoría de consumidor.

$$E_E = E_{Lamp} + E_{Frio} + E_{Ordeño} + E_{Motor\ agua} + E_{Refrig.} + E_{Hornillas} + E_{Radio} + E_{Ventiladores} + E_{Otras}$$

Donde:

E_E – Energía eléctrica total que consume la unidad

$E_{L=}$ kWh_{Lamparas}. t – Energía eléctrica de las lámparas por el tiempo que están encendidas

E_{Frio} = kWh_{Frio}. t Energía eléctrica que consume el enfriamiento para la conservación de la leche en el tiempo de trabajo

$E_{Ordeño}$ = kWh_{Ordeño}. t consume de energía del sistema de ordeño

$E_{Motor\ agua}$ = kWh_{Motor\ agua}. t consume de energía del motor para extraer el agua

E_{Refrig} = kWh_{Refrig.} t consumo de refrigerador de casa del vaquero

$E_{Hornillas}$ = kW_{Hornilla}. t consumo de hornillas para cocinar

E_{Radio} = kW_{Radio} . t consumo de radio

$E_{Ventilador}$ = kWh_{Ventilador}. t consumo de ventilador.

2.8. Metodología para determinar la cantidad de energía para calentar el agua necesaria para la higiene de la unidad. (Martínez García, 1983)

Para determinar la cantidad energía que se necesita para elevar la temperatura de 200 litros de agua a 80°C, se obtiene por la expresión de Martínez García (1983).

Se plantea, por el mencionado autor, que un litro de agua almacena 979,6 calorías para aumentar su temperatura 1°C.

$$Q = mc (t_f - t_i)$$

Donde: **Q** = cantidad de energía requerida

m = cantidad de masa (kg de H₂O)

c = calor específico – (976,6 cal.)

t_i = temperatura inicial (25°C)

t_f = temperatura final en °C

2.9. Cálculo de la cantidad de biogás requerido que necesita un motor de combustión interna para producir 5 – 8 kw/h. de potencia, para sustituir el motor eléctrico de la nevera y el ordeño.

Se sabe que 1m³ de biogás produce 6 kw/h.

Cálculo de la cantidad de energía necesaria para el funcionamiento de una cocina de 2 hornillas que funcione 5 horas al día cocinando desayuno, almuerzo y comida para 5 personas.

2.10. Energía correspondiente al combustible

Tabla 7. Energía obtenida de la combustión.

Energía de la combustión obtenida de:	Energía en MJ (Mega joules)
Un litro de gasolina	40
Un litro de Diesel	37,8
Un m ³ de biogás	20 - 25

2.11. Método de cálculo de los efectos al medio ambiental con la utilización de energías renovables y alternativas.

El cálculo del impacto ambiental se realizó teniendo en cuenta la utilización del biogás en sustitución de algunos de los consumidores de energía fósil representada en este caso por el consumo de electricidad generada con Diesel y que es tomada del Sistema Nacional de Electricidad (SNE). En la actualidad, la generación de un Kwh. por este sistema demanda el consumo de 212g de combustible fósil (210 g/Kwh.)

Para producir electricidad hacen falta aproximadamente, en la actualidad, año 2008, de 212 a 250g de petróleo por cada Kwh. generado (antes de la Revolución Energética era de hasta 350g por cada Kwh. generado). Casi todas las familias cubanas, desde el año 2006, cocinan con electricidad. Suponiendo que el consumo medio por familia sea de 100 Kw./mes, significa que en el año ha consumido 1200 Kw. y habrá gastado 254,4 Kg. de combustible fósil considerando el consumo mínimo de 212g/Kwh. (Revista Energía y Tú 2000).

- Índices de equivalencia utilizados

- La equivalencia energética de un m³ de biogás es = 0.6 litros de Diesel
- 1m³de biogás = 6 Kwh.
- El sistema nacional de generación eléctrica del país consume 210 gramos de combustible Diesel para producir 1 Kwh.

2.12. Metodología para determinar la carga contaminante a la atmósfera que se genera en cada tecnología. (Mordujóvich M. M. 1986)

Se parte del principio de funcionamiento del Motor de Combustión Interna (MCI), donde al quemarse un Kg. de combustible Diesel cuando la combustión es completa, la atmósfera recibirá el equivalente a

$$G_t = (1 + \alpha I_o) n_c \text{ en Kg. /día emisión de gases quemados}$$

Donde:

G_t– polución contaminante que genera el combustible Diesel quemado para ejecutar la tecnología, en Kg. /día

α - coeficiente de llenado; para el combustible Diesel se consideró 1,4

I_o. cantidad de aire en Kg., necesario para quemar un Kg. de combustible

n_c – cantidad de Kg. de combustible consumido en el período (día, mes, año)

CAPITULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Capacidad real del biodigestor construido actualmente

La unidad lechera 25 de la Finca Guayabal cuenta con un biodigestor de campana tipo Hindú (Foto 1), construido desde el año 2004.

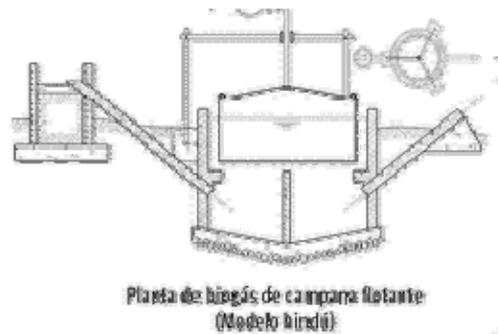


Foto 1: Biodigestor de la vaquería 25 Esquema del biodigestor Fuente: (Werner, E. 1983).

Para realizar el cálculo del biodigestor construido en la unidad 25 se toma en cuenta lo siguiente datos:

- El diámetro del cuerpo del biodigestor es de 3 m.
- El alto del cuerpo del biodigestor es 2,70 m.
- El diámetro de la campana igual a 2,40 m.
- El alto del cuerpo de la campana igual a 1,75 m.
- El alto de la cúpula de la campana igual a 0,30 m.

Tabla 8: Capacidad real del biodigestor construido

NOMBRE	UNIDAD	VOLUMEN
Cuerpo del digestor	m ³	19 m ³
Cuerpo de la campana	m ³	7,91 m ³
Cúpula de la campana	m ³	0,45 m ³
Volumen total		27,44 m³

De acuerdo a los datos reales tomados del biodigestor de la vaquería 25 se sabe el volumen real que tiene ese biodigestor que, en este caso concreto, es **27,44 m³**. Esta información es básica para conocer la cantidad de biogás que puede aportar diariamente, y esto, permite conocer cuánto puede aportar en energía para sustituir la energía generada a través de los combustibles fósiles.

3.2 Potencial de producción de biogás y capacidad que debe tener el biodigestor para procesar las excretas para diferente tiempo de retención.

En este resultado se destaca, en concreto, la capacidad que debe tener el biodigestor para procesar las excretas de la unidad 25 para diferentes cantidades de animales y para diferentes cantidades de días de retención, siguiendo la metodología correspondiente.

Tabla 9: Capacidad del biodigestor para 20 días de tiempo de retención

N° de reses	Horas estabuladas	Cantidad excretas por animal en kg/día	Total de excretas kg/día	volumen Digestor (V_D), en m³	Volumen de almacenamiento del gas. (V_G), en m³	Volumen total biodigestor (V_{BD}), en m³
100	12	8	400	16	14,4	30,4
80	12	8	320	12,8	11,52	24,32
60	12	8	240	9,6	8,64	18,24
50	12	8	200	8,00	7,20	15,20
40	12	8	160	6,40	5,75	12,16
30	12	8	120	4,8	4,32	9,20
20	12	8	80	3,2	2,88	6,08
10	12	8	40	1,60	1,44	3,04

Esta unidad lechera está diseñada para mantener una población de 100 vacas de distintas categorías (adultas y novillas). En las tablas 9, 10 y 11, se registran la cantidad de excretas y de biogás, así como el tamaño que debe tener el biodigestor para el tratamiento de las mismas, considerando poblaciones de 100 a 10 animales y, 20, 30 y 40 días retención (TR).

En la tabla 9, donde se consideró 20 días de retención, la cantidad de excretas que puede asimilar el biodigestor que está construido actualmente, se corresponde con la de 80 animales estabulados la mitad del tiempo, es decir, 12 horas diarias y, produce 11,52 m³ de biogás diario.

En la tabla 10, considerando un tiempo de retención de 30 días, el biodigestor construido actualmente en la unidad 25 de la Finca Guayabal, tiene capacidad para procesar las excretas de 60 animales adultos, ya que el volumen total para procesar las excretas es de 27,44 m³, y los 60 animales generan 23,04 m³ y produce 8,64 m³ de biogás.

Tabla 10: Capacidad del biodigestor para 30 días de retención.

Nº de animales	Horas estabuladas	Cantidad excretas animal en kg/día	Total de excretas en kg/día	volumen digestor (V _D), en m ³	Volumen de almacenamiento del gas. (V _G), en m ³	Volumen total del biodigestor (V _{BD}), en m ³
100	12	8	400	24	14,4	38,4
80	12	8	320	19,2	11,52	30,72
60	12	8	240	14,4	8,64	23,04
50	12	8	200	12	7,20	19,20
40	12	8	160	9,6	5,75	15,35
30	12	8	120	7,2	4,32	11,52
20	12	8	80	4,8	2,88	7,68
10	12	8	40	2,4	1,44	3,84

Si el tiempo de retención (TR), aumenta a 40 días (tabla 11), el biodigestor actual de dicha unidad lechera alcanza para procesar 240 kg de excretas diaria que acumulan 60 vacas, estabuladas el 50 % del tiempo, y produce 8,64 m³ /diario.

La mejor variante, a partir de los resultados anteriores, están registrados en la tabla 9 para 20 días de retención, siendo posible aprovechar las excretas de 80 animales que producen 11,54 m³/día

Para Osei-Safo, C. (2003) la importancia del tiempo de retención está dado porque permite que se procese toda la materia sólida y no se interrumpa el proceso de funcionamiento del biogás, pero en este caso que nos ocupa se tiene en consideración los criterios de Martínez Collado, 2007 el cual estima que un reactor normal a 30°C el tiempo requerido para biodegradar la materia prima alimentada es de 20 días,

Tabla 11: Capacidad del biodigestor con 40 días de retención

Nº de reses	Horas estabuladas	Cantidad excretas animal kg/día	Total de excretas en kg/día	volumen Digestor (V_D), en m^3	Volumen de almacenamiento del gas. (V_G), en m^3	Volumen total del biodigestor (V_{BD}), m^3
100	12	8	400	32	14,4	46,4
80	12	8	320	25,6	11,52	37,12
60	12	8	240	19,2	8,64	27,84
50	12	8	200	16	7,20	23,2
40	12	8	160	12,8	5,75	18,56
30	12	8	120	9,6	4,32	13,92
20	12	8	80	6,4	2,88	9,28
10	12	8	40	3,2	1,44	4,64

La Empresa Genética Ganadera Nazareno, en San José de las Lajas, Provincia Habana, posee 15 unidades lechera con biodigestores que producen 3 m^3 diario a partir de las excretas de bovinos, donde el tiempo de retención es sólo de 15 días, encontrándose ejemplos como el de la unidad lechera 38 de dicha Empresa, que funciona correctamente desde hace más de 10 años.

Considerando el ejemplo anterior, podemos transferir a esta unidad lechera 25 en estudio, que el potencial de la energía a obtener a partir del biogás, se puede aumentar empleando el biodigestor actual con 20 días de retención, y además, cuando la Unidad tenga más de 80 animales, construir un pequeño biodigestor que abastezca la cocina de la familia del vaquero.

3.3. Energía fósil que demanda la unidad 25

En la tabla 12 se observa la cantidad de energía que consume por día la casa donde vive el vaquero y su familia, que es 11,61 Kw. /día. La demanda de energía eléctrica para el servicio de la unidad lechera es de 143,52 Kw. /día y el total es de 155,13 Kw. /día

Tabla 12 Equipos y demanda de energía fósil de la unidad: Datos de electricidad de la Vaquería 25.

Equipo	Potencia (kw.)	Cantidad	Trabajo(h)	Energía kW/día
1	2	3	4	5
Televisor	0,080	1	6	0,48
Refrigerador	0,08	1	24	1,92
Ventilador	0,30	1	14	4,2
Olla arrocera	0,50	1	1.5	0,75
Lámparas	0,02	6	8	0,96
Hornilla	1,10	1	4	3,30
Total casa vaquero.	2,8	11	56,5	11,61
Lámparas	0,25	1	12	3,00
Lámparas	0,06	1	12	0,72
Motor turbina de agua	3,00	1	5	15,00
Sistema. enfriamiento de leche	6,60	1	18	118,8
Equipo de ordeño	3	1	2	6
Total vaquería	12,91	5	49	143,52
TOTAL				155,13

En la columna 6 de la tabla 12, se muestra la equivalencia en biogás de cada equipo consumidor de electricidad (de la casa del vaquero y de la unidad, así como el total). Sin embargo, es necesario aclarar que la equivalencia se hace en términos de la cantidad de energía que demanda en Kw. cada consumidor y comparándolos con el potencial energético del m³ de biogás. Aquí no se toma en cuenta las pérdidas de energía, según la eficiencia del motor generador, lo que se considera

es que un m³ de biogás es equivalente a 6 Kw., y también, a 0,5 Kg. de combustible Diesel.

Según índices de Wobbe, descrito por *Shoemaker and Visser, (2000)*, mencionado por *Sosa R. (2007)*, el poder calórico del biogás es 20 a 30 MJ/m³

- Energía fósil necesaria para el calentamiento del agua para la higiene

Se sabe que la higiene del local es muy indispensable y se debe realizar con agua caliente, ya sea para el lavado de las ubres en el momento del ordeño o para la limpieza de los utensilios que se emplean en el ordeño, también para el lavado de la enfriadora de la leche, y de esta manera poder evitar ciertas enfermedades como la mastitis por ejemplo ya que el agua caliente ayuda a la desinfección de local, por lo que se necesita en grandes cantidades (200 litros) Por esto es indispensable saber cuánta energía se necesita para calentar el agua a 80⁰ C y poder suplir esta necesidad con el uso del biogás

Los resultados demuestran que se necesitan 10775,6 Kcal. (12,53 Kw. /día) para calentar los 200 litros de agua a 80⁰C (ver tabla 13)

Tabla 13: Demanda de energía para calentar el agua para la higiene de la unidad en kcal. /día (kW. /día) y demanda de biogás para sustituir la energía fósil, (m³/día)

Índices	Energía en kcal.	Energía en kw.	Diesel en litros	Biogás en m ³
Consumo diario	10775,6	12,5	2,63	2,08
Consumo mensual	323268	375	78,00	62,5
Consumo anual	3933094	4500	523,88	750

Se consideró, según el Sistema Internacional de Unidades, que un kw. es equivalente a 860 kcal., y además, que la producción de un kw. generado en el sistema eléctrico nacional (SEN), consume un mínimo de 210g/kw. de combustible fósil. Otro índice utilizado es que: un m³ de biogás es equivalente a 6 kW. Si se analiza este indicador, el biodigestor actual de la unidad puede aportar un quinto del gas que genera diario para el calentamiento del agua de higiene de la unidad 25 (ver tabla 13)

- La iluminación de la casa del vaquero y el establo (tabla 14)

La iluminación del establo y la casa del vaquero se pueden realizar con cinco lámparas de biogás, las que con 5m³ pueden alumbrar durante 12 horas sin dificultad (1 m³ de biogás puede hacer funcionar una lámpara durante 12 horas).

Por otra parte, se plantea que un m³ de biogás puede generar de 6 a 6,25 Kw. de electricidad, por lo que por esta vía la demanda de biogás equivale a cerca de un m³/día (Ver tabla 14)

Tabla 14: Iluminación de la casa y del establo:

Índices	Energía en kW.	Diesel en litros	Biogás en m ³
Consumo diario	4,68	0,983	0,85
Consumo mensual	140,4	29,40	23,5
Consumo anual	1684,8	352,8	306

- Para la demanda de electricidad del equipo de ordeño (tabla 15)

El motor eléctrico del ordeño consume 6 Kw. /día, por lo que un m³ de biogás genera esa energía. Cuando el ordeño se realice con un motor de combustión interna 1 m³ de biogás genera un Kw. en dos horas. Esto indica que con dos m³ se puede ordeñar durante 4 horas, lo que es suficiente para cubrir esta necesidad en la unidad lechera. (Ver tabla 15).

Tabla 15: Para el equipo de ordeño

Índice	Energía Elec. (Kw.)	Diesel en litros (L)	Biogás en (m ³)
Consumo diario KW/día	6	0,76	1,09
Consumo mensual Kw./mes	180	22,89	32,7
Consumo anual Kw./año	2160	274,68	392,4

- Para la demanda del sistema de enfriamiento de la leche (Tabla 16)

En la tabla 16, se destaca que el sistema de refrigeración o de conservación de la leche es el que más energía eléctrica demanda diariamente (118,8 Kw. /día). La cantidad de biogás que genera el biodigestor actual (11,0 m³), no alcanza para cubrir el 50 % de la demanda de la energía. Se aprecia en esta información, que aún 100 animales adultos no generan esa cantidad de excretas ya que el máximo que producen son 312 Kg. de excretas que producen el 14,4 m³ de biogás/día.

Tabla 16: Para la refrigeración de la leche

Índices	Electricidad en Kw./día	Diesel en litros L	Biogás en m ³
Consumo diario	118,8	15,12	20
Consumo mensual	3564	453,6	648
Consumo anual	42768	5443,2	7776

El otro método de refrigeración que consiste emplear el calor para enfriar y donde un m³ de biogás puede mantener baja temperatura a una heladera de 2m³ durante 10 horas. Debe profundizarse en los cálculos porque por esta vía el biogás rinde más que convirtiéndolo en electricidad primero para después emplearla energía eléctrica

- Para la demanda de energía eléctrica del motor del agua

Si se atiende a los 15 Kw. que emplea el motor del bombeo de agua de esta unidad lechera trabajando durante 5 horas, se concluye que con 3 m³ de biogás se puede cubrir la demanda energética para dicha actividad (tabla 17).

Tabla 17: Para el motor de turbina del agua

índices	Energía eléctrica Kw.	Diesel en Kg.	Biogás en m ³
Consumo diario	15	1,9	2,72
Consumo mensual	450	57,15	81,6
Consumo anual	5400	685,44	979,2

Una posible alternativa es emplear el biogás en el funcionamiento de un motor de combustión interna de 2 o 3 Kw., y que puede trabajar durante 4 horas con el biogás que produce el biodigestor de la unidad lechera 25 de Guayabal.

- La cocina de biogás de la casa del vaquero

La familia del vaquero se compone de 5 personas, por lo que el índice de consumo de biogás para este tipo de núcleo familiar es de 2m³ de biogás para hacer las tres comidas: el desayuno, el almuerzo y la comida.

3.4. Aporte del biodigestor a la Sostenibilidad Energética de la unidad 25

En la tabla 9 se registra el consumo de energía fósil que diariamente esta unidad lechera demanda para cubrir sus necesidades. En concreto, la unidad consume 155.13 Kw. /día, que equivale a 32,6 Kg. de hidrocarburo fósil.

La presencia del biodigestor funcionando aporta 11.52 m³/día de biogás, que equivalen a 69,12 Kw. /día, y a 14,5 Kg. /día de hidrocarburo fósil que dejarían de contaminar la atmósfera.

De los resultados anteriores se destaca que el biodigestor puede disminuir el consumo de energía fósil en cerca del 45%.

3.5. Aporte del biodigestor a la limpieza de la atmósfera

La importancia de estos resultados, muy conservadores, consiste en que se puede demostrar que la Unidad lechera 25, de la Finca Guayabal, emite 126,7 toneladas anuales de anhídrido carbónico (CO₂), de monóxido de carbono (CO), de óxido de nitrógeno y otros compuestos contaminante de la atmósfera, así como que el aprovechamiento del biogás permite mejorar estos efectos, es decir, disminuir el efecto contaminante en un 45 %, o sea, 56,3 toneladas que se dejarían de emitir por el uso del biogás (tabla 18).

Tabla 18: Energía fósil y contaminación atmosférica

Índices	Energía fósil en Kg./día	Emisión atmósfera diaria	Emisión atmosférica mensual	Emisión atmósfera anual
Energía fósil para producir la electricidad en kg./día	32,6	352	10562	126749
	Energía del biogás , kg./día	Se deja de emitir	Se deja de emitir	Se deja de emitir
Equivalencia del biogás en Kg./día de combustible	14,5	156,6	4698	56376
Total de partícula que se dejan de emitir	45%	156,6 kg./día	4698 kg./mes	56376 kg./año

Otros efectos positivos sobre el medio ambiente consisten en los efluentes descontaminados, ya que disminuyen el riesgo de contaminar el manto freático y además, es un biofertilizante limpio que no contamina ni al suelo ni a la atmósfera.

3.6. Algunos efectos económicos de la producción y el empleo del biogás

El costo del litro de Diesel en los CUPEP, es de 1.00 CUC, por lo que si el biodigestor aporta el equivalente energético de 5,5 CUC diario, 165 CUC mensuales y 1980 CUC anuales.

La unidad consume 4650 Kw. mensuales de electricidad subsidiada y la escala para el pago es como sigue:

Por los primeros 300 Kw. la unidad paga 114 pesos, pero los 4350 Kw. restantes tienen un costo de 5655 pesos, para un acumulado mensual de 5759 pesos. Al año la unidad debe pagar 69 229 pesos por el consumo de electricidad (Ver tabla 19).

Tabla 19: Efectos económicos

Consumo Kw.	Acumulados Kw.	(Tarifa) Escala pesos/Kw.	Valor en pesos mensuales	Pesos anuales.
100	100	0,09	9	
50	150	0,30	15	
50	200	0,40	20	
50	250	0,60	30	
50	300	0,80	40	
acumulados	300		114	
> 300	4350	1,30	5655	
Total	4650		5759	69 229

El productor dejaría de pagar aquellos Kw. que se ahorre por el uso del biogás y el Estado dejaría de subsidiar la misma cantidad que produce.

Con la explotación a plena capacidad del biodigestor actual la unidad se ahorraría 2591 pesos mensuales y 31090 pesos anuales

3.7. Aporte a la independencia de los insumos externos de la unidad

El país vive durante 6 meses bajo los efectos de los huracanes, por lo que el empleo del biogás para el alumbrado, para la cocina del productor, para el motor del ordeño mecánico y el bombeo de agua bajo estas circunstancias, darían una independencia de más del 45 % al desarrollo normal de la producción de la unidad lechera 25 de la Finca Guayabal.

CONCLUSIONES

1. El aprovechamiento del potencial de biogás de la vaquería 25, le aportaría a esta unidad, el 45% de la energía del total del consumo de electricidad, traduciéndose en un ahorro de 5220 kw. al año.
2. El empleo del potencial del biogás en la unidad lechera 25 permitiría dejar de emitir 56,4 toneladas de gases como el CO, el CO₂, componentes del nitrógeno, azufres y otros, a la atmósfera para generar la energía eléctrica.
3. El empleo del biogás permitía ahorrar a la unidad lechera 25, más de 31 000 pesos anuales por el ahorro de energía eléctrica del SEN. (Sistema Eléctrico Nacional).
4. El aporte a la independencia de los insumos externos garantizaría una mejor preparación de la unidad para enfrentar catástrofes como ciclones y otros.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la utilización del biodigestor de la vaquería 025, para aprovechar el potencial energético que se produce a través de la producción de excreta al generar el biogás.
2. Se recomienda dar un mantenimiento periódico al biodigestor, cambiar los tubos de salida del biogás ya que se encuentran en mal estado, cambiarlos preferiblemente por tubos de plástico.
3. En el Ecuador la utilización de energías renovables no está muy difundida, por lo que es recomendable aplicar estas nuevas tecnologías, ya que puede ayudar a reducir la contaminación ambiental, ahorro económico, mejora las condiciones de vida.
4. En nuestro país es posible implementar estas tecnologías en las zonas subtropicales y tropicales del país. En estas zonas los valores de temperatura y humedad favorecerían el proceso de biodegradación de los residuos de las producciones pecuarias. En la región sierra este proceso no se puede desarrollar debido a que la temperatura promedio ideal para la biodegradación es de 20°C, índice que en la sierra no se puede mantener, salvo al mediodía.

BIBLIOGRAFIA

- Adams R. 1997. Agrotecnia de Cuba: Revista del Ministerio de la Agricultura, Ciudad de la Habana, Vol. 27, No 1, enero-abril
- Álvarez Torres, Enrique y Martínez Bernabé, Cecilia 2005. El Biogás como fuente alternativa de energía. Pág. 26-27; 30
- Armas, L. 2008. Aspectos importantes del biogás. Disponible en:
- Arribas M. Energías alternativas de origen microbiano: El Biogás. (II-29). Madrid.España.Disponibleen:www2.cbm.uam.es/jlsanz/Docencia/Resumenes%20G-II/II-29%20Biogas.doc
- Baracca Ángelo 2000. La insostenibilidad del petróleo. Revista Energía y Tú. (12) ISSN 1028 9925, p: 25 -28
- Barrera, P. 1993: "Biodigestores: energía, fertilidad e saneamiento para a zona rural", Sao Paulo: Icone Editora, Brasil.
- Berris Pérez, Luís 2007. La energética sustentable en el siglo XXI. Revista Energía y Tú (37), ISSN 1028 9925.p 36- 40.
- Biblioteca Red Solar. Revista Cuba Solar. Agroindustria Azucarera. Cuba. Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/programa/agroindustria.htm>
- Cairo, P; G. Quintero. 1980. "Suelos", Editorial "Pueblo y Educación", Ciudad Habana, 1980.
- Chao R.; Sosa R.; Del Río J.; Y Pérez A. Impacto social por la utilización del biogás en un semi-internado de primaria. Instituto de Investigaciones Porcinas La Habana, Cuba. Disponible en: <http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/viencuent/indvienc.htm>
- CIPAV – CENDI. 2005. Descontaminación productiva de aguas utilizadas en labores domésticas y en sistemas de producción en zonas de montaña. En: Sistemas Pecuarios Sostenibles para las Montañas Tropicales. Cali, Colombia.
- Cowley, I. D. Y D. A. J. Wase. 1981. Anaerobic digestion of farm wastes A review-part 1. Process Biochemistry. Chem ADV-Chem. Serv. 115 (70): 35-40

- Díaz Untoria, J. A., 2000: “Posibilidades de utilización de energías renovables en la rama pecuaria”, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. Vol. 9, No 1, 53-56p.
- Ejemplo De La Revista Energía Y Tú 2000. Página 42, adaptado a la actualidad.
- FAO: “Biogas processes for sustainable development”, Roma, 1992. “El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América Latina”, Roma. 1983:
- Fonte A. Biogás: energía, medio ambiente y clima. Revista Cuba Solar. La Habana Cuba. Disponible en: eyt.cubasolar.cu/energia/Energia20/HTML/articulo03.htm
- Ghosh, S. Y D. L. Klass. 1976. SNG, from refuse and sewage sludge by the biomass process. Proc. Clean Fuels from Biomas Sewage, Urban Refuse And Agricultural Wastes: 123-182.
- GUARDADO CHACÓN. 2006. Tecnología del biogas, Manual del usuario. Editorial Cubasolar, Miramar, Playas, Habana, Cuba; [htt: //www.cubasolar.cu](http://www.cubasolar.cu)
- John. 2006. Biogás. Aspectos Importantes. Historia. Generación eléctrica. Generación térmica. Disponible en: <http://usuarios.lycos.es/aricartre/index.htm>
- López, D. 1994. *El medio ambiente*. Madrid: Ediciones Cátedra. El texto aborda una síntesis de los problemas medioambientales, haciendo especial énfasis en las actividades que pueden considerarse responsables de los impactos negativos que inciden sobre el medio.
- López, M. 2000. Tesis presentada en opción al Grado Científico en Ciencias Técnicas.
- Lora D. 2001. Efecto económico-productivo del empleo de la planta de biogás en la vaquería 025. 48 h. Trabajo de Curso. Facultad de Mecanización Agropecuaria. Universidad Agraria de La Habana.
- Lugones B. Análisis de biodigestores. Revista Cuba Solar. La Habana. Cuba. Disponible en: www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia22/HTML/articulo04.htm
- Lengericher H, 2000. Lengerich, Alemania. Principales factores que afectan la producción de biogás.

- Mandujano, M. I. 1979. Evaluación de mezclas de Estiércol de Bovino y esquemas vegetales para obtención de biogás por fermentación anaeróbica. Informe II E/FE- A2/12. Inst. Inv. Elec. Cuernavaca. Morelos México. 179 pp.
- Mandujano, M. I. Y A. M. Martínez. 1983. Biogás, energía y fertilizantes a partir de desechos orgánicos. Manual para el promotor de Tecnología. OLADE. Cuernavaca, Morelos. 35 pp.
- Martínez Collado, C., (2007) Volumen de biodigestores, Orientación sobre el cálculo del volumen de residuales que se debe disponer en un biodigestor. Revista Energía y tú, calentador solar de tubos al vacío pp. 17.
- Martínez García 1983. Calefacción en invernadero por energía solar. Diez temas sobre ahorro de energía en la Agricultura. Ministerio de Agricultura y Alimentación Madrid. 1983 p 73 – 80.
- Marchaim U. 1992. Biogas processes for sustainable development. FAO, Agricultural services bulletin 95. Roma.
- Microsoft ® Encarta ® 2007. © 1993-2006 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.
- Mordujóvich M., M. 1986. Fundamentos termodinámicos y funcionamiento del motor Diesel de tractor. Manual de motores Diesel para tractores. 685 pp. Editorial MIR. Moscú.
- Osei-Safo, C. 2003. Biogas utilization and its agricultural implications in Ghana.
- Pedraza Gloria, Becerra Maricel, Conde Natalia, Chará J 1995 Experiencias sobre biometanización en el instituto de Cuernavaca, Morelos, México. II Simp. panam. "Avances en la Digestión Anaeróbica", México D. F. 45 pp.
- Pérez Gomez Martha 2005. La política y la cultura energética. Revista Energía y Tú (32) ISSN 1028 9925, P: 29-33.
- Polprasert, CH. 1989. Organic. waste recycling. Enviromental Engineering Division Asian Institute of Technology. Bangkok, Thailand. Jhon Wiley & Sons Ltd. 357 pp.
- Rodríguez J.; El Atrach K; Rumbos E.; Y Delepiani. A. 1995. Resultados experimentales sobre la producción de de biogás a través de la bora y el estiércol de ganado. Universidad de Oriente. Instituto Limnológico.
- Rodríguez, J. C. 1994. Balance de la relación carbono-nitrógeno para una óptima descomposición de la bora (*Eichhornia crassipes* (Mar.) Solms) en

abono orgánico. In: XLIV Convención Anual AsoVAC. Acta Científica Venezolana. Vol. 45, sup. 1: 360 pp.

- Sánchez E. 2001. Biogás es una energía barata e interminable. EL Nuevo Diario. Managua. Nicaragua. Disponible en: <http://www.ni.elnuevodiario.com.ni/index.html>
- Santamaría Jorge. 2005. Las trampas de la sostenibilidad. Revista Energía y Tú, (32), ISSN 1028 9925, p:38- 41
- Savickas, J. Y Klementavicius, A. 2004. Current initiations in biogas implementation.
- Steel, R. G. D. Y J. H. Torrie. 1960. Principles and procedures of statistics. Hc. Graw Hill Book Company, Inc. New York. 481 p.
- Tainter, J. A. 1988. The Collapse of Complex Societies. (El hundimiento de las sociedades complejas). Cambridge: Cambridge University Press. [ISBN 0521340926](#) (tapas duras) [ISBN 052138673X](#) (en rústica)
- Tainter, J. A. 1992. Evolutionary consequences of war. In Effects of War on Society, ed. G. Ausenda, pp. 103-130. San Marino: Center for Interdisciplinary Research on Social Stress.
- Tainter, J. A. 1994. Southwestern contributions to the understanding of core-periphery relations. In Understanding Complexity in the Prehistoric Southwest, eds. G. J. Gumerman, y M. Gell-Mann, pp. 25-36. Santa Fe Institute, Studies in the Sciences of Complexity, Proceedings
- Tainter, Joseph A. 1994b. La fine dell'amministrazione centrale: il collasso dell'Impero romano in Occidente. In Storia d'Europa, Volume Secondo: Preistoria e Antichità, eds. Jean Guilaine and Salvatore Settis, pp. 1207-1255. Turin: Einaudi.
- Tainter, J. A. 1995a. Sustainability of complex societies. Futures 27: 397-407.
- UNESCO, 2003. El *World Water Development Report* (informe mundial del desarrollo del agua) de su *World Water Assessment Program* (Programa mundial
- Valles S., J. L. Flores., J. L. Lequerica Y A. Madarro. 2002. Producción de Metano por fermentación anaeróbica I. Descripción del proceso. Rev. Agroquim. Tecnol. Aliment. 20(2). 189-208.
- Viñas M.; García R.; Y Sánchez G. 1999. Producción de Biogás. Cuba. 49 p.

- Werner, E. 1983. Bioconversión: producción de energía utilizando desperdicios agrícolas. In: El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América Latina. Bol. Suelos No. 51. FAO. 253 pp.
- Werner U, Stöhr U, Hees N. 1989. Biogas plants in animal husbandry. GATE – GTZ. Lengericher Handelsdruckerei, Lengerich, Alemania.
- Wolverton B .C. R. C. Mcdonald Y J. Gordon. 1975. Bioconversión of water hyacinths into methane gas: Part. I NASA Techn. Memorandum TM-X-72725. 32 pp.
- Zapata A. Utilización del biogás para generación de electricidad. Fundación CIPAV. Colombia. Disponible en: www.cipav.org.co/cipav/resrch/energy/alvaro1.htm.

ANEXO 1:
Fotos



Biodigestor de la vaquería 025



Medición del biodigestor



Excreta para la producción de biogás



Establos de la vaquería

ANEXO 2:
Gastos de construcción de la planta de biogás

CONSTRUCCION				
Materiales	UM	Cantidad	Precio (\$)	Valor (\$)
Salario de brigada de construcción (10 Días)	USD.	10	15	1500,00
Bloques de 20	u	300	0,40	120,00
Cemento	qq.	40	7,00	280,00
Arena	m ³	1,30	20,00	26,00
Gravilla	m ³	1,30	118,00	153,40
Manguera de 2"	m	10	2,50	25,00
Herramientas				20,00
INSTALACION				
Materiales	UM	Cantidad	Precio (\$)	Valor (\$)
Tubo galvanizado 3"	m	3	7,58	22,74
Tubo galvanizado 2 ^{1/2"}	m	20	7,58	151,60
Planta de acero	t	0,54	439,00	237,06
Barra de acero corrugado de 1/2"	t	0,39	652,31	254,40
Tubo de acero negro de 6"	t	2	20,13	40,26
Acetileno	m ³	6	2,37	15,20
Oxigeno	m ³	6,7	0,49	3,27
Electrodo para soldar	kg	2	1,20	2,40
Válvulas	u	2	25,78	151,56
Manómetro 2/kg	u	2	92,50	185,00
Total Instalación				1063,49
Total Construcción				2124,40
<u>Costo de construcción y montaje</u>				3187,89