UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
TESIS DE GRADO
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TITULO DE INGENIERO QUIMICO

TEMA:
"DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN BIODIGESTOR TIPO PILOTO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGAS Y BIOABONO A PARTIR DE LA MEZCLA DE ESTIERCOL VACUNO Y SUERO DE QUESO"

AUTORES:
YOLIMA NARVAEZ GUEVARA
ALEJANDRA SALTOS PAZ

DIRECTOR DE TESIS:
ING. CARLOS MUÑOZ

2007
GUAYAQUIL - ECUADOR

SUMARIO

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

PROBLEMA

CAPITULO I: PROCESO DIGESTIVO PARA LA OBTENCIÓN DEL BIOGAS Y SU MECANISMO

1.1.- CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

1.1.1.- FACTORES AMBIENTALES

1.1.2.- TIPO DE MATERIA PRIMA

1.1.3.- TEMPERATURA DEL SUSTRATO

1.1.4.- VELOCIDAD DE CARGA VOLUMÉTRICA

1.1.5.- TIEMPO DE RETENCIÓN

1.1.6.- VALOR DE ACIDEZ (pH)

1.1.7.- CONTENIDO DE SÓLIDOS

1.1.8.- INCLUSIÓN DE INOCULANTES

1.1.9.- AGITACIÓN – MEZCLADO

1.1.10.- INHIBIDORES

1.2.- CARACTERÍSTICAS DEL BIOGAS

1.3.- ETAPAS DE LA DIGESTION ANAERÓBICA

1.3.1. HIDRÓLISIS

1.3.2.- ACIDOGÉNESIS

1.3.3.- ACETOGÉNESIS

1.3.4.- METANOGÉNESIS

1.3.4.1.- ARQUEOBACTERIAS METANOGÉNICAS

CAPITULO II: ESTUDIO DE LA MATERIA PRIMA PARA LA CORRESPONDIENTE ALIMENTACIÓN DE LOS DIGESTORES

2.1.- MATERIA PRIMA

2.2.- ESTIÉRCOL VACUNO

2.2.1.- VALOR NUTRITIVO DE LA MATERIA PRIMA

2.2.2.- LA MATERIA PRIMA COMO RECURSO

2.2.3.- EL VALOR DE LA MATERIA PRIMA COMO FERTILIZANTE

2.3.- SUERO DE QUESO

2.3.1.- VALOR NUTRITIVO DE LA MATERIA PRIMA

2.3.2.- PROPIEDADES DE LA MATERIA PRIMA

2.4.- PROPIEDADES DIGERIBLES DE LA MATERIA ORGANICA A FERMENTARSE (ESTIÉRCOL VACUNO MÀS SUERO DE QUESO)

2.5.- DISPONIBILIDAD DE LA MATERIA PRIMA

CAPITULO III: UTILIDAD DEL BIOGAS

3.1.- PRINCIPIOS DE LA COMBUSTIÓN

3.2.- SISTEMA DE CO GENERACIÓN

3.3.- QUEMADORES

3.3.1.- BIOGÁS PARA COCINA

3.3.2.- COMBUSTIÓN DIRECTA

3.4.- BIOGÁS PARA ILUMINACIÓN

3.5.- BIOGÁS PARA USO EN MOTORES

3.6.- DEPURACIÓN

3.6.1.- ABSORCIÓN DEL CO_2

3.6.2.- ABSORCIÓN SÓLIDA

3.6.3.- ABSORCIÓN DE AGUA

3.7.- COMPRESIÓN Y ALMACENAMIENTO

3.8.- BIOGÁS PARA USO VEHICULAR

CAPITULO IV: BIODIGESTORES

4.1.- CLASES DE PLANTAS DE BIOGAS

4.1.1.- BIODIGESTOR TIPO HINDÚ O DE CAMPANA FLOTANTE

4.1.2.- BIODIGESTOR TIPO CHINO O DE CÚPULA FIJA

4.1.3.- BIODIGESTOR TIPO MIXTO

4.1.4.- BIODIGESTOR TIPO TAIWÁN O DE ESTRUCTURA FLEXIBLE

4.1.5.- BIODIGESTOR FLOTANTE

4.1.6.- BIODIGESTOR CON TANQUE DE ALMACENAMIENTO TRADICIONAL Y CÚPULA DE POLIETILENO

4.1.7.- BIODIGESTORES DE ALTA VELOCIDAD O FLUJO INDUCIDO

4.1.8.- BIODIGESTORES DE SEGUNDA Y TERCERA GENERACIÓN

4.1.9.- BIODIGESTORES INDUSTRIALES

CAPITULO V: OBTENCIÓN DE BIOGAS A PEQUEÑA ESCALA

5.1.- PRUEBA EXPERIMENTAL

5.2.- BIOGAS OBTENIDO DEL DIGESTOR

5.3.- DIAGRAMAS

CAPITULO VI: DISEÑO DEL EQUIPO

6.1.- CALCULO DEL VOLUMEN DEL TANQUE
6.2.- CALCULO DEL DIÁMETRO DEL AGITADOR
6.3.- CALCULO DE ALTURA DEL LÍQUIDO
6.4.- CALCULO DEL ANCHO DEL AGITADOR
6.5.- CALCULO DE LA ALTURA ENTRE EL AGITADOR Y EL FONDO DEL TANQUE
6.6.- CALCULO DE POSICIÓN DE CADA UNA DE LAS PALETAS
6.7.- CALCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR DE AGITACIÓN

CAPITULO VII: CONSTRUCCIÓN DE LA UNIDAD

7.1.- COSTOS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO
7.1.1.- COSTOS DIRECTOS
7.1.2.- COSTOS INDIRECTOS
7.1.3.- COSTO TOTAL
7.2.- DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO
7.3.- OPERACIÓN DEL EQUIPO

CAPITULO VIII: RESULTADOS EXPERIMENTALES

8.1.- BIGAS GENERADO
8.2.- ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL GAS BIOLÓGICO
8.3.- ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL GAS BIOLÓGICO
8.4.- BALANCE DE MATERIA

8.5.- CÁLCULO DEL PODER CALORÍFICO

8.6.- RENDIMIENTO

8.7.- DIAGRAMAS

CAPITULO IX: BIOABONO

8.1.- EL ESTIÉRCOL COMO ABONO

8.2.- EL BIOABONO

8.3.- EL NITRÓGENO DEL EFLUENTE

8.4.- COMPARACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS

8.5.- EFICIENCIA DEL EFLUENTE COMO MEJORADOR DEL SUELO

8.6.- BENEFICIOS DEL BIOABONO

CAPITULO X

10.1.- CONCLUSIONES

10.2.- RECOMENDACIONES

10.3.- BIBLIOGRAFIA

10.4.- ANEXOS

INTRODUCCIÓN

El abastecimiento de energéticos comerciales como la electricidad, kerosene, gas natural o licuado y otros, al medio rural, tiene grandes restricciones debido fundamentalmente al aislamiento, dispersión, falta de vías de comunicación, etc., de muchas de las comunidades rurales.

Una de las soluciones capaces de ayudar a resolver en parte esta situación son lo Biodigestores, las que pueden operar a partir de casi toda la materia orgánica, especialmente de residuos agrícolas y basuras, así como de desechos de animales y humanos.

Por medio de este proceso se obtienen gas combustible y fertilizantes, este gas es un gas biológico **(BIOGAS)** donde su principal componente es el metano, y presenta varias ventajas como:

- Producción de energía alternativa.
- Producción de un efluente útil en agricultura, que mejora las propiedades físicas y químicas del suelo.
- Reducción del riesgo de proliferación de focos infecciosos a través del mejoramiento de las condiciones ecológicas sanitarias.

Por otra parte, estas instalaciones tienen la ventaja de adaptarse a las condiciones del medio rural, pudiendo ser sumamente sencillas en su construcción, operación y mantenimiento.

PROBLEMA

La energía es fundamental para el desarrollo económico de un país y para el bienestar de su población. Forma parte del instrumento económico, pues se la requiere para activar todo tipo de maquinaria o herramienta y, aunque no se incorpora materialmente a los bienes o servicios producidos, tiene incidencia en los costos de producción. Además, en algunos casos se la desperdicia domésticamente. En la actualidad, se están buscando soluciones para resolver y prevenir estas crisis y también se están buscando los métodos precisos para evitar que se extienda. Es por ello que se emplearon las energías alternativas, ya que tiene la capacidad de no contaminar el medio ambiente y no afectan por lo tanto a la sociedad y además, son renovables.

Cada vez se hace conciencia en la población mundial la necesidad de racionalizar el consumo de combustible así como el uso adecuado del suelo, así el despilfarro de los recursos energéticos representa para el estado ingentes egresos económicos, por lo que hoy se mira como alternativa válida el uso de otros recursos como fuentes alternativas de energía como es la producida por la biomasa, mediante un proceso de fermentación anaeróbica.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Construir un equipo para producir biogás para uso doméstico y bioabono como mejorador del suelo.

OBJETIVO ESPECÍFICO

Aprovechar el estiércol vacuno y suero de queso como fuente generadora de biogás y bioabono a partir de la fermentación anaeróbica.

OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

Diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor tipo piloto para la obtención de biogás y bioabono a partir de la mezcla de estiércol vacuno y suero de queso.

PROCESO DIGESTIVO PARA LA OBTENCIÓN DEL BIOGAS Y SU MECANISMO

Se sabe que el hombre conoce desde hace mucho la existencia del BIOGAS, pues este se produce en forma natural en los pantanos, de allí que se lo llama gas de los pantanos. En la Argentina se encuentra en el delta del Paraná donde se perfora hasta llegar a alcanzarlo con una cañería obteniéndose el biogás acumulado por la naturaleza.

En 1808 Humpry Dhabi 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 en instalaciones que van desde la pequeña escala doméstica hasta las aplicaciones agroindustriales. 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 e iluminación, a la vez que 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. En Europa y en Estados Unidos se investigan los complejos fenómenos químicos que ocurren durante el proceso de digestión.

En la Segunda Guerra Mundial, la crisis de combustibles hizo que las investigaciones en esta área aumentaran, forzando el desarrollo a pequeña y gran escala. Años más tarde debido a los aspectos negativos de esta tecnología por depender principalmente de temperaturas superiores a los 30 ^{o}C , y por comodidad y conveniencia de otros tipos de combustibles, esta tecnología pasó al olvido.

En China, India y Sudáfrica, debido a la escasez de recursos económicos estos métodos fueron difundiéndose y desarrollándose de tal manera que hoy en la actualidad estos países cuentan con más de 30 millones de Biodigestores funcionando, además desarrollaron técnicas de generación gaseosa a pequeña y gran escala.

En general todo tipo de residuos sólidos urbanos y domésticos, por su contenido de materia orgánica son utilizados para fines energéticos mediante procesos de transformación de biomasa residual.

La biomasa es la cantidad de materia viva producida en un área determinada de la superficie terrestre. Puede ser de origen vegetal o animal. El termino biomasa se refiere a aquel producto de residuos, todos ellos de carácter renovable, que han tenido su origen como consecuencia de un proceso biológico o de fotosíntesis y que son susceptibles de ser transformados por medios biológicos o térmicos para generar energía.

Existe una forma de utilización de la biomasa como fuente de energía limpia mucho más reciente y más eficiente. Los excrementos de los animales y los restos orgánicos de origen vegetal pueden ser procesados de forma tal que produzcan un gas combustible llamado BIOGAS y que además dejan como subproducto un bioabono de mejor calidad. La instalación para estos propósitos se denomina BIODIGESTOR.

Se da el nombre de biogás a la mezcla gaseosa producida por la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas y cuyos principales componentes son el metano y el bióxido de carbono (CO_2) que se producen como resultado de la fermentación de la materia orgánica en ausencia de aire por la acción de un microorganismo.

El metano al no contar con una alternativa de uso es arrojado a la atmósfera contribuyendo al incremento en la concentración de gases de efecto de invernadero, no obstante si se cuenta con un sistema apropiado de recolección y acondicionamiento puede ser usado como combustible, convirtiéndose por combustión en CO_2 y vapor de agua, el cual es asimilado por los cultivos y retornado en su mayoría al suelo, disminuyendo así su concentración en la atmósfera.

Los procesos de producción de biogás dependen de varios parámetros, por ejemplo cambios en la temperatura del medio ambiente que puede tener un efecto negativo en la actividad bacterial. El biogás es una mezcla de gases que esta compuesta básicamente por:

Metano (CH_4):	50 - 70 % vol.
Dióxido de carbono (CO_2):	40 - 60 % vol.
Otros gases:	1 - 5 % vol.
Incluyendo:	
Hidrógeno (H_2):	0 - 1% vol.
Sulfuro de hidrógeno (H_2S):	0 - 3 % vol.

Los combustibles fósiles como el petróleo, el carbón y el gas contribuyen de manera importante al calentamiento del planeta, que constituye un riesgo múltiple para la agricultura y otras actividades humanas. Además los expertos afirman que las reservas fósiles duraran otros 40 o 50 años. Por todo esto se buscan fuentes sustitutas de energía.

1.1.- CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA LA DIGESTIÓN ANAEROBIA.

La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como "biogás" y a una suspensión acuosa o "lodo" que contiene los componentes difíciles de degradar y los minerales inicialmente presentes en la biomasa.

La materia prima preferentemente utilizada para someterla a este tratamiento es la biomasa residual con alto contenido en humedad, especialmente los residuos ganaderos y los lodos de depuradora de aguas residuales urbanas.

Aunque la digestión anaerobia es un proceso ampliamente conocido en la práctica, se posee en la actualidad una información muy limitada sobre su química y su microbiología.

Sin embargo, se puede afirmar en líneas generales que la digestión anaerobia se desarrolla en tres etapas durante las cuáles la biomasa se descompone en moléculas más pequeñas para poder producir biogás como producto final, por la acción de diferentes tipos de bacterias.

Las variables que influyen en el proceso son las siguientes:

- **Temperatura:** se encuentra un óptimo de funcionamiento alrededor de los 30°C.

- **Acidez:** determina la cantidad y el porcentaje de metano en el biogás, habiéndose encontrado que el valor óptimo de pH oscila entre 6,6 y 7,6.

- **Contenido en sólidos:** se suele operar en mejores condiciones con menos de un 10% en sólidos, lo que explica que la biomasa más adecuada sea la de alto contenido en humedad.

- **Nutrientes:** para el crecimiento y la actividad de las bacterias, éstas tienen que disponer de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y algunas sales minerales.

- **Tóxicos:** aparte del oxígeno, inhiben la digestión concentraciones elevadas de amoníaco, sales minerales y algunas sustancias orgánicas como detergentes y pesticidas.

El producto principal de la digestión anaerobia es el biogás, mezcla gaseosa de metano (50 a 70%) y dióxido de carbono (30 a 50%), con pequeñas proporciones de otros componentes (nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno), cuya composición depende tanto de la materia prima como del proceso en sí. La cantidad de gas producido es muy variable, aunque generalmente oscila alrededor de los 350 l/kg de sólidos degradables, con un contenido en metano del 70%.

Aunque su potencia calorífica no es muy grande, puede sustituir al gas convencional, utilizándose en las siguientes aplicaciones:

· Fuente de calor (cocina, alumbrado)
· Combustión en calderas de vapor para calefacción
· Combustible de motores acoplados a generadores eléctricos

Por su parte, el efluente de la digestión está compuesto por diversos productos orgánicos e inorgánicos y se puede utilizar tanto en la fertilización de suelos, con excelentes resultados, como en alimentación animal, aspecto aún en vías de investigación.

1.1.1.- FACTORES AMBIENTALES.

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

Entre los factores más importantes a tenerse en cuenta se desarrollarán los siguientes:

- Tipo de sustrato (nutrientes disponibles)
- Temperatura del sustrato; la carga volumétrica
- Tiempo de retención hidráulico
- Nivel de acidez (pH)
- Relación Carbono/Nitrógeno
- Concentración del sustrato; el agregado de inoculantes
- Grado de mezclado
- Presencia de compuestos inhibidores del proceso.

1.1.2.- TIPO DE MATERIA PRIMA.

Las materias primas fermentables incluyen dentro de un amplio espectro a los excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas de las industrias (producción de alcohol, procesado de frutas, verduras, lácteos, carnes, alimenticias en general), restos de cosechas y basuras de diferentes tipos, como los efluentes de determinadas industrias químicas.

El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar en cierto equilibrio con sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores).

Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo en la digestión de ciertos desechos industriales pueden presentarse el caso de ser necesaria la adición de los compuestos enumerados o bien un post tratamiento aeróbico.

Las sustancias con alto contenido de lignina no son directamente aprovechables y por lo tanto deben someterse a tratamientos previos (cortado, macerado, fermentado) a fin de liberar las sustancias factibles de ser transformadas de las incrustaciones de lignina. En lo atinente a estiércoles animales, la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y de la alimentación que hayan recibido los mismos. Los valores tanto de producción como de rendimiento en gas de los estiércoles presentan grandes diferencias. Esto es debido al sinnúmero de factores intervinientes que hacen muy difícil la comparación de resultados.

Como norma se deberá tomar en cuenta que a raíz de estar trabajando en un medio biológico sólo los promedios estadísticos de una serie prolongada de mediciones serán confiables siempre y cuando figuren las condiciones en las cuales fueron realizadas las pruebas. En cuanto al volumen de estiércol producido por las distintas especies animales son variables de acuerdo fundamentalmente al peso, tipo de alimentación y manejo de los mismos. Cuando se toma un proyecto específico se recomienda realizar una serie de mediciones en el lugar donde se ubicará el digestor.

A modo ilustrativo se expone a continuación un cuadro indicativo sobre cantidades de estiércol producido por distintos tipos de animales y el rendimiento en gas de los mismos tomando como referencia el kilogramo de sólidos volátiles.

CUADRO No. 1

PRODUCCIÓN DE ESTIÉRCOL Y RENDIMIENTO EN GAS POR DISTINTOS TIPOS DE ANIMALES

ESPECIE	PESO VIVO	kg ESTIERCOL/día	l/kg.S.V.	%CH4
Cerdos	50	4,5 - 6	340 - 550	65 – 70
Vacunos	400	25 -40	90 - 310	65
Ovinos	45	2,5	90 - 310	63
Aves	1.5	0,06	310 - 620	60
Caprinos	40	1,5	110 - 290	-

Fuente: **Bio-Gas Technology and Utilización, Cheng Du Seminar.- Año 1979**

1.1.3.- TEMPERATURA DEL SUSTRATO.

Para que se inicie el proceso se necesita una temperatura mínima de 4 ºC a 5 ºC y no se debe sobrepasar una máxima de alrededor de 70 ºC. Se realiza generalmente una diferenciación en tres rangos de temperatura de acuerdo al tipo de bacterias que predominan en cada una de ellas, como se muestra en el siguiente cuadro:

CUADRO No. 2

BACTERIAS	RANGO DE TEMPERATURAS	SENSIBILIDAD
Psiccrofílicas	menos de 20ºC	± 2ºC/hora
Mesofílicas	entre 20ºC y 40ºC	± 1ºC/hora
Termofílicas	más de 40ºC	± 0,5ºC/hora

Fuente: **Bio-Gas Technology and Utilización, Cheng Du Seminar.- Año 1979**

La actividad biológica y por lo tanto la producción de gas aumenta con la temperatura. Al mismo tiempo se deberá tener en cuenta que al no generar calor el proceso, la temperatura deberá ser obtenida y mantenida mediante energía externa (proceso endotérmico). El cuidado en el mantenimiento también debe extremarse a medida que aumentamos la temperatura, dada la mayor sensibilidad que presentan las bacterias termofílicas a las pequeñas variaciones térmicas.

La gama de temperatura para la digestión anaeróbica tiene dos zonas óptimas una mesófila (30 °C – 40 °C) y otra termófila (45 °C – 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.

En la figura 1 se ven las relaciones típicas que existen entre la producción de gas y la temperatura con diferentes tiempos de retención. Por ejemplo, en un digestor donde los residuos permanecen 12 días, la producción de gas por unidad de sólidos volátiles totales añadidos diariamente, es 20% mayor a 45°C que a 35°C.

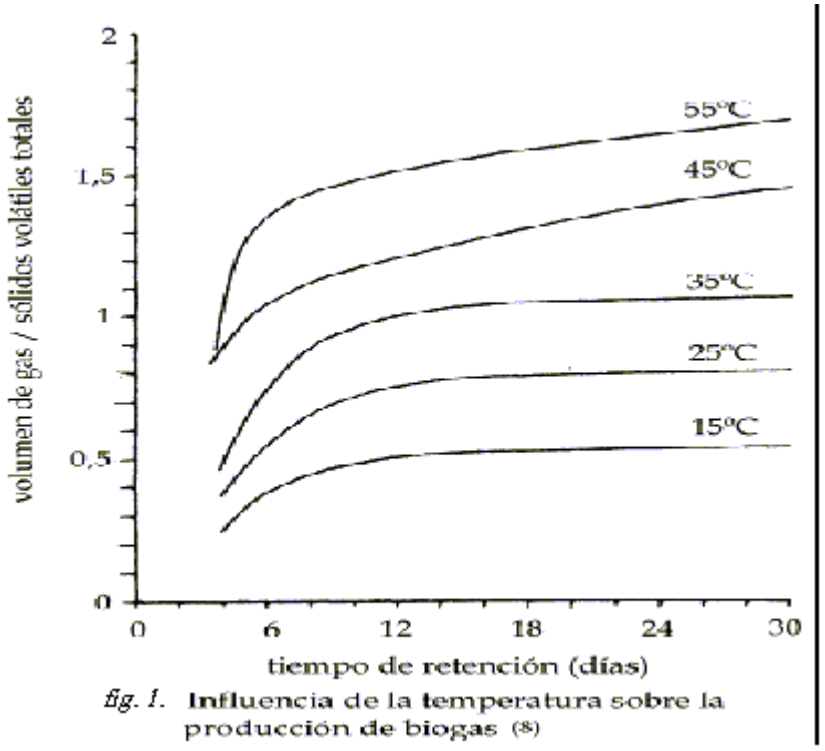


fig. 1. **Influencia de la temperatura sobre la producción de biogas** (8)

Fuente: **Bio-Gas Technology and Utilización, Cheng Du Seminar.- Año 1979**

En los climas cálidos, donde no existen temperaturas de congelación, los digestores pueden funcionar sin añadir calor pero hay que aumentar en cambio el tiempo de retención. La regulación de la temperatura puede lograrse haciendo circular agua caliente a través del tanque por medio de termointercambiadores.

Todas estas consideraciones deben ser evaluadas antes de escoger un determinado rango de temperaturas para el funcionamiento de un digestor ya que a pesar de incrementarse la eficiencia y producción de gas paralelamente aumentará los costos de instalación y la complejidad de la misma.

Los digestores que trabajan a temperaturas mesofílicas y termofílicas poseen generalmente sistemas de calefacción, aislamiento y control los cuales son obviados en digestores rurales económicos que trabajan a bajas temperaturas.

La temperatura está íntimamente relacionada con los tiempos que debe permanecer la biomasa dentro del digestor para completar su degradación (Tiempo de retención Hidráulica, TRH). A medida que se aumenta la temperatura, disminuyen los tiempos de retención y en consecuencia se necesitará un menor volumen de reactor para digerir una misma cantidad de biomasa.

1.1.4.- VELOCIDAD DE CARGA VOLUMÉTRICA.

Con este término se designa al volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor. Este valor tiene una relación de tipo inversa con el tiempo de retención, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención. Existen diferentes formas de expresar este parámetro siendo los más usuales los siguientes: kg de material/día; kg de materia seca/día; kg de sólidos volátiles/día todos expresados por metro cúbico de digestor.

Las cantidades de sólidos y sólidos volátiles se extraen afectando a las cantidades en Kg. de material cargado con los porcentajes de sólidos o sólidos volátiles que se obtiene por análisis. (Porcentaje de sólidos sometiendo al sustrato a desecación, 105ºC hasta peso constante y extrayendo el siguiente coeficiente: (peso húmedo - peso seco)/peso húmedo. El porcentaje de sólidos volátiles se obtiene sometiendo la muestra seca a la mufla, 560ºC durante tres horas y extrayendo el siguiente coeficiente:

$$\text{Sólidos Volátiles} = 1 - \frac{peso\ seco - peso\ ceniza}{peso\ seco}$$

Un factor importante a tener en cuenta en este parámetro es la dilución utilizada, debido a que una misma cantidad de material biodegradable podrá ser cargado con diferentes volúmenes de agua.

1.1.5.- TIEMPO DE RETENCIÓN (T. R.).

Este parámetro sólo puede ser claramente definido en los "sistemas discontinuos o batch" donde el T.R. coincide con el tiempo de permanencia del sustrato dentro del digestor. En los digestores continuos y semicontinuos el tiempo de retención se define como el valor en días del cociente entre el volumen del digestor y el volumen de carga diaria. De acuerdo al diseño del reactor, el mezclado y la forma de extracción de los efluentes pueden existir variables diferencias entre los tiempos de retención de líquidos y sólidos debido a lo cual suelen determinarse ambos valores. El T.R. está íntimamente ligado con dos factores: el tipo de sustrato y la temperatura del mismo.

La relación costo beneficio es el factor que finalmente determinará la optimización entre la temperatura y el T.R., ya que varían los volúmenes, los sistemas paralelos de control, la calefacción y la eficiencia. Con relación al tipo de sustrato, generalmente los materiales con mayor proporción de carbono retenido en moléculas resistentes como la celulosa demandarán mayores tiempos de retención para ser totalmente digeridos.

En el cuadro No. 3 podemos observar como se distribuye en función al tiempo de retención la producción diaria de gas para materiales con distintas proporciones de celulosa. A modo de ejemplo se dan valores indicativos de tiempos de retención usualmente más utilizados en la digestión de estiércoles a temperatura mesofílica. El límite mínimo de los T.R. está dado por la tasa de reproducción de las bacterias metanogénicas debido a que la continua salida de efluente del digestor extrae una determinada cantidad de bacterias que se

encuentran en el líquido. Esta extracción debe ser compensada por la multiplicación de las bacterias que pertenecen dentro del reactor.

CUADRO No. 3

TIEMPO DE RETENCIÓN PARA DIFERENTES TIPOS DE ESTIERCOL

MATERIA PRIMA	T.R.
Estiércol vacuno líquido	20 - 30 días
Estiércol porcino líquido	15 - 25 días
Estiércol aviar líquido	20 - 40 días

Fuente: GATE. Módulo – BORDA. Introducciones para la Planta de Biogás. Biogasteam Bremen 1980.

Por esta razón en los últimos años se han buscado diseños de cámaras de digestión que procuran lograr grandes superficies internas sobre las cuales se depositan como una película las bacterias u otros sistemas que logran retener a las metanogénicas pudiéndose lograr de este modo T.R. menores.

1.1.6.- VALOR DE ACIDEZ (pH).

Una vez estabilizado el proceso fermentativo el pH se mantiene en valores que oscilan entre 6.5 y 7,5. Debido a los efectos buffer que producen los compuestos bicarbonato-dióxido de carbono (CO_2 -HCO_3) y Amonio -Amoníaco (NH_4 -NH_3) el proceso en sí mismo tiene capacidad de regular diferencias en el pH del material de entrada.

Las desviaciones de los valores normales es indicativo de un fuerte deterioro del equilibrio entre las bacterias de la fase ácida y la metanogénica provocado por severas fluctuaciones en alguno de los parámetros que gobiernan el proceso.

1.1.7.- CONTENIDO DE SÓLIDOS.

La movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y producción de gas. Por otro lado podemos encontrar en la literatura datos importantes de producciones de gas logradas en rellenos sanitarios con un alto contenido de sólidos. En este punto tampoco existen reglas fijas; mediciones realizadas utilizando mezclas de estiércoles animales en agua han determinado que para digestores continuos el porcentaje de sólidos óptimo oscila entre el 8% y el 12%.

1.1.8.- INCLUSIÓN DE INOCULANTES.

El crecimiento bacteriano dentro de los digestores sigue desde su arranque la curva típica graficada en la siguiente figura 2.

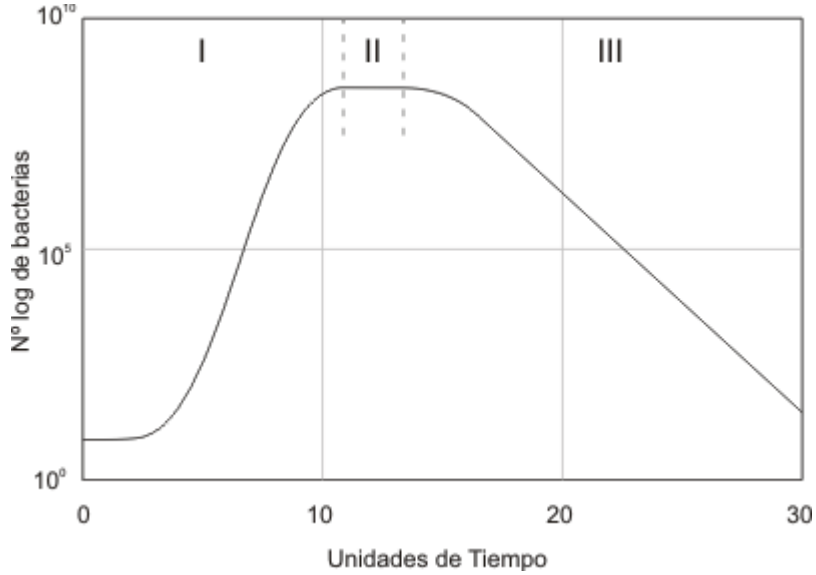


Fig. No. 2 El crecimiento bacteriano
Fuente: Bio-Gas Technology and Utilización, Cheng Du Seminar.- Año 1979

En la figura 2 pueden distinguirse claramente tres etapas: La de arranque (I), la de estabilización (II) y la de declinación (III).

La primera etapa puede ser acortada mediante la inclusión de un determinado porcentaje de material de otro digestor rico en bacterias que se encuentran en plena actividad. Esto es particularmente importante en los digestores discontinuos que deben ser arrancados frecuentemente.

Al llegarse en forma más rápida a la estabilización puede incrementarse la producción de gas por kg. de estiércol. Los dos factores a tener en cuenta en la inoculación de un digestor son la proporción en que se agrega y la edad del mismo. ***Cuanto mayor sea la proporción y menor la edad mayor será la eficacia.***

1.1.9.- AGITACIÓN – MEZCLADO.

Los objetivos buscados con la agitación son: remoción de los metabolitos producidos por las bacterias metanógenas, mezclado del sustrato fresco con la población bacteriana, evitar la formación de costra que se forma dentro del digestor, uniformar la densidad bacteriana y evitar la formación de espacios "muertos" sin actividad biológica.

En la selección del sistema, frecuencia e intensidad de la agitación se deberán realizar las siguientes consideraciones: El proceso fermentativo involucra un equilibrio simbiótico entre varios tipos de bacterias. La ruptura de ese equilibrio en el cuál el metabolito de un grupo específico servirá de alimento para la siguiente carga e implicará una merma en la actividad biológica y por ende una reducción en la producción de gas.

Como conclusión en la elección de un determinado sistema se tendrá siempre presente tanto los objetivos buscados como el perjuicio que puede causar una agitación excesiva debiéndose buscar un punto medio óptimo. Existen varios mecanismos de agitación utilizados desde los más simples que consisten en un batido manual o el provocado por la entrada y salida de los líquidos hasta sofisticados equipos que involucran agitadores a hélice, recirculadores de sustrato e inyectores de gas.

1.1.10.- INHIBIDORES.

La presencia de metales pesados, antibióticos y detergentes en determinadas concentraciones pueden inhibir e incluso interrumpir el proceso fermentativo.
Cuando es demasiado alta la concentración de ácidos volátiles (más de 2.000 ppm para la fermentación mesofílica y de 3.600 ppm para la termofílica) se inhibirá la digestión. También una elevada concentración de Nitrógeno y Amoníaco destruyen las bacterias metanogénicas.

CUADRO No. 4

CONCENTRACIÓN INHIBIDORA DE DETERMINADOS INHIBIDORES

INHIBIDORES	CONCENTRACION INHIBIDORA
SO_4	5.000 ppm
NaCl	40.000 ppm
Nitrato (según contenido de Nitrógeno)	0,05 mg/ml
Cu	100 mg/l
Cr	200 mg/l
Ni	200-500 mg/l
CN (Después que se han domesticado las bacterias metanogénicas a 2-10 mg/ml).	25 mg/l
ABS (Detergente sintético)	20-40 mg/l
Na	3.500-5.500 mg/l
K	2.500-4.500 mg/l
Ca	2.500-4.500 mg/l
Mg	1.000-1.500 mg/l

Fuente: Bio-Gas Technology and Utilización, Cheng Du Seminar.- Año 1979

En el cuadro se dan valores de concentraciones de ciertos inhibidores comunes. Valores que se deben tomar como orientativos, puesto que las bacterias intervenientes pueden con el tiempo adaptarse a condiciones que en un principio las afectaba marcadamente.

1.2.- CARACTERÍSTICAS DEL BIOGAS.

El biogás es un poco más liviano que el aire y posee una temperatura de inflamación de alrededor de los 700 ºC (Diesel 350 ºC, gasolina y propano cerca de los 500 ºC). La temperatura de la llama alcanza 870 ºC. El biogás está compuesto por alrededor de 60 % de metano (CH_4) y 40% de dióxido de carbono (CO_2). El biogás contiene mínima cantidades de otros gases, entre otros, 1% de ácido sulfhídrico (H_2S). Entre más largo es el tiempo de retención, más alto es el contenido de metano, y con esto el poder calorífico. Con tiempos de retención cortos el contenido de metano puede disminuir hasta en un 50%. Con un contenido de metano mucho menor del 50%, el biogás deja de ser inflamable. El primer gas de una planta recién cargada contiene muy poco metano, por esa razón el gas producido en los primeros 3 a 5 días se debe dejar escapar sin utilizarlo. El contenido de metano depende de la temperatura de fermentación. Con bajas temperaturas de fermentación se obtiene un alto porcentaje de gas metano, pero las cantidades de gas son menores. El cuadro No 5 da un resume la composición promedio del biogás según la fuente.

CUADRO No. 5
COMPOSICIÓN DEL BIOGAS DERIVADO DE DIVERSAS FUENTES

GASES	DESECHOS AGRICOLAS	LODOS CLOACALES	DESECHOS INDUSTRIALES	RELLENOS SANITARIOS
METANO	50 - 80%	50 - 80%	50 - 70%	45 - 65%
CO_2	30 - 50%	20 - 50%	30 - 50%	34 - 55%
VAPOR AGUA	SATURACIÓN	SATURACIÓN	SATURACIÓN	SATURACIÓN
HIDRÓGENO	0 - 2%	0 - 5%	0 - 2%	0 - 1%
H_2O	100 - 7000 ppm	0 - 1%	0 - 8%	0,5 - 100 ppm
AMONÍACO	TRAZAS	TRAZAS	TRAZAS	TRAZAS
CO	0 - 1%	0 - 1%	0 - 1%	TRAZAS
NITRÓGENO	0 - 1%	0 - 3%	0 - 1%	0 - 20%
OXÍGENO	0 - 1%	0 - 1%	0 - 1%	0 - 5%
ORGÁNICOS	TRAZAS	TRAZAS	TRAZAS	5 ppm

Fuente: IIT (Instituto de Investigaciones Tecnológicas) 1983

1.3.- ETAPAS DE LA DIGESTION ANAERÓBICA.

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. 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 6,5 a 7,5. La digestión comienza a inhibirse a pH 6. 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.

El CO_2 es soluble en agua y reacciona con los iones hidroxilo para formar bicarbonato. La concentración de 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.

Las causas principales de una excesiva producción de ácidos volátiles son la elevada velocidad de carga, una baja temperatura y la formación de espuma que constituye una zona favorable para los acetógenos. La sedimentación de los materiales fibrosos y la espuma se puede evitar mezclando el contenido del digestor.

1.3.1.- HIDRÓLISIS.

La hidrólisis es el primer paso necesario para la degradación anaerobia de substratos orgánicos complejos, ya que no puede ser utilizada directamente por los microorganismos a menos que se hidrolicen en compuestos solubles, que puedan atravesar la membrana celular. La hidrólisis de estas partículas orgánicas es llevada a cabo por enzimas extracelulares excretadas por las bacterias fermentativas.

Microorganismos que intervienen

Hidrólisis: predominan bacterias Gram+ incluidas en los géneros Clostridium y Staphyloccocus, y Bacteroides Gram-.

1.3.2.- ACIDOGÉNESIS.

Las moléculas orgánicas solubles son fermentadas por varios organismos formando compuestos que pueden ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico, H_2).

Microorganismos que intervienen

Acidogénesis:

Fermentación: predominan bacterias Gram + del ácido láctico y relacionadas:

a) Lactobacillus, Streptoccocus, Staphylococcus, Microccocus; Gram -: Escherichia, Salmonella, Veillonela y reductoras de sulfato.

b) ß-oxidación: Clostridium, Syntrophomonas

1.3.3.- ACETOGÉNESIS.

Las moléculas orgánicas solubles son fermentadas por varios organismos fermentativos formando compuestos orgánicos muy reducidos (láctico, etanol, propiónico, butírico, principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas a substratos que puedan utilizar las metanogénicas.

Microorganismos que intervienen

Acetogénesis:

sintrofobacterias tales como Syntrophobacter wolinii y S. Wolfei

1.3.4.- METANOGÉNESIS.

El dióxido de carbono es común en la naturaleza y es un producto importante del metabolismo energético de los organismos quimioorganotróficos. Los procariotas reductores de CO_2 más importantes son los metanógenos, un grupo de arqueobacterias anaeróbicas estrictas que emplean generalmente el H_2 como donante de electrones.

Microorganismos que intervienen

Metanogénesis:

a) Hidrogenotrófica: Methanobacterium, Methanobrevibacter

b)Hidrogenoclástica: Methanosarcina y Methanosaeta (antesMethanotrix)

Hay por lo menos diez substratos que se convierten en metano por la acción de uno u otro metanógeno, todos los cuales liberan energía adecuada para la síntesis de ATP, incluyendo formiato, acetato, metanol, metilmercaptano y metilamina. Se los divide en tres clases:

Substratos del tipo CO_2

$$4\ H_2 + CO_2 \longrightarrow CH_4 + 2\ H_2O$$
$$4\ HCOO^- + 4\ H^+ \longrightarrow CH_4 + 3\ CO_2 + 2\ H_2O$$
$$4\ CO + 2\ H_2O \longrightarrow CH_4 + 3\ CO_2$$

Sustratos con grupo metilo

$$4\ CH_3OH \longrightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2\ H_2O$$
$$CH_3OH + H_2 \longrightarrow CH_4 + H_2O$$
$$4\ CH_3NH_3Cl + 2\ H_2O \longrightarrow 3\ CH_4 + CO_2 + 4\ NH_4Cl$$

Substrato de acetotróficas

$$CH_3COO^- + H_2O \longrightarrow CH_4 + HCO_3^-$$

La conversión de acetato a metano aparece como un proceso ecológico muy importante en digestores de residuos y en medios anóxicos de agua dulce, donde no hay una competencia excesiva por el acetato con otras bacterias. A pesar de que la producción de metano está muy extendida, son pocos los compuestos de carbono que sirven como precursores directos de la metanogénesis. Por lo tanto, es un proceso que depende de la producción de esos compuestos por otros organismos, a partir de la materia orgánica compleja.

En muchos ambientes anóxicos los precursores inmediatos del metano son el H_2 y el CO_2 que se generan por las actividades de los organismos fermentadores. En el proceso general de producción de metano a partir de la fermentación de un polisacárido, como la celulosa, pueden intervenir hasta cinco grupos fisiológicos de procariotas.

Las bacterias celulolíticas rompen la molécula de celulosa, de peso molecular elevado, en celobiosa y glucosa libre. Por acción de los fermentadores primarios, la glucosa origina ácidos orgánicos, alcoholes, H_2 y CO_2. Todo el hidrógeno producido es consumido inmediatamente por las bacterias metanogénicas, las acetogénicas o las reductoras de sulfato si éste se halla en alta concentración. Además el acetato puede ser convertido en metano por otros metanógenos.

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. 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.

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.

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 (4). 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.

La característica que identifica a las metanógenas es su metabolismo productor de metano (CH_4). La generación de este hidrocarburo no es realmente el objetivo de dichas bacterias, en realidad la función de este proceso metabólico es la obtención de energía en forma de ATP (adenosín trifosfato) , o de moléculas destinadas para la biosíntesis. Generalmente esta reacción se realiza a partir de bióxido de carbono (CO_2) y de hidrógeno (H_2), donde el CO_2 es un aceptor de electrones que es reducido gracias a los electrones suministrados por H_2. De forma simplificada, la reacción de este proceso, puede ser escrita de la siguiente manera:

$$\mathbf{CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O}$$

Pero existen otras formas de realizar la metanogénesis según los sustratos que se encuentren en el medio, por ejemplo se puede efectuar a partir de formato ($HCOO^-$), de monóxido de carbono (CO), de piruvato ($CH_3COOCOH$), de methanol (CH_3OH), de acetato (CH_3COO^-), entre otros.

Estas diversas reacciones, no suceden espontáneamente, por el contrario, la flecha de la reacción es en realidad, una especie de resumen de múltiples reacciones que tienen lugar dentro de las metanógenas. Y para que estas reacciones se realicen, necesitan ciertas coenzimas exclusivas de las metanógenas, que se dividen en dos tipos, el primero contiene a los portadores C1 que transportan los carbonos desde el sustrato inicial hasta el metano. En este tipo de portadores encontramos al metanofurano, a la tetrahydrometanopterina.

El otro tipo de coenzimas exclusivas son las coenzimas redox que subministran los electrones necesarios para la reducción de CO_2 a CH_4 y que intervienen en las diferentes etapas de la metanogénesis las cuales son: el 7-mercaptoheptanoil-treonina fosfato y el complejo enzimático metil-reductasa.

1.3.4.1.- ARQUEOBACTERIAS METANOGÉNICAS.

Se clasifica a las metanobacterias en siete grupos principales que comprenden un total de 17 géneros. Hay bacilos cortos y largos, cocos con variada ordenación, células en forma de placas y metanógenos filamentosos. Unos son Gram positivos, otros Gram negativos.

Cuando los metanógenos crecen de forma autotrófica, el CO_2 es la principal fuente de carbono, sin embargo el crecimiento de casi todos ellos es estimulado por el acetato y en algunas especies por ciertos aminoácidos. En cultivos de laboratorio algunos Metanógenos del rumen necesitan de una mezcla de ácidos grasos.

Todos los metanógenos utilizan NH^+ como fuente de nitrógeno y algunas especies fijan N_2 (Methanosarcina, Methanococcus). El níquel es un componente de una coenzima metanogénica y está además presente en las enzimas hidrogenasa y CO deshidrogenasa.

Estos organismos también requieren hierro y cobalto para su crecimiento. Tienen algunas coenzimas exclusivas que son portadoras de C1 o intervienen en las reacciones de óxido-reducción como donadores de electrones. La reducción del CO_2 por lo general depende del H_2, pero el formiato, el CO e incluso el Fe sirven como donadores de electrones. El Fe es oxidado a Fe^{++} y los electrones liberados se combinan con los protones para formar H_2, que es el donador inmediato en la metanogénesis. También los alcoholes pueden aportar electrones en unos pocos casos.

En condiciones normales la variación de energía libre durante la reducción de CO_2 a metano con H_2 es -131 kJ/mol, pero debido a la influencia de la concentración de los reactantes en los ambientes naturales baja a cerca de -30 kJ/mol. La concentración de H_2 en las zonas metanogénicas no es mayor a 10 mM.

La etapa terminal de la metanogénesis es la de conservación de la energía. La reducción está asociada con la extrusión de protones a través de la membrana, creando una fuerza motriz de protones. La utilización del gradiente de protones mediante una enzima integrada a la membrana, impulsa la síntesis de ATP (Adenosin Trifosfato). Las metanobacterias autotróficas convierten el CO_2 en material celular a través de la vía del acetil utilizada también por las bacterias homoacetogénicas y las reductoras de sulfato, pero a diferencia de estas últimas los metanógenos integran las vías biosintética y bioenergética porque comparten intermediarios comunes. Las reacciones de la vía del acetil también están estrechamente relacionadas con la producción de metano a partir de compuestos de metilo o acetato.

El crecimiento de metanobacterias sobre compuestos de metilo también está ligado a la bomba de protones para la síntesis de ATP, pero en ausencia de H_2 la generación de los electrones necesarios requiere que alguno de los substratos se oxide. Esto se produce por una bomba de sodio ligada a la membrana citoplasmática, que establece un gradiente de sodio a través de la misma y conduce a la oxidación de grupos metilo a CO_2.

ESTUDIO DE LA MATERIA PRIMA PARA LA CORRESPONDIENTE ALIMENTACIÓN DE LOS DIGESTORES

2.1.- MATERIA PRIMA.

La cantidad y características de la materia orgánica (residuos de plantas y animales) para una buena digestión son muchas. En las áreas rurales el material digerible depende del clima, del tipo de agricultura practicada, en los animales usados y su comportamiento, los métodos para recoger los residuos, etc.

La producción de metano como combustible a partir de desechos orgánicos; sigue siendo poco rentable en la mayoría de los países industrializados, donde en términos de inversiones de capital la conservación del gas resulta más barata. Pero en el caso de países en vías de desarrollo donde se dispone de cantidades considerables de desechos provenientes de la agricultura, el proceso resulta muy interesante.

Bajo condiciones controladas, casi todos los materiales orgánicos pueden ser digeridos anaeróbicamente para producir metano, con la excepción de desperdicios de madera y el aserrín, debido a que estos materiales contienen lignina. Cuando se utilizan una mezcla de desechos, es esencial lograr un equilibrio de la relación entre carbono y nitrógeno, en una proporción típica.

Generalmente en las áreas rurales los materiales utilizados para producción de biogás son: estiércol animal, heces humanas y desperdicios vegetales, es decir cualquier material para abonos servirá. Lo que más éxito ha tenido en las pruebas es el estiércol de gallina, a pesar de que se usa con más frecuencia el estiércol de vaca.

2.2.- ESTIÉRCOL VACUNO.

2.2.1.- VALOR NUTRITIVO DE LA MATERIA PRIMA

- Contiene varias cantidades de N, P, K totales y otros elementos.
- La cantidad disponible para los cultivos depende de:
- La fracción en forma inorgánica.
- La fracción en forma orgánica.
- Las condiciones para la mineralización de las formas orgánicas a formas inorgánicas.

2.2.2.- LA MATERIA PRIMA COMO RECURSO.

- Provee nutrientes como P, N, Ca, K, Mg y mi micro nutrientes.
- Fomenta la cantidad de materia orgánica en el suelo.
- Mejora la estructura del suelo.
- Aumenta la capacidad de retener agua.
- Reduce la susceptibilidad a la compactación, la descorrentía y la erosión.

2.2.3.- EL VALOR DE LA MATERIA PRIMA COMO FERTILIZANTE.

- La producción agrícola de nuestros antepasados valoraba el estiércol como fertilizante.

- Los sistemas de producción animales actuales no valoran los nutrientes en los estiércoles y frecuentemente producen más estiércol que se puede utilizar en finca.

2.3.- SUERO DE LECHE.

El suero de leche se obtiene en el proceso de elaboración del queso. Por acción de los ácidos lácticos se produce la coagulación de la leche, separándose un líquido concentrado de proteínas de alto valor biológico, rico en sales minerales, aminoácidos y vitaminas.

2.3.1.- VALOR NUTRITIVO DE LA MATERIA PRIMA.

- El suero de leche contiene hidratos de carbono en forma de lactosa o azúcar de leche. La lactosa es un disacárido compuesto de una molécula de glucosa y una molécula de galactosa. Cien gramos de suero de leche líquido contienen 4,7 gr de azúcar de leche.

- El suero de leche tiene un perfil de minerales en el que destaca sobre todo la presencia de K, en una proporción de 3 a 1 respecto al sodio. Cuenta también con una cantidad relevante de otros minerales como Ca, P y Mg, y de los oligoelementos Zn, Fe y Co.

2.3.2.- PROPIEDADES DE LA MATERIA PRIMA.

El suero de leche contiene propiedades nutritivas, funcionales, solubilidad, formación de espumas y gelificantes.

Hay dos tipos de suero de leche, un suero dulce que proviene del cuajo y posee un pH de 5.9 – 6.6, y, un suero ácido que proviene del agente acidificante y que tiene un pH de 4.3 – 4.6. El suero de leche constituye del 80 - 90% del volumen de la leche y tiene el 50% de los nutrientes.

CUADRO No. 6
PROPIEDADES DE LOS TIPOS DE SUEROS

Propiedades	Suero dulce (%)	Suero ácido (%)
Sólidos	6,4	6,5
Agua	93,6	93,5
Grasa	0,05	0,04
Proteína	0,55	0,55
NNP	0,18	0,18
Lactosa	4,8	4,9
Sales mineral	0,5	0,8
Ca	0,043	0,12
P	0,04	0,065
Na	0,05	0,5
K	0,16	0,16
Cl	0,11	0,11
Ácido láctico	0,05	0,4

Fuente: www.uam.es/personal_pdi/ciencias/mrgarcia/Lacteos-2007/Subproductos.ppt

2.4.- PROPIEDADES DIGERIBLES DE LA MATERIA ORGÁNICA A FERMENTARSE.

Cuando la materia orgánica sufre un proceso de fermentación en el digestor, solo una parte es convertida en metano y lodo fertilizante lo que no se digiere sale con la nata y el efluente.

La digeribilidad es otra propiedad básica de la materia orgánica y que usualmente es expresada en los siguientes términos.

HUMEDAD:

Peso del agua al elevar la temperatura a 104^{o}C, hasta que pierda más peso.

SÓLIDOS TOTALES:

El peso que permanece después de haber extraído el agua

SÓLIDOS VOLÁTILES:

Es el peso de los sólidos orgánicos perdidos cuando estos se queman a 538^{o}C. Estos son considerados como los únicos que son atacados por las bacterias.

SÓLIDOS FIJOS:

El peso que permanece después de la ignición.

2.5.- DISPONIBILIDAD DE MATERIA PRIMA.

Tomando en cuenta que la construcción de pequeñas plantas de biogás están destinadas a áreas rurales, se consideró que dos de las materias primas más seguras en el campo son los diferentes tipos de estiércol y suero de leche; siendo ésta la razón para que se escogiera estos dos desechos.

La materia prima utilizada fue proporcionada por la Hacienda San José, ubicada en el Km. 24 Vía a la Costa.

UTILIDAD DEL BIOGAS

El gas que sale del digestor tiene un poder calorífico aproximado de 5000 Kcal/m^3, aunque éste puede variar dependiendo del tipo y calidad del estiércol utilizado. Con el uso del biogás se puede sustituir a la electricidad, al gas propano o al diesel como fuentes energéticas en la producción de electricidad, calor o refrigeración. En el sector rural el biogás puede ser utilizado como combustible en motores de generación eléctrica para autoconsumo de la finca o para vender a otras. Puede también usarse como combustible para hornos de aire forzado, calentadores y refrigeradores de adsorción. Es importante aclarar que este gas puede usarse como combustible sólo cuando el metano se encuentra en concentraciones mayores o iguales a 50 %.

Muchas fincas o instalaciones agropecuarias tienen la posibilidad de suplir la totalidad de sus requerimientos energéticos si se recolectan todos sus residuos orgánicos y se utilizan en la producción de biogás. En efecto, a partir del biogás se puede obtener energía eléctrica para alimentar sistemas de aire acondicionado o calentamiento ambiental de uso temporal; se puede tener iluminación eléctrica o a gas durante la noche; se puede hacer funcionar un sistema de ordeño con una frecuencia de dos veces al día durante 4 horas o tener la energía suficiente para ventilar ocasionalmente porquerizas, de acuerdo con el estado del clima o según la temporada.

Debido a que la producción de biogás es permanente durante todo el año, aunque no siempre constante debido a fenómenos climáticos como las estaciones, es más rentable tener instalaciones que consuman gas permanentemente que utilizarlo ocasionalmente o por cortos períodos, de otra parte es de tener en cuenta que la conversión de aparatos al funcionamiento con gas es actualmente muy sencilla. Las fincas de gran tamaño estarán en mayor capacidad de compensar la producción de energía del biogás con su utilización que las fincas pequeñas.

En la siguiente tabla se ilustra el valor combustible del biogás en comparación con otros combustibles.

CUADRO No. 7
VALORES PROMEDIO DEL PODER CALORÍFICO DE DIFERENTES COMBUSTIBLES Y SU EQUIVALENTE REFERIDO AL BIOGÁS

COMBUSTIBLE	Kcal/m^3	Kcal/kg	Cantidad equivalente a 1000m^3 de biogás
Biogás	5335	-	1000 m^3
Gas natural	9185	-	851 m^3
Metano	8847	-	603 m^3
Propano	22052	-	242 m^3
Butano	28588	-	187 m^3
Electricidad	860 kcal/kw/h	-	6203 kw/h
Carbón		6870	776 kg
Petróleo		11357	553 lts

Fuente: Formulación de un Programa de Normalización para Aplicaciones de Energías Alternativas, UPME, Marzo 2003.

Los aparatos de uso constante durante todo el año son las Bombas eléctricas, Ventiladores, Motores, Compresores y la Iluminación, por lo que la producción de electricidad a partir del biogás es una opción interesante para su utilización en fincas, instalaciones agropecuarias y muchos sectores urbanos.

3.1.- PRINCIPIOS DE LA COMBUSTIÓN.

El biogás mezclado con aire puede ser quemado en un amplio espectro de artefactos descomponiéndose principalmente en CO_2 y H_2O. La combustión completa sin el exceso de aire y con oxígeno puro, puede ser representada por las siguientes ecuaciones químicas:

$$\mathbf{CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2\ H_2O}$$

$$\mathbf{H_2S + 3/2\ O_2 \rightarrow\ SO_2 + H_2O}$$

$$\mathbf{CO_2 \rightarrow\ CO_2}$$

El requerimiento de aire mínimo sería del 21% pero esta cifra debe ser aumentada para lograr una buena combustión. La relación aire-gas puede ser ajustada aumentando la presión del aire, incrementando la apertura de la válvula dosificadora de gas (el biogás requiere de una apertura 2 a 3 veces mayor a la utilizada por el metano puro y modificando la geometría del paso de aire desde el exterior).

Debido al contenido de dióxido de carbono, el biogás tiene una velocidad de propagación de la llama lenta, 43 cm/seg y por lo tanto la llama tiende a escaparse de los quemadores. La presión para un correcto uso del gas oscila entre los 7 y los 20 mbar. Se debe tener especial cuidado en este aspecto debido a que se deberán calcular las pérdidas de presión de salida del gasómetro (adicionándole contrapesos en el caso de gasómetros flotantes).

CUADRO No. 8
UTILIZACIÓN Y CONSUMO DE BIOGÁS

Equipo	Consumo de biogás en m^3/hora
Estufa de cocina	0.0150 – 0.0200
Fogón para cocinar alimentos de los alimentos o frutas	0.3
Lámpara de gas equivalente a una bombilla de 60 W	0.1
Calentadores para lechones o cría de levante	0.25
Calentadores para cría de pollos	0.15
Nevera de absorción de amoníaco	-
Motor biogás – diesel por b.h.p	0.42
Producción de 1 kWh de corriente eléctrica con una mezcla biogás diesel	0.7

Fuente: Formulación de un Programa de Normalización para Aplicaciones de Energías Alternativas, UPME, Marzo 2003.

3.2.- SISTEMA DE CO GENERACIÓN.

Dichos sistemas buscan la mayor eficiencia en el aprovechamiento de la energía contenida en el biogás.

En estos casos la potencia mecánica provista por el eje del motor es aprovechada para generar electricidad a través de un generador. Simultáneamente y por medio de una serie de intercambiadores de calor ubicados en los sistemas de refrigeración (agua y aceite) del motor y en la salida de los gases de escape, se recupera la energía térmica liberada en la combustión interna. De este modo se logra un mejor aprovechamiento de la energía.

La difusión de estos sistemas estará condicionada por la rentabilidad final. Sin embargo representa la utilización más racional del biogás ya que se obtiene una forma de energía extremadamente dúctil como la electricidad al mismo tiempo que una fuente de calor muy necesaria para la calefacción de digestores en zonas frías.

Las fincas de ganado bovino, porcino y los criaderos de pollo consumen importantes cantidades de energía eléctrica en el funcionamiento de sus equipos. Los hatos ganaderos utilizan electricidad en las labores de ordeño y casi un 30% del total para refrigeración de leche, las porquerizas para obtener una gran cantidad de calor circulante y los galpones para elevar la temperatura ambiente, sea mediante el calentamiento de agua, con la utilización de lámparas eléctricas o mediante calentadores de propano para mantener la temperatura. Todas estas necesidades de calefacción y electricidad se pueden suplir con el uso de Biogás, además de ser una manera racional de utilizar los residuos orgánicos y evitar enviar gas metano a la atmósfera.

3.3.- QUEMADORES.

El biogás debe ser consumido en un quemador apropiado para lograr su máxima eficiencia. La intensidad de la llama que es una medida de la velocidad a la que el gas va por su cañería de distribución es baja con relación al gas natural. Esto significa que cuando se suministra por medio de un quemador hecho para un gas natural, la llama tiende a extinguirse.

El biogás es un combustible gaseoso convencional y que se puede usar en cualquier dispositivo con quemador de gas al que se le ha regulado la potencia calorífica (más baja) y la velocidad de combustión de la llama. La presión tan baja del gas a la que sale del almacenador dificulta su transporte a distancia, a no ser que se utilice un comprensor.

Para este tipo de gas es necesario adaptar diferentes quemadores dependiendo de su uso. Las más obvias aplicaciones son: cocina, iluminación y refrigeración. Para motores de combustión interna con encendido de chispa pueden funcionar con biogás adaptando adecuadamente a su carburador.

3.3.1.- BIOGÁS PARA COCINA.

Las cocinas y calentadores son fácilmente modificables, agrandando el paso del gas de los quemadores. La amplia disponibilidad de este tipo de equipos hace promisoria e interesante su utilización a gran escala.

Estufas fabricadas para ser operadas con biogás se pueden obtener de un número de fuentes en varios países. Siendo estas de hierro fundido con inyectores de bronce de cañón y su eficiencia de combustión es de 60%. Con una presión de gas de más o menos 8 cm de columna de agua, que se puede controlar en el acumulador de gas colocando pesas. Si el surtidor de aire está bien ajustado, la llama es azul y no produce humo, con una temperatura aproximadamente de 800^{o}C.

La combustión del gas es casi completa y por tanto minimiza los olores desagradables; los accesorios de cocina se encuentran con quemadores sencillos o dobles, cada uno consume de 0.25 – 1.25 m^3/hora. Las estufas diseñadas para cocinas de hoteles u otras instalaciones consumen iguales cantidades por quemador.

Los quemadores infrarrojos comúnmente utilizados en la calefacción de ambientes (especialmente en criadores y parideras) presentan como ventaja su alta eficiencia lo cual minimiza el consumo de gas para un determinado requerimiento térmico.

3.3.2.- COMBUSTIÓN DIRECTA.

El biogás recuperado puede ser usado directamente como combustible para calentamiento ambiental, de Calderas, de Hornos y en Refrigeración. Ante los elevados costos de los combustibles fósiles, el uso de biogás como combustible automotor es una alternativa muy interesante, teniendo en cuenta que su contenido de metano y otros gases es muy similar al del Gas Natural extraído del subsuelo o al del gas licuado de petróleo.

En las calderas se utilizan para calentamiento de agua ya sea en el campo o en la ciudad. En las fincas porcinas los Hornos se utilizan en vez de calentadores de quema directa. Los hatos ganaderos destinan diariamente de 15 a 30% de su carga eléctrica para el enfriamiento de la leche. Requieren 0.014 toneladas de refrigerante / hora de ordeño/ cabeza/ por día. Para el pre-refrigerado se utiliza agua refrigerada o glicol. El consumo eléctrico equivalente es casi un 15% de la producción potencial de biogás de la misma vaca (una ton de refrigerante = 12,000 BTU/hora). Comercialmente se consiguen refrigeradores a gas de doble efecto, producen agua caliente y fría simultáneamente, para aplicaciones de más de 30 toneladas.

3.4.- BIOGÁS PARA ILUMINACIÓN.

Las lámparas a gas tienen una muy baja eficiencia y el ambiente donde se las utilice debe estar adecuadamente ventilado para disipar el calor que generan.

Las lámparas de fabricación que operan con biogás ya se pueden obtener en el mercado. Estas lámparas requieren de una caperuza de gasa incandescente similar a la usada por las lámparas de Koleman o gas propano. Las lámparas generalmente son de 100 bujías, y consumen aproximadamente 1.1m3/hora. Arden mejor con una presión de gas alta y aún entonces pueden parecer un tanto tenues.

Esto se puede superar en gran parte usando una trampa de gasolina, la cual consiste en un recipiente con gasolina con aceite solvente a través de la cual pasa el gas enriqueciéndose con la mezcla, 4 litros serán suficientes para el alumbrado de más o menos 1500 horas (1 año a 4 h/día).

3.5.- BIOGÁS PARA USO EN MOTORES.

El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto a gasolina como diesel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, por otro lado una desventaja es su baja velocidad de encendido.

En los motores de Ciclo Otto el carburador convencional es reemplazado por un mezclador de gases. Estos motores son arrancados con nafta y luego siguen funcionando con un 100% de biogás con una merma del la potencia máxima del 20% al 30%.

A los motores de Ciclo Diesel se les agrega un mezclador de gases con un sistema de control manteniendo el sistema de inyección convencional. De esta manera estos motores pueden funcionar con distintas proporciones de biogás diesel y pueden convertirse fácil y rápidamente de un combustible a otro lo cual los hace muy confiables. El gasoil no puede ser reemplazado en los motores funcionando a campo del 85% al 90%, debido a que la autonomía conseguida menor comparada con la original.

La proporción de H_2S en el biogás causa deterioros en las válvulas de admisión y de escape de determinados motores obligando a un cambio más frecuente de los aceites lubricantes.

El grado de deterioro en los motores varía considerablemente y los resultados obtenidos experimentalmente suelen ser contradictorios. Los motores a biogás tienen amplio espectro de aplicación siendo los más usuales el bombeo de agua, el picado de raciones y el funcionamiento de ordeñadoras en el área rural.

3.6.- DEPURACIÓN.

Las principales impurezas del biogás producidas en el proceso de fermentación anaeróbica, son el bióxido de carbono y el sulfuro de hidrógeno, y como el gas se genera en un medio acuoso se produce también agua de arrastre. Si se eliminan el CO_2, H_2S y agua de arrastre se tendría prácticamente al gas natural sintético, pero el hacerlo significaría aumentar el costo de gas y sofisticar el sistema. Tratándose de instalaciones destinadas al medio rural deberá optarse por alternativas sencillas o baratas de depuración, siempre y cuando se justifique ésta, ya que depende el uso a darse el biogás.

3.6.1.- ABSORCIÓN DEL CO_2.

El gas que sale del colector, tiene CO_2 en un porcentaje de 40 a 45, el mismo que debe ser eliminado para darle mayor valor calorífico, esto se hace haciéndolo pasar a través de agua calcinosa.

3.6.2.- ABSORCIÓN SÓLIDA.

Este método se emplea para reducir la contaminación de H_2S al biogás y consiste en hacer pasar el biogás a través de un separador que contenga oxido férrico, en su forma más sencilla puede utilizarse limaduras de hierro oxidada al aire empacada en aserrín para que haya el mayor contacto posible con el gas.

La reacción que se lleva a cabo es :

$$\mathbf{Fe_2O_3 + 3\,H_2O \longrightarrow 2\,Fe(OH)_3}$$

$$\mathbf{2\,Fe(OH)_3 + 3H_2S \longrightarrow 2\,FeS + S + 6\,H_2O}$$

La regeneración del Fe_2O_3 se lleva a cabo con un simple lavado y exposición al aire.

$$\mathbf{4\,Fe + 3\,O_2 \longrightarrow 2\,Fe_2O_3 + 4\,S}$$

Este método es el más conveniente para reducir el contenido de H_2S en el biogás, eliminando así el riesgo de contaminación en: compresores, tanques de alimentación o almacenamiento y en general en equipos donde vaya hacer utilizado.

3.6.3.- ABSORCIÓN DE AGUA.

El agua de arrastre del biogás puede ser reducida haciendo pasar el gas a través de trampas ligeramente enfriadas para condensar el vapor de agua y eliminar.

La determinación de la humedad antes y después del separador indica que este es capaz de retener toda el agua de arrastre permitiendo pasar solo la humedad de saturación del biogás (30 ml/m^3).

El gas se utilizará prácticamente en seco y libre de H_2S, eliminando así los riesgos de corrosión.

Cabe anotar que se puede eliminar también el agua de arrastre del gas, haciendo pasar a través de un disecante que absorbe vapor de agua como es el cloruro de calcio.

3.7.- COMPRESIÓN Y ALMACENAMIENTO.

El gas puede ser utilizado directamente del contenedor primario en casi todos los equipos, pero en algunas ocasiones es necesario tener un sistema de almacenamiento.

El biogás no se licua fácilmente las condiciones críticas del metano son:

-82.5^oC y 45.78 atmósfera, por lo que no es fácil comprimir y embotellar como el gas licuado (butano y propano). Lo que normalmente se hace es comprimirlo como gas.

3.8.- BIOGÁS PARA USO VEHICULAR.

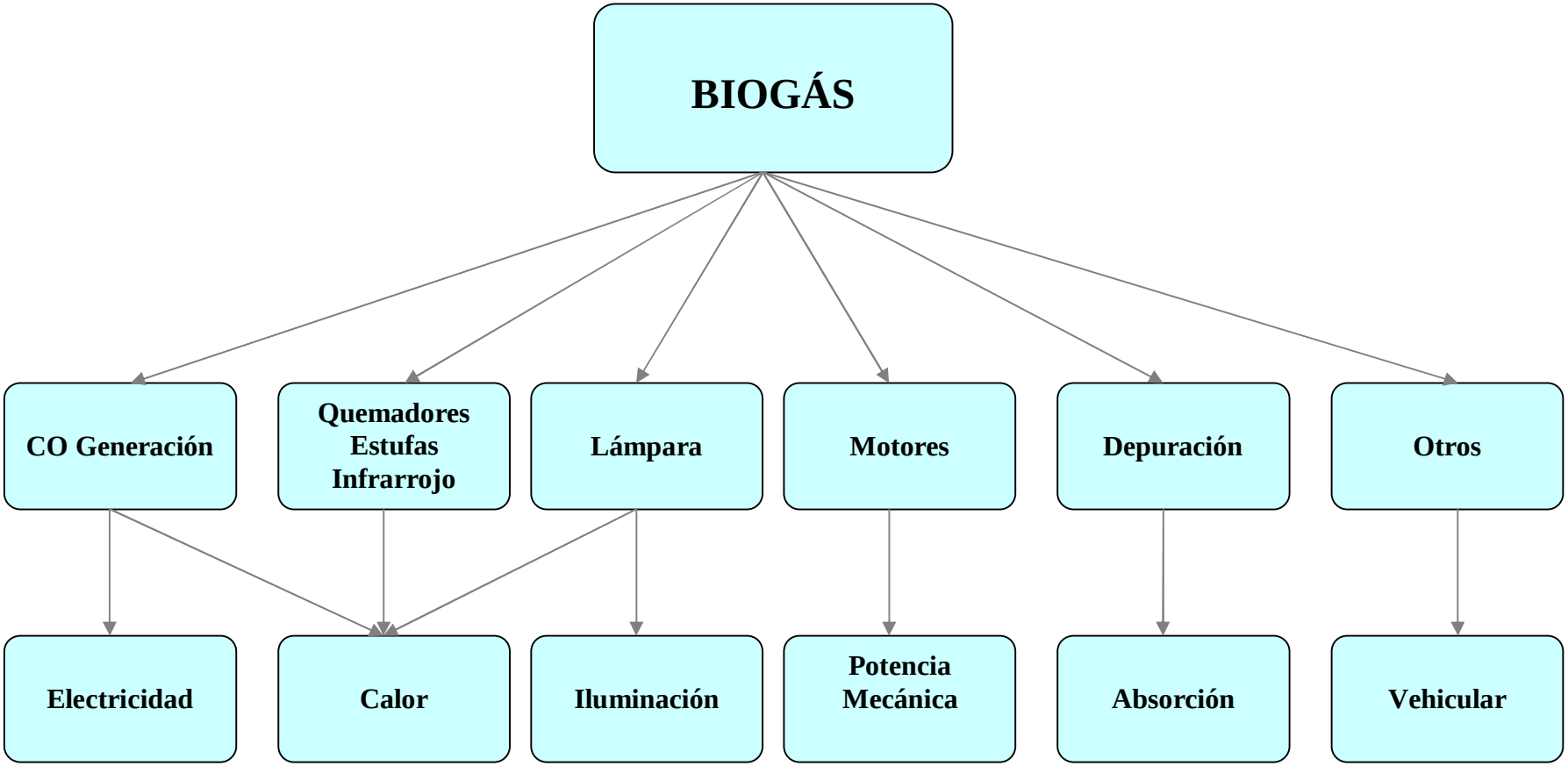
El uso vehicular del biogás es posible y en la realidad se ha empleado desde hace bastante tiempo. Sin embargo su difusión está limitada por una serie de problemas:

- A fin de permitir una autonomía razonable el gas por su volumen debe ser almacenado en contenedores cilíndricos de alta presión (200 a 300 bar.); este tipo de almacenamiento implica que el mismo deba ser purificado antes de su compresión.

- La conversión de los motores es cara (instalación similar a la del Gas Natural de Combustión) y el peso de los cilindros disminuye la capacidad de carga de los vehículos.

- Por último la falta de una adecuada red de abastecimiento y la energía involucrada en la compresión a gran escala de este tipo de uso.

Problemas que están tomando relativa importancia debido a lo avanzado en la difusión de la tecnología del GNC.


BIOGÁS
CO Generación
Quemadores
Estufas
Infrarrojo
Lámpara
Motores
Depuración
Otros
Electricidad
Calor
Iluminación
Potencia
Mecánica
Absorción
Vehicular

BIODIGESTORES

Un eficiente manejo del estiércol de bovinos y cerdos, además del agua de lavado de las instalaciones, se lo realiza con la construcción de un biodigestor que 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 (estiércol vacuno) en forma conjunta con el agua (producto del lavado de las instalaciones de ordeño), y un ducto de salida en el cual el material ya digerido por acción bacteriana abandona el biodigestor.

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.

4.1.- CLASES DE PLANTAS DE BIOGAS.

Digestores, Plantas de Fermentación o de Biogás, así indistintamente denominadas, son cámaras herméticas, que han sido construidas para la producción de biogás en numerosos sitios del mundo, algunos con propósitos experimentales y otros con fines industriales en lugares en donde el gas resulta ya sea demasiado caro o difícil de obtener.

Los Biodigestores pueden ser Tipo Batch o Continuos:

Discontinuas o Batch:.

Son digestores en los cuales se carga la materia prima, se sella y después de algún tiempo, empieza la reacción y producción de gas, cuando la producción de gas ha cesado, el reactor es vaciado y vuelto a llenar.

Continuos:

A este tipo de digestores es necesario una alimentación continua, pequeñas cantidades de materia prima son añadidas al digestor todos los días, así la producción de lodos fertilizantes es más o menos continua y segura, estos digestores son eficientes cuando la materia prima consiste de desperdicios fácilmente digeribles de fuentes cercanas, como fosas sépticas, desagües, letrinas, establos, gallineros, algas marinas, etc.

Los digestores de carga continua pueden tener dos diseños básicos:

Mezclados verticalmente:

Consisten de cámaras verticales en donde es añadida la materia prima. Los lodos llegan al fondo, de donde se mueven por todo el digestor hasta que llegan arriba. En los dos de una cámara los lodos pasan directamente hacia afuera por un tubo, en los de doble los lodos fluyen hacia arriba, dirigiéndose a la otra cámara.

Desplazamiento horizontal:

Consiste en un largo cilindro paralelo al piso. Mientras el lodo es dirigido va desplazándose hacia la salida, pasando por un punto de máxima fermentación en el camino.

Existe una gran variedad de digestores, especialmente aplicados al medio rural, entre otros y estos pueden ser:

4.1.1.- BIODIGESTOR TIPO HINDÚ O DE CAMPANA FLOTANTE.

El primer biodigestor de este tipo fue puesto en funcionamiento regular en Bombay (India), en el año de 1960. Entre 1962 y 1977, fueron construidas allí cerca de 470000 plantas con proyecciones para el periodo 1978 – 1985 de 20 mil unidades por año. La principal característica de la planta de tipo Hindú es que el proceso se lleva a cabo a una presión constante, lo cual significa una gran ventaja, ya que permite y garantiza el buen funcionamiento de los aparatos que trabajan con el biogás como combustible. Esta condición se logra al utilizar un elemento denominado "campana o domo" que es un recipiente colocado, sobre la boca del digestor, tal como lo muestra la figura 3.

Tradicionalmente la campana o domo ha sido fabricada en lámina metálica, aunque tiene algunas desventajas, en especial debido a la oxidación, lo cual implica tener que hacerle un mantenimiento frecuente. Se puede utilizar materiales plásticos como la plastilona de PVC expandido (utilizado para carpas de camión) y la fibra de vidrio. Sin embargo, este tipo de materiales presentan el inconveniente de tener muy poco peso, y por lo tanto, la presión del biogás es muy baja.

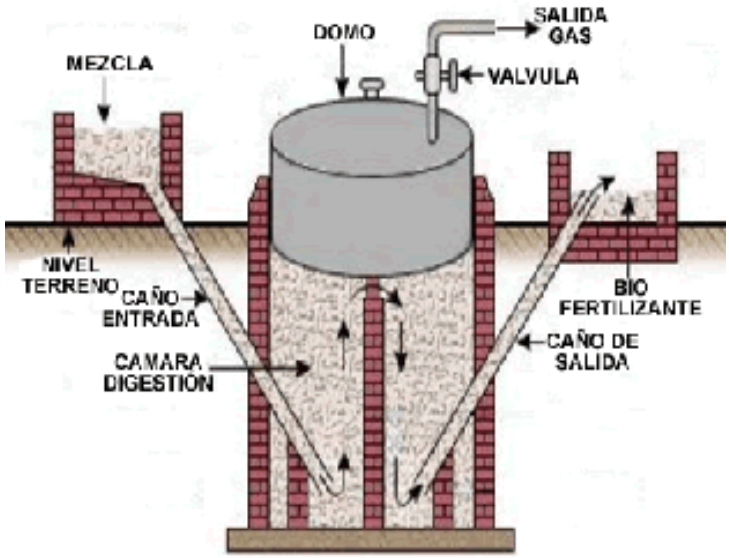


Fig. No. 3: Planta de biogás Tipo Hindú o de Campana Flotante
Fuente: El Biogás. Jairo Chaúr Bernal

La capacidad de la planta tipo Hindú la determina el tamaño del digestor. Por lo general, el fondo del tanque de alimentación o de carga está por encima del extremo libre de la tubería de descarga, así que la misma cantidad de carga adicionada es descargada por el tubo de salida.

El gas producido se almacena en la campana, de modo que cuando este se genera, la campana sube y cuando se consume desciende. La presión del gas está determinada por el peso y el área de la campana.

Cuando se utiliza desechos agrícolas, hay necesidad de picarlos muy bien, y aún así se corre el riesgo de que la planta se bloquee o tape con las fibras, lo cual se podría evitar con inspecciones diarias a las tuberías y con la agitación adecuada del substrato.

Como ventajas de este tipo de plantas, se pueden señalar las siguientes:

- Fácil manejo y operación.
- La presión del gas es constante e independiente del volumen almacenado.
- Se puede conocer la cantidad del gas almacenado a través del nivel de la campana.
- Mientras que presenta estas desventajas:
- Alto costo de la campana, tanto por su elaboración como por su mantenimiento.
- A pesar de obtenerse presión constante, su magnitud es relativamente baja (entre 0.08 – 0.15 m.c.a.)

Hay varios modelos de plantas tipo Hindú, pero todas emplean el principio señalado.

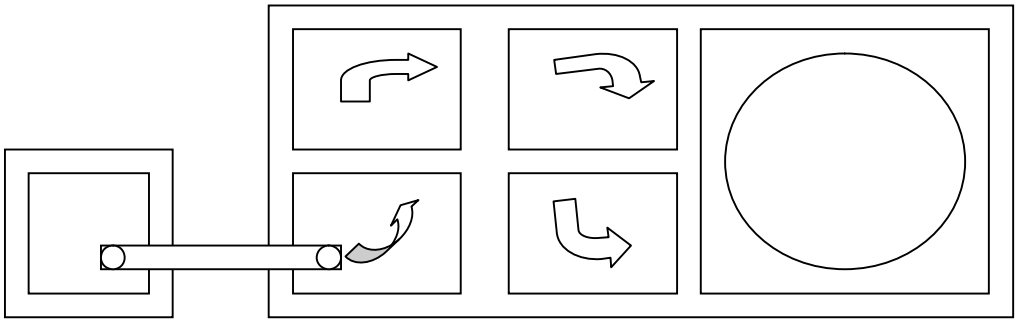


Fig. No. 4 Trayectoria del Substrato dentro del Biodigestor
Fuente: El Biogás. Jairo Chaúr Bernal

Así por ejemplo, en la figura 3, se muestra una planta con digestor simple en forma vertical, utilizado en plantas pequeñas. Si se desea establecer un flujo adecuado del substrato para prevenir escapes de éste sin digerir, se puede utilizar un digestor con una o varias divisiones intermedias denominadas deflectores, como se muestra en la figura 5:

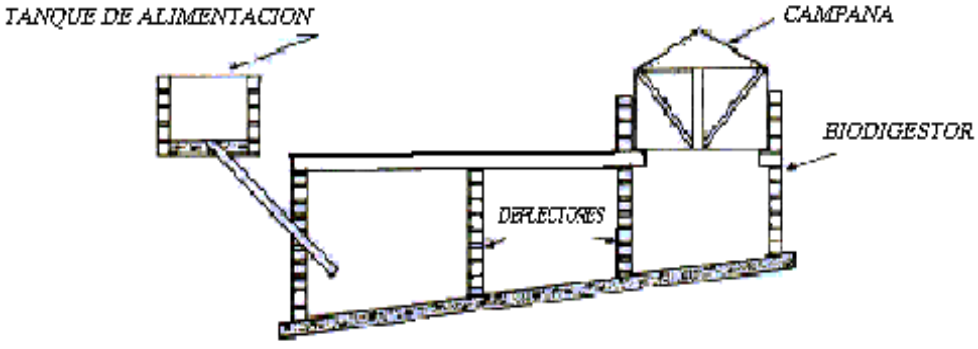


Fig. No. 5 Planta Tipo Hindú con Deflectores
Fuente: El Biogás. Jairo Chaúr Bernal

4.1.2.- BIODIGESTOR TIPO CHINO O DE CÚPULA FIJA.

En las década del 60, China realizó algunas experiencias con la planta de biogás Hindú, con buenos resultados en cuanto a funcionamiento, pero debido a que la producción de láminas metálicas para la fabricación de la campana, no era suficiente para llevar acabo un programa masivo de instalación de biodigestores, este tipo de planta se descartó.

Entonces se trabajó en la concepción de plantas que no utilizarán parte móvil y que fuesen construidas exclusivamente con mampostería o materiales propios de cada región.

En este tipo de plantas, el gas generado es almacenado en un pequeño volumen libre en la parte superior del digestor, pero cuando se ocupa este volumen y sigue generándose biogás, el substrato es desplazado hacia una cámara adyacente denominada **tanque de compensación.** Cuando el biogás es consumido, el substrato retorna nuevamente al digestor. Una planta típica china se muestra en la Figura 6.

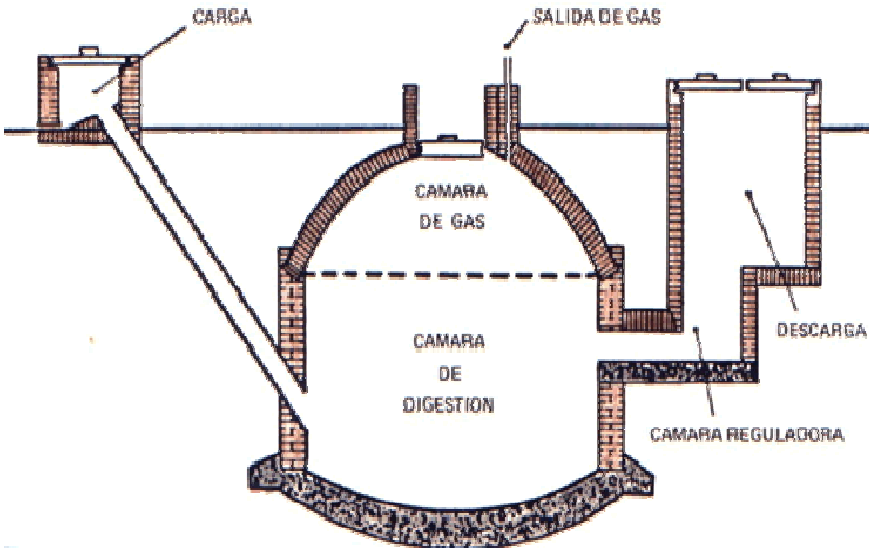


Fig. No. 6 Planta de Biogás Tipo Chino o de Cúpula Fija
Fuente: El Biogás. Jairo Chaúr Bernal

Lo anterior significa, que el nivel del substrato y, por consiguiente, la presión del gas, varían de acuerdo al volumen del gas atrapado en la parte superior del digestor (cúpula). Este hecho establece la diferencia entre este tipo y la Hindú que trabaja a presión constante.

El tanque de compensación debe tener una capacidad equivalente al volumen del gas almacenado. Cuando se presenta una acumulación excesiva del gas, la presión de éste hace que el nivel del substrato baje más de lo previsto en el diseño, lo cual puede ocasionar el derrame del material almacenado en el tanque de compensación.

Para evitar problemas de sobre presiones, se recomienda ubicar el extremo de la tubería de carga en el interior del digestor, de tal forma que si el nivel del substrato desciende más de lo previsto, el tubo permita escape de gas, disponiéndose así de una válvula de seguridad.

El domo o cúpula del digestor debe ser completamente hermético, cualidad que implica cierto grado de complejidad, en la construcción y costos adicionales en aditivos químicos o recubrimientos impermeables. Al igual que las plantas tipo hindú, las tipos chinos puede tener muchas variantes en su forma y en los accesorios adicionales que mejoran o facilitan su funcionamiento y operación.

Como ventajas de este tipo de plantas, se pueden señalar las siguientes:

- No posee partes móviles.
- No posee partes metálicas lo cal implica poco mantenimiento.
- Tiene una vida útil larga.

Sin embargo, presenta las desventajas de no funcionar a presión constante y de requerir buena experiencia para su construcción perfectamente hermética.

4.1.3.- BIODIGESTOR TIPO MIXTO.

En Centroamérica y, específicamente en Guatemala, se han adelantado algunas investigaciones enmarcadas dentro del proyecto de leña y fuentes alternas de energía, por parte del Instituto Centroamericano de Investigaciones y Tecnología Industrial (ICAITI), las cuales recomiendan la construcción de un tipo denominado "digestor de desplazamiento horizontal", cuya configuración general se muestra en la figura 7 :

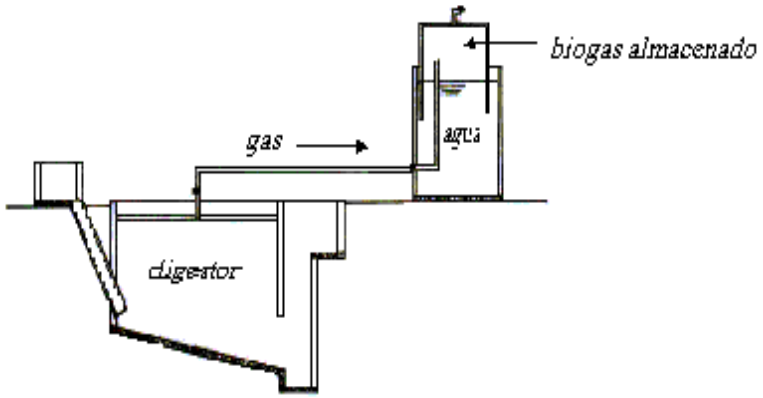


Fig. No. 7 Digestor de Desplazamiento Horizontal
Fuente: El Biogás. Jairo Chaúr Bernal

Por sus características de construcción, esta planta corresponde al tipo Chino, pero con un elemento adicional, que consiste en un recipiente para el almacenamiento del gas producido, el cual permite mantener en el sistema de suministro de éste, una presión constante, característica típica de la planta tipo Hindú.

Los recipientes para el almacenamiento pueden ser de dos tipos: el primero, es el denominado gasómetro, mostrado en la figura 8 compuesto de dos tanques cilíndricos de diferentes diámetros.

El de mayor tamaño sirve como base, permanece lleno de agua, mientras que el pequeño hace las veces de campana, introducida boca abajo en el cilindro base.

El otro tipo de recipiente no es más que una bolsa hecha en lona plástica resistente (similar a las utilizadas en las carpas para camión), para impedir su deformación, la bolsa se introduce dentro de una estructura rígida de madera o guadua. Una placa de concreto sostenida sostenido por una cuerda sirve para mantener constante la presión del gas.

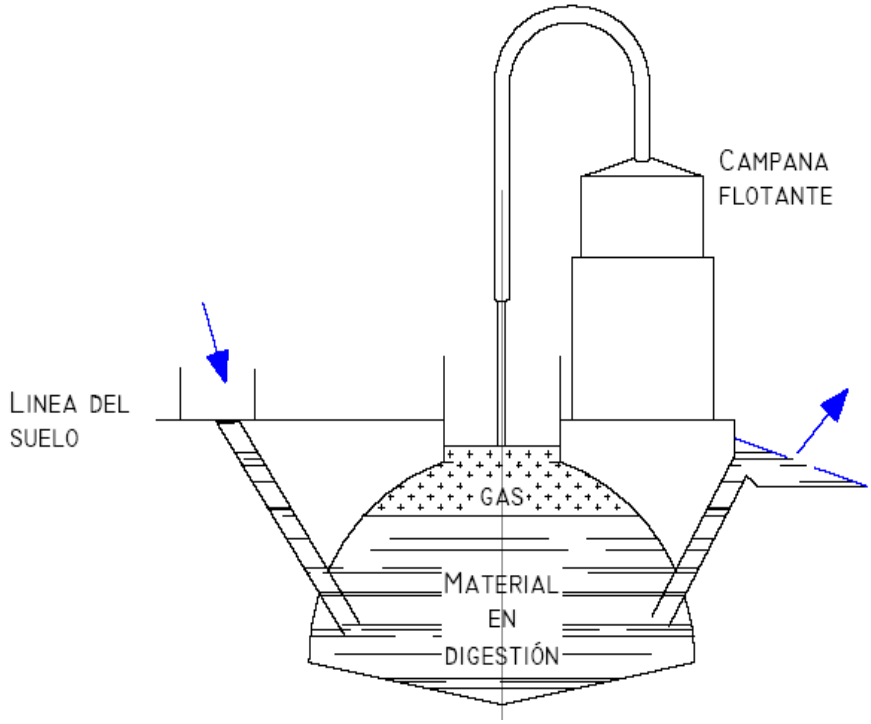


Fig. No. 8 Digestor Tipo Mixto de Cúpula Fija y Campana Flotante
Fuente: El Biogás. Jairo Chaúr Bernal

4.1.4.- BIODIGESTOR TIPO TAIWÁN O DE ESTRUCTURA FLEXIBLE.

La inversión alta que exigía construir el biodigestor de estructura fija resultaba una limitante para el bajo ingreso de los pequeños granjeros. Esto motivó a ingenieros en la Provincia de Taiwán en los años sesenta (FAO, 1992) a hacer biodigestores de materiales flexibles más baratos. Inicialmente se usaron nylon y neopreno pero ellos demostraron ser relativamente costoso. Un desarrollo mayor en los años setenta era combinar PVC con el residuo de las refinerías de aluminio producto llamado "el barro rojo PVC." Esto fue reemplazado después por polietileno menos costoso que es ahora el material más comúnmente usado en América Latina, Asia y África. Desde 1986, el Centro para la Investigación en Sistemas Sustentables de Producción Agrícola (CIPAV), ha estado recomendando biodigestores de plástico económico como la tecnología apropiada por hacer mejor uso de excrementos del ganado, reduciendo la presión así en otros recursos naturales. En este digestor el gas se acumula en la parte superior de la bolsa, parcialmente llena con Biomasa en fermentación; la bolsa se va inflando lentamente con una presión de operación baja, pues no se puede exceder la presión de trabajo de la misma.

Fig. No 9 Digestor Tipo Taiwán o de Estructura Flexible
Fuente: Biodigestores Una Alternativa a la Autosuficiencia Energética. Fundación Hábitat, Quimbaya – Quindío

Este biodigestor presenta los siguientes componentes:

Tubo de admisión: es un tubo de plástico de 20 a 30 cm de diámetro, que debe usarse para la admisión de desechos y debe sumergirse en los residuos al menos a 15 cm de profundidad, lo cual previene el escape del metano, es necesario utilizar un pozo para limpiar le material celulítico antes de ingresar al biodigestor, porque este puede obstruir con facilidad la entrada de este.

Fermentador y bolsa de almacenamiento: este es el principal componente del biodigestor y la bolsa de almacenamiento esta en la parte superior del biodigestor. El tamaño del fermentador depende de la cantidad de desechos a fermentar por 0.3 m^3, pero este no debe ser muy grande, si la cantidad de desechos a tratar en elevada se pueden conectar cámaras múltiples por medio del tubo plástico este sistema posee una mayor área superficial es muy eficiente, su limitante es que puede resultar muy costoso. Es deseable que el biodigestor este aislado y cuente con un dispositivo de calentamiento y de agitación. Un mecanismo bueno seria la construcción de una pared de tierra en la parte norte del biodigestor para prevenir el enfriamiento a causa de los vientos, en el lado sur un colector solar simple para la calefacción esto con el fin de mantener la temperatura del fermentador constante. La bolsa de almacenamiento de gas puede incorporarse al digestor o estar independiente y puede instalarse cerca de la cocina.

Tubo del afluente: el diámetro del tubo debe ser de 4 a 6 pulgadas de material de plástico, este se localiza por debajo del tubo de entrada en el lado opuesto del digestor, el tubo del afluente también debe ser sumergido a 15 cm de profundidad del fermentador para prevenir el escape del gas, se debe mantener el flujo constante.

Tubo de metano: este tubo se ubica en la parte de la bolsa de almacenamiento de metano, este tubo debe tener 2 pulgadas de diámetro y se usa para transportar el biogás a su lugar de uso, el tubo posee una salida que está sumergida en agua y que drena la humedad condensada.

Dispositivo de seguridad: este se utiliza para prevenir la ruptura del fermentador debido a presiones altas de la fermentación anaeróbica de los desechos. Consiste en una botella de al menos 10 cm de profundidad insertada al tubo de salida, cuando la presión del digestor es mayor a la del agua, se libera el biogás.

Tubo de limpieza: el lodo que se sedimenta en el fondo del biodigestor debe ser removido cada dos años, la tubería sirve para evacuar estos lodos por mecanismos como bombeo, se pueden disponer cuando el biodigestor es muy largo de un tubo en un extremo del biodigestor y otro tubo en la mitad del mismo.

Instalación: lo primero que se debe hacer es preparar un foso que debe ser un poco mas grande que el biodigestor, luego se procede a instalar el biodigestor y los tubos de admisión y de afluentes. Después de tres o cuatro días se llena el foso con agua, se descargan los desechos de animales, el agua que rodea el digestor puede ayudarle a expandirse completamente y disminuye la tensión que ejerce en los tubos de entrada y de salida. Dependiendo de la época del año en la que se haga la instalación el proceso de fermentación se hace más rápido en verano y más lento en invierno.

Mantenimiento: estos biodigestores pueden tener una durabilidad de 20 años, en el caso de presentarse rupturas de este pueden ser fácilmente reparadas del mismo material del biodigestor usando un adhesivo fuerte, la parte reparada debe permanecer seca hasta su endurecimiento por completo. Cuando se necesita el metano solo se ejerce una pequeña presión sobre la bolsa de almacenamiento moviendo de esta forma el biogás a donde se necesita.

Ventajas de los biodigestores de plástico económicos:

- Este tipo de digestor es muy económico y fácil de transportar por su bajo peso, en especial en aquellos sitios de difícil acceso.
- Al ser hermético se reducen las pérdidas
- Las plantas del biogás pueden ofrecer varias ventajas a las comunidades rurales, incluyendo:
- Una reducción del trabajo físico, sobre todo de las mujeres
- Una reducción de la presión en los recursos naturales como combustible y carbón de leña
- Producción de energía barata
- Mejora el sistema de cultivo reciclando estiércol a través del biodigestores, producción de gas para cocinar y fertilizante (una vez el estiércol ha atravesado un biodigestor se vuelve un fertilizante orgánico excelente).
- Reducción de la polución, sobre todo en áreas urbanas.

Entre las desventajas del biodigestor de plástico se halla:

- Su bajo tiempo de vida útil, lo que hace necesario montar una nueva instalación cada tres años.
- También es muy vulnerable a sufrir roturas por condiciones climáticas adversas, por las acciones del hombre y los animales.

4.1.5.- BIODIGESTOR FLOTANTE.

Un rasgo innovador de usar polietileno tubular es que los biodigestores pueden localizarse para flotar en cualquier superficie de agua, con la mitad sumergida, su boca se localizada sobre el nivel de agua más alto, mientras la toma de corriente debe ajustarse a un objeto flotante, como un coco seco o un recipiente de plástico. En Viet Nam más de 5% de los biodigestores flotantes se ubican en estanques que facilitan su instalación, generalmente donde el espacio de las granjas es limitado.

Funcionamiento de Digestor:

Es posible usar cualquier tipo de excreta, pero la producción de gas es más alta con estiércol de cerdo y mezclas de excrementos de pollos y ganado. La cantidad requerida depende de la longitud del digestor, pero generalmente es aproximadamente 5 kg de estiércol fresco (1 kg la materia sólida) para cada 1 m. A esto deben agregarse 15 litros de agua para que el volumen de los sólidos represente 5 por ciento aproximadamente. No es aconsejable usar menos agua, esto puede llevar a la formación de escoria sólida en la superficie del material. Cuatro a cinco cerdos (peso vivo supuesto de 70 kg) proporcionará bastante estiércol para producir el gas requerido para una familia de cuatro a cinco personas. Se ha experimentado este biodigestor con excrementos humanos siendo una manera eficaz de reducir transmisión de enfermedades y dar otro uso a las letrinas.

Fig. No. 10 Biodigestor Flotante
Fuente : Biodigestores Una Alternativa a la Autosuficiencia Energética. Fundación Hábitat, Quimbaya – Quindío

Mantenimiento:

- Los digestores deben cercarse para evitar averías en el sistema.
- Debe proporcionarse un tejado para prevenir el daño al plástico por la radiación ultravioleta. Cualquier tipo de cobertura en material tradicionalmente usado en la granja es conveniente.
- Para aumentar la presión de gas al cocinar, se puede atar un objeto pesado (ladrillo o piedra) al fondo del depósito o apretar un cordón alrededor del medio.
- La lluvia no debe entrar en el digestor, porque puede causar dilución excesiva.
- El nivel de agua en la válvula de seguridad debe verificarse semanalmente.
- Se debe cubrir el digestor diariamente y asegurarse que el tubo de la salida no este bloqueado.

4.1.6.- BIODIGESTOR CON TANQUE DE ALMACENAMIENTO TRADICIONAL Y CÚPULA DE POLIETILENO.

Otro tipo de planta de producción de biogás que ha logrado disminuir los costos hasta 30 % con respecto a los prototipos tradicionales, es la que se caracteriza por tener una estructura semiesférica de polietileno de película delgada en sustitución de la campana móvil y la cúpula fija, y un tanque de almacenamiento de piedra y ladrillo como los empleados en los prototipos tradicionales. Este tipo de instalación posee a su favor que resulta más económica que los sistemas tradicionales; por ejemplo, una instalación de 4 m3 puede costar, aproximadamente, $550 USD, y la estructura de polietileno flexible puede llegar a alcanzar hasta diez años de vida útil.

Fig. No 11 Biodigestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno
Fuente: Biodigestores Una Alternativa a la Autosuficiencia Energética. Fundación Hábitat, Quimbaya – Quindío

4.1.7.- BIODIGESTORES DE ALTA VELOCIDAD O FLUJO INDUCIDO.

Estos son los utilizados comúnmente en instalaciones industriales o semi-industriales. Generalmente trabajan a presión constante, por lo que se podrían catalogar como Digestores Tipo Hindú Modificado.

Se les conoce de ordinario como CSTD (Conventional Stirred Digestor). Se diferencian de los digestores convencionales en que se les ha agregado algún tipo de agitación mecánica, continua o intermitente, que permite al material aún no digerido, entrar en contacto con las bacterias activas y así obtener buena digestión de la materia orgánica, con tiempos de retención hidráulica relativamente cortos, de hasta 15 días.

Este es un concepto nuevo dentro de la tecnología de fermentación anaeróbica, combina las ventajas de varios tipos de digestores en una sola unidad, facilitando el manejo y procesamiento de material biodegradable de diverso origen y calidad.

Este es un concepto nuevo dentro de la tecnología de fermentación anaeróbica, combina las ventajas de varios tipos de digestores en una sola unidad, facilitando el manejo y procesamiento de material biodegradable de diverso origen y calidad.

Generalmente los desechos de origen animal, excrementos de cualquier clase, son procesados en digestores convencionales de tipo continuo, que periódicamente reciben carga y entregan por desalojo efluente ya digerido. El tiempo de operación continua de estos equipos es bastante largo y requiere un mínimo de atención al momento de cargarlos, como es el evitar introducir elementos extraños tales como arena, piedra, metal, plásticos o cualquier otro tipo de material lento o imposible de digerir. Luego de unos cuatro o cinco años se debe detener su funcionamiento para hacer una limpieza general y retirar sedimentos no digeridos.

Ventajas de los Digestores de alta velocidad o flujo inducido:

- Menor tiempo de operación.
- Evita la formación de una costra de material dentro del digestor.
- Logra la dispersión de materiales inhibitorios de la acción metabólica de las bacterias, impidiendo concentraciones localizadas de material potencialmente tóxico para el sistema.
- Ayuda a la desintegración de partículas grandes en otras más pequeñas, que aumentan el área de contacto y por lo tanto la velocidad de digestión.
- Mantiene una temperatura más uniforme de la biomasa dentro del digestor para una reacción y degradación más uniformes.
- Inhibe el asentamiento de partículas biodegradables de mayor tamaño.
- Permite una más rápida separación y el ascenso del gas a medida que se va formando dentro del digestor.
- Mejora las condiciones de control y estabilidad de la biomasa dentro del digestor.

Precauciones a tener en cuenta con los Digestores de alta velocidad o flujo inducido:

Cuando al digestor convencional de tipo continuo se introducen indiscriminadamente materiales orgánicos de origen vegetal como pasto u hojas de árbol, sobrantes de cosechas o basuras biodegradables, que tienden a flotar en el agua por su alto contenido celulósico, terminan por atascarlo y parar su operación efectiva en poco tiempo, incluso días, dependiendo de la cantidad de material suministrado. Para evitar taponamientos, la materia de origen vegetal se procesa en digestores convencionales en tandas o carga única (Digestores tipo Batch) en ciclos de 60 a 80 días, lo que supone que para el suministro de gas y efluente durante un año, se debe disponer mínimo de cuatro unidades con una producción alternada. Estas soluciones representan un alto costo y un gran esfuerzo.

4.1.8.- BIODIGESTORES DE SEGUNDA Y TERCERA GENERACIÓN.

Buscando un tipo de digestor ideal, se llegó al concepto de digestor de Segunda y Tercera generación, siendo los clásicos modelos Hindú o Chino, los de la primera.

Este nuevo modelo de digestor retiene la materia de origen vegetal, que normalmente tiende a flotar, dentro de las zonas de máxima actividad bacteriana como son la inferior y la de sobrenadante intermedia, para que las bacterias tengan tiempo de atacar, hidrolizar y procesar efectivamente el material en descomposición; al mismo tiempo permite que los gases y el material parcialmente degradado sigan el recorrido del proceso normal dentro del digestor.

El Digestor de Segunda Generación divide al convencional en dos cámaras, una de ellas a un nivel inferior del resto del digestor. Utiliza compartimentos en ferro cemento o mampostería, espaciados adecuadamente para retener los materiales y las partículas sólidas grandes, pero permite el paso del gas y los líquidos. A este modelo se puede adicionar hasta un 25% de carga de origen vegetal sin que se atasque o paralice la operación.

El Digestor de Tercera Generación modifica radicalmente al de tipo Hindú tradicional, aunque sigue los lineamientos de esta escuela. Ha logrado una eficiencia de trabajo en forma continua que permite cargarlo con toda clase de materiales, hasta un 50 o 60% de materia de origen vegetal mezclada con excrementos, empleando una sola unidad que trabaja en forma de digestor continuo.

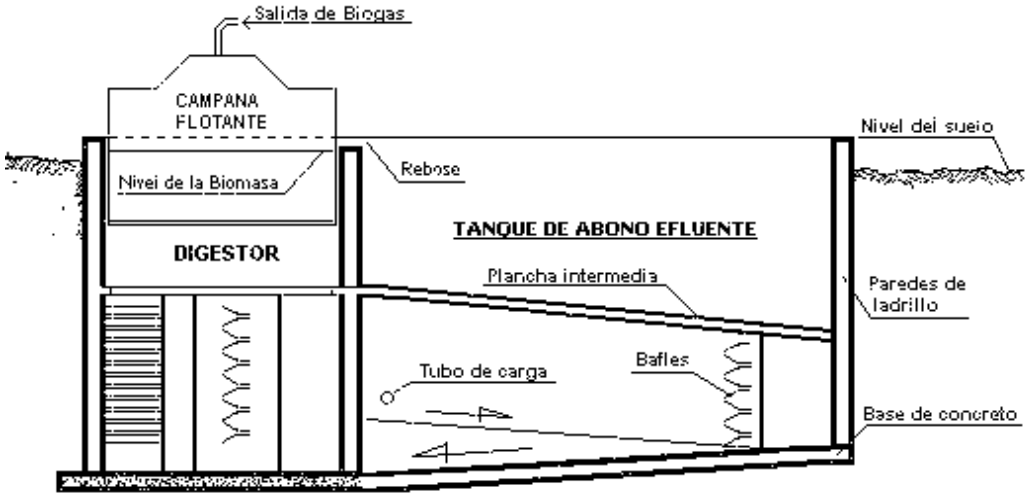


Fig. No. 12 Biodigestor de Tercera Generación
Fuente: Biodigestores Una Alternativa a la Autosuficiencia Energética. Fundación Hábitat, Quimbaya – Quindío

4.1.9.- BIODIGESTORES INDUSTRIALES.

Los biodigestores industriales de producción de biogás emplean tanques de metal que sirven para almacenar la materia orgánica y el biogás por separado.

Este tipo de planta, debido al gran volumen de materia orgánica que necesita para garantizar la producción de biogás y la cantidad de biofertilizante que se obtiene, se diseña con grandes estanques de recolección y almacenamiento construidos de ladrillo u hormigón.

Con el objetivo de lograr su mejor funcionamiento se usan sistemas de bombeo para mover el material orgánico de los estanques de recolección hacia los biodigestores, y el biofertilizante de los digestores hacia los tanques de almacenamiento. También se utilizan sistemas de compresión en los tanques de almacenamiento de biogás con vista a lograr que éste llegue hasta el ùltimo consumidor.

Para evitar los malos olores se usan filtros que separan el gas sulfhídrico del biogás, además de utilizarse válvulas de corte y seguridad y tuberías para unir todo el sistema y hacerlo funcionar según las normas para este tipo de instalación.

La tendencia mundial en el desarrollo de los biodigestores es lograr disminuir los costos y aumentar la vida útil de estas instalaciones, con el objetivo de llegar a la mayor cantidad de usuarios de esta tecnología.

Fig. No . 13 Biodigestores Industriales.
Fuente: Biodigestores Una Alternativa a la Autosuficiencia Energética. Fundación Hábitat, Quimbaya – Quindío

OBTENCIÓN DE BIOGAS A PEQUEÑA ESCALA

5.1.- PRUEBA EXPERIMENTAL.

Con el fin de obtener más información sobre la obtención de biogás, se inició la investigación a pequeña escala, utilizando un digestor de capacidad 5 galones, cuya carga se realizó el 15 de Agosto del 2007 con la siguiente composición:

TABLA No. 1
ALIMENTACIÓN AL DIGESTOR

MATERIAL	PESO (Lbs)	% EN PESO
Estiércol vacuno	18	50
Suero de leche	18	50
TOTAL	36	100

A dicha mezcla se la somete a una previa agitación, dándonos una consistencia pastosa, se alimenta el digestor ocupando 80% de éste, y se la somete a una temperatura constante de 30^{o}C (temperatura ambiente) cubriéndolo de arena para no perder su calor, por la parte superior del digestor sale una manguera conectada a un gasómetro para la recolección del biogás producido.

El gasómetro es una variación de la técnica de desplazamiento de agua; se introduce el gas en un recipiente invertido, sumergido en otro recipiente con mayor capacidad, desplazando algo de agua y provocando que el recipiente flote parcialmente de acuerdo a la producción de gas.

5.2.- BIOGAS OBTENIDO DEL DIGESTOR.

El gas obtenido de este digestor es recibido en el gasómetro, se nota trazas a los 5 días de funcionamiento, así sucesivamente hasta los 30 días de funcionamiento día que se realiza la descarga, detectándose los siguientes datos:

TABLA No. 2
PRODUCCIÓN DE BIOGAS

Fecha	Número de días	Producción diaria cc	Producción acumulada cc
15 Agos.	1	0	0
16	2	0	0
17	3	0	0
18	4	0	0
19	5	0	0
20	6	Trazas	Trazas
21	7	Trazas	Trazas
22	8	Trazas	Trazas
23	9	Trazas	Trazas
24	10	180	180
25	11	360	540
26	12	360	900
27	13	900	1800
28	14	1530	3330
29	15	1440	4770
30	16	1620	6390
31	17	1710	8100
01-Sep	18	1665	9765
2	19	1800	11565
3	20	1710	13275
4	21	1620	14895
5	22	1620	16515
6	23	1575	18090
7	24	1620	19710
8	25	1530	21240
9	26	1440	22680
10	27	1170	23850
11	28	1170	25020
12	29	1080	26100
13	30	900	27000

El día 13 de septiembre se suspende la producción de éste, por que observamos que comienza a disminuir la producción.

DIAGRAMA No. 1

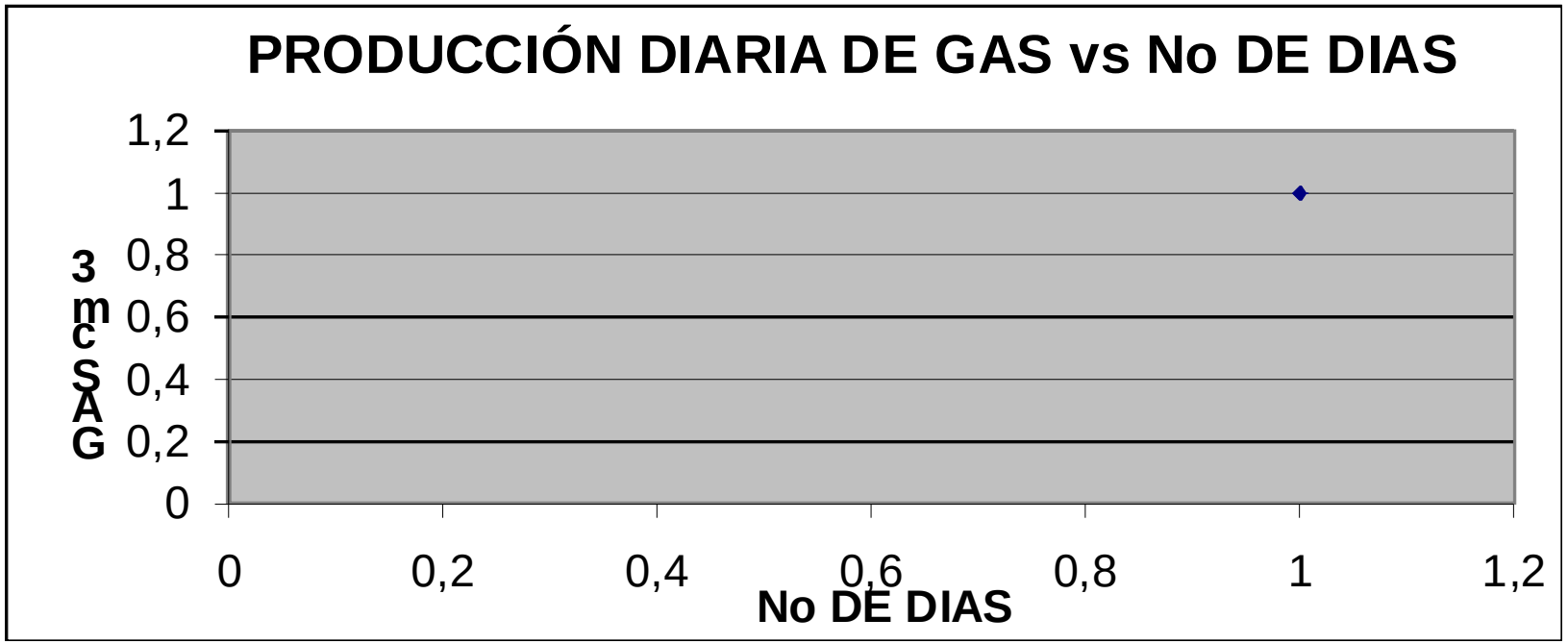
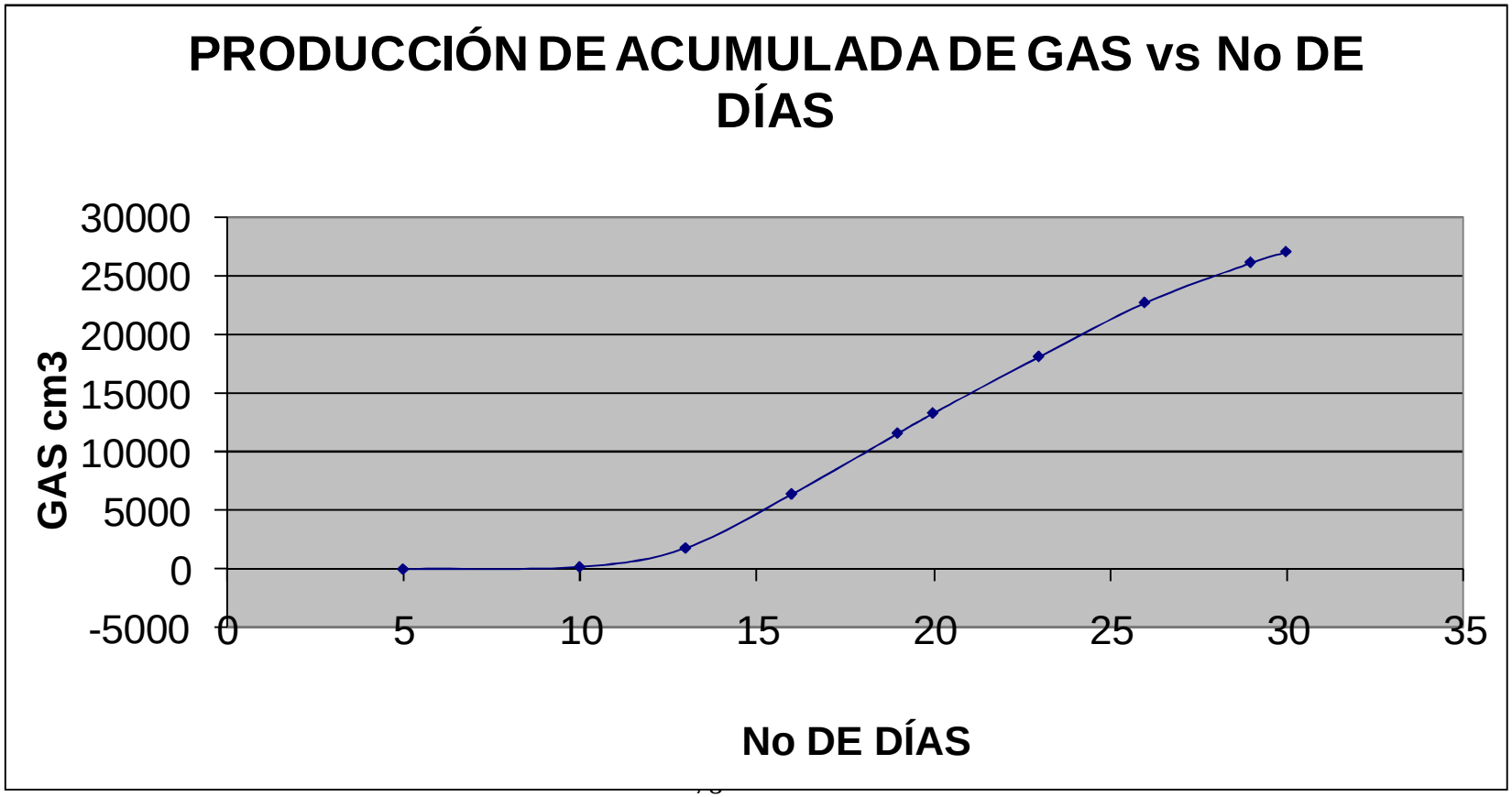


DIAGRAMA No. 2



DISEÑO DEL EQUIPO

FORMULAS EMPLEADAS Y CALCULOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO

6.1.- CALCULO DEL VOLUMEN DEL TANQUE.

Para este trabajo se quiso hacer un tanque en forma de mezclador pero como no va ha ver ninguna reacción exotérmica, se va a utilizar un tanque de polietileno con las siguientes dimensiones:

D = 0.6 Mts

h = 0.8 Mts

Fórmula:

$$\mathbf{V} = \frac{\Pi D^2 h}{4}$$

$$\mathbf{V} = \frac{\Pi (0.6)^2 (0.8)}{4}$$

$$\mathbf{V} = 0.22\ m^3$$

Entonces:

Capacidad del tanque	**m^3**	**Lts.**	**Gal.**
Volumen Total	0.22	226.2	60

Para los siguientes cálculos se utilizó los siguientes criterios de diseño empleados por **Richter (CEPIS, TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PAISES EN DESARROLLO, 1997).**

Para una cámara cilíndrica los criterios de diseño son:

$$D / d = 3$$

$$e / D = 1/10$$

$$2.7 \leq H / d \leq 3.9$$

$$0.75 \leq h / d \leq 1.3$$

$$B / d = 1/4$$

$$w / d = 1/5$$

Para la evaluación del tiempo de contacto en función del gradiente de velocidad (G), se emplea la tabla No. 3.

TABLA No. 3

TIEMPO DE CONTACTO (seg)	**G, s^{-1}**
20	1000
30	900
40	790
> 40	700

Fuente. (Criterios de diseño de Richter)

6.2.- CALCULO DEL DIÁMETRO DEL AGITADOR.

$$\mathbf{D / d} = 3$$

$$\mathbf{d} = D / 3$$

$$\mathbf{d} = 60 / 3$$

$$\mathbf{d} = 0{,}20 \text{ m}$$

6.3.- CALCULO DE ALTURA DEL LÍQUIDO.

Calculamos la altura del líquido de acuerdo al volumen de operación del tanque.

El volumen de operación del tanque es del 80% del volumen total del tanque.

Entonces:

Volumen de operación del tanque = Volumen total x 80%

Volumen de operación del tanque = $(0.22 \times 0.8)\ m^3$

Volumen de operación del tanque = $0.176\ m^3$

Entonces:

H = altura del líquido

Fórmula:

$$\mathbf{H} = \frac{V}{\frac{\Pi D^2}{4}}$$

$$\mathbf{H} = \frac{0.176\ m^3}{\frac{\Pi (0.6)\ m^2}{4}}$$

$$\mathbf{H} = 0.62\ m$$

Así:

$$\mathbf{H / d} = \frac{0{,}62\ m}{0{,}2\ m}$$

$$\mathbf{H / d} = 3{,}1$$

CONDICIÓN:

$$\mathbf{2.7 \leq H / d \leq 3.9}$$

$$2.7 \leq 3{,}1 \leq 3.9$$

6.4.- CALCULO DEL ANCHO DEL AGITADOR.

$$\frac{\mathbf{w}}{\mathbf{d}} = 1/5$$

$$\mathbf{w} = d / 5$$

$$\mathbf{w} = \frac{0{,}20\ \text{m}}{5}$$

$$\mathbf{w} = 0{,}04\ \text{m}$$

6.5.- CALCULO DE LA ALTURA ENTRE EL AGITADOR Y EL FONDO DEL TANQUE.

Si **h = d** entonces

h = 0, 20 m

CONDICIÓN:

$$\mathbf{\leq\ h / d\ \leq\ 1.3}$$

$$\leq\ 0.20 / 0{,}20\ \leq\ 1.3$$

$$0.75\ \leq\ 1\ \leq\ 1.3$$

6.6.- CALCULO DE POSICIÓN DE CADA UNA DE LAS PALETAS.

Para nuestro propósito empleamos 3 paletas:

$$\mathbf{B / d} = 1/3$$

$$\mathbf{B} = d / 3$$

$$\mathbf{B} = \frac{0{,}20}{3} \text{ m}$$

$$\mathbf{B} = 0{,}067 \text{ m}$$

6.7.- CALCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR DE AGITACIÓN.

Para la obtención de la potencia del motor utilizamos la siguiente fórmula:

$$\mathbf{P = K \ell N^3 d^5}$$

Donde:

P = Potencia requerida
K = Constante (Tabla No. 5)
ℓ = Densidad del compost (Kg/m^3)
N = Velocidad del agitador (Revoluciones/seg)
d = Diámetro del agitador (m)

Para hallar **N** (velocidad del agitador) aplicamos la siguiente fórmula:

$$N_{Re} = \frac{\ell \; N \; d^2}{\mu}$$

Donde:

N_{Re} = Número de Reinolds

ℓ = Densidad del compost (Kg/m^3)

d = Diámetro del agitador (m)

μ = Viscosidad (Kg/m-sg)

N = Velocidad del agitador (RPS)

Los valores de densidad y viscosidad de los obtiene del siguiente cuadro:

TABLA No. 4
PROPIEDADES DEL COMPOST

M.O. (materia orgánica)	35 – 40%
C / N	12 -
Humedad	40 – 45%
Nitrógeno total	2 - 2,6
Fósforo	1,5 – 2%
Potasio	1.50%
Calcio	2%
Magnesio (Mg)	1 - 1,3%
Cobre (Cu)	0,5 p.p.m.
Zinc (Zn)	160 p.p.m.
Manganeso (Mn)	500 p.p.m.
Presentación	gránulos de aprox. 2 mm
Densidad	831 Kg/m^3
Viscosidad	0,045 Kg/m-sg

Fuente: El Biogás en la Agricultura, Instituto de Suelos y Fertilizantes, Academia de Investigaciones en Ciencias Agrícolas, Provincia Sicuani, República Popular China,

Entonces:

$$10000 = \frac{831{,}3 \text{ kg/m}^3 \text{ x N x } (0.2)^2 \text{ m}^2}{0{,}045 \text{ kg/m-sg}}$$

$$\mathbf{N} = \frac{450}{33.24}$$

N = 13.54 rps

Entonces:

$$\mathbf{P = K \ell N^3 d^5} \qquad \textbf{(ítem 6.7.)}$$

La constante (K) se la obtiene de la siguiente tabla:

Tabla No. 5

AGITADOR	K
Hélices de 3 aletas	0.32
Hélices de 2 - 3 aletas	1
Turbina de 6 aletas planas	6.3
Turbina de 6 aletas curvas	4.8
Turbina, ventilador, 6 aletas	1.65
Turbina 6 aletas punta de flecha	4
Turbina de paletas planas, 2 paletas	1.7
Turbina de impulsor, 6 aletas curvas	1.08
Turbina impulsor	1.12

Fuente. (Criterios de diseño de Richter)

Como empleamos 3 aletas entonces nuestra constante K será 0.32

Remplazando nos quedara:

$$\mathbf{P} = 0.32\ (831\ Kg/m^{3)})\ (13.54\ rps)^3\ (0.2\ m)^5$$

$$\mathbf{P} = 211.3\ \text{wattios} \times \frac{1\ Hp}{745.7\ \text{wattios}}$$

$$\mathbf{P} = \frac{0.28}{0.7}\ Hp$$

$$\mathbf{P} = 0.4\ Hp$$

Entonces de acuerdo a los resultados que obtuvimos utilizaremos para nuestro biodigestor un motor de ½ Hp.

De acuerdo a los datos obtenidos el biodigestor funcionará con los siguientes parámetros de operación:

- **Volumen total del tanque** = 0,22 m^3
- **Volumen de operación del tanque** = 0,176 m^3
- **Diámetro del tanque** = 0,6 m
- **Altura del tanque** = 0,8 m
- **Altura del líquido** = 0,62 m
- **Diámetro del agitador** = 0,2 m
- **Ancho del agitador** = 0,04 m
- **Número de paletas** = 3
- **Espacio entre cada paleta** = 0,067 m
- **Potencia del motor** = ½ Hp

CONSTRUCCIÓN DE LA UNIDAD

7.1.- COSTOS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO.

El desarrollo del diseño de un equipo requiere la consideración de muchos factores como:

7.1.1.- COSTOS DIRECTOS.

TABLA No. 6

ESPECIFICACIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO USD	VALOR TOTAL USD
Tanque 60 gal	1	25	25
Platina 2x1/8	1	7	7
Tubo cuadrado 1x1,5	1	8	8
Resistencia	1	22	22
Termocupla	1	20	20
Temporizadores	2	15	30
Botona doble	1	5	5
Relay	2	4,5	9
Contactor	1	10	10
Tubo de ensayo 20x150cm	1	4,5	4,5
Motor 1/2 HP	1	75	75
Chumacera 3/4"	2	3	6
Polea 10x1	1	10	10
Tubo de acero 3/4"	1	5	5
Regatones de caucho 1"	8	0,5	4
Conector plástico 1/2"	2	4	8
Neplo perdido 1/2	2	0,4	0,8
Neplo1/2"	3	0,65	1,95
Codos1/2	2	0,4	0,8
Llave de paso	4	5	20
T galvanizada 1/2	1	0,2	0,2

Continuación de la tabla No. 6:

ESPECIFICACIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO USD	VALOR TOTAL USD
Nudo galvanizado 1/2	1	0,7	0,7
Manómetro	1	2	2
Acople	1	3,5	3,5
Terminales	1	5	5
Tubo con recubrimiento 1/2	3	2	6
Cable 3x14	3	1,9	5,7
Otros			50
Subtotal			345,15

7.1.2.- COSTOS INDIRECTOS.

TABLA No. 7

	USD
Mano de Obra	70
Suministro (agua, energía)	50
Otros (lunch, transporte)	80
Subtotal	200
TOTAL	545.15

7.1.3.- COSTO TOTAL.

Inversión de Capital Fijo = Costo Directo + Costo Indirecto

Inversión de Capital Fijo = $345,15 + $200

Inversión de Capital Fijo = $545,15 USD

El costo total de la construcción del Biodigestor Tipo Piloto es de $ 544.15 USD. Los valores aquí expuestos, hacen que sea factible la construcción de biodigestores tipo piloto para el uso en las zonas rurales.

7.2.- DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

El Biodigestor se compone de un tanque de polietileno de 80 cms de altura y 60 cms de diámetro. En la instalación se cubrió la parte superior con su respectiva tapa y se le adicionó una bincha para que el tanque este herméticamente cerrado y no se escape el gas.

1.- Dispone de una salida lateral, una entrada lateral y una salida en la parte inferior del tanque controladas por llaves de paso y accesorios:

- La primera salida corresponde al flujo del gas controlada por el manómetro; esta se encuentra en la parte superior del tanque.
- La segunda salida corresponde a la extracción de la muestra de la mezcla (estiércol de vaca más suero de leche). Esta extracción se la hace para controlar su pH, esta salida se encuentra en la parte inferior del tanque.
- Una entrada se la realizó con el fin de que si varía el pH y se sale de los rangos (6 - 7), esta se pueda controlar mediante la adición de cal. Esta entrada se encuentra en la parte superior del tanque.

2.- Dispone de un eje mezclador y paletas mezcladoras de acero inoxidable, esto con dos finalidades; primero, mezclar de forma homogénea el alimento que se encuentra dentro del tanque, y segundo, repartir también de forma homogénea el calor con el cual debe permanecer la mezcla, esta debe de ser de (37 - 40^{o}C).

3.- Para que el agitador funcione se utiliza un conjunto de transmisión el cual consta de:

- Un motor marca Siemens de 1120 rpm, ½ hp, 110 – 220 Voltios, monofásico.
- Una polea
- Una banda tipo A No 42

4.- En la parte inferior del tanque dispone de un Termostato con su respectiva Resistencia, este equipo mantendrá la temperatura dentro del tanque en 37 ^{o}C.

5.- Consta de una Caja de Control en la cual está conformada por un contactor, dos Relay, y dos Temporizadores, un Termómetro, esto hace que el equipo sea automático. Esta automatización controla la agitación y el tiempo en que se va a dejar en reposo la mezcla, osea que cada 15 minutos se agita la mezcla 15 segundos haciendo que en 1 hora la mezcla se agite 1 minuto.

6.- El soporte del equipo está formada por tubo cuadrado de 1X1.5", esta base se la hizo en forma de silla con dos agarraderas para que el Biodigestor no se mueva durante la agitación.

7.3.- OPERACIÓN DEL EQUIPO

PASOS PARA LA PRODUCCIÓN DE METANO

1.- Comprobar que no existe fuga mediante prueba hidrostática.

2.- Realizar la mezcla (estiércol de vaca y suero de leche) con las proporciones que se han calculado.

3.- Ingresar la mezcla al biodigestor.

4.- Cerrar herméticamente el biodigestor con el fin de que no haya fuga de gas.

5.- Verificar que todas las conexiones y condiciones estén listas antes de prender el equipo.

6.- Se procede a prender el equipo

7.- Esperar la producción de gas a los 7 – 10 días después de la carga.

8.- Descargar a los 30 días el biodigestror para hacer una limpieza y realizar una nueva carga. Esto es de acuerdo al criterio del usuario.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

8.1.- BIOGÁS GENERADO.

Obteniendo los datos del diseño del equipo, podremos calcular un valor aproximado de generación de Biogás.

Este valor se lo calcula en base al volumen de operación del tanque:

Volumen de operación: (176 lts)

De acuerdo a este dato, la alimentación al biodigestor será:

TABLA No. 8
ALIMENTACIÓN AL DIGESTOR

MATERIAL	PESO (Lbs)	% EN PESO
Estiércol vacuno	194	50
Suero de leche	194	50
TOTAL	388	100

La alimentación al digestor se la realizó el día 30 de Agosto del 2007.

Relacionando esta alimentación con los datos obtenidos de la producción de biogás del biodigestor a escala, donde la alimentación fue de 36 lbs en un volumen de 16 lts tenemos:

La producción en el biodigestor a escala fue de: 27 lts de biogás

En el biodigestor diseñado se obtendrá una producción aproximada de:

16 lts de mezcla	27 lts de biogás
176 lts de mezcla	**X**

X = 297 lts de Biogás

Entonces en el biodigestor diseñado, se va a producir aproximadamente 297 lts de biogás.

8.2.-ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL GAS BIOLÓGICO.

Las principales propiedades físicas del gas biológico son el resultado de la mezcla se sus dos principales constituyentes: metano y gas carbónico.

El metano que tiene un solo átomo de carbono gaseoso en las condiciones normales y difícilmente licuificable a la temperatura ordinaria y a una alta presión. El metano es el protocarburo de hidrógeno, siendo un gas incoloro, inodoro, no soluble en el agua, cuya densidad es de 0,55 gr/lts; arde con una llama poco visible.

El bióxido de carbono es un gas inerte y su densidad es mayor que la del aire 1.5239 gr/lts, su fórmula CO_2.

El gas biológico es más ligero que el aire, siendo su densidad aproximadamente 0.77 gr/lts, es poco visible dependiendo de su pureza, incoloro, inodoro una vez en combustión, cuya llama es azul brillante.

8.3.- ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL GAS BIOLÓGICO.

La composición del biogás puede variar dependiendo de diversos factores tales como: temperatura, pH, composición, características de la alimentación, etc.

En forma general el gas está constituido por:

TABLA No. 9

COMPONENTE	FÓRMULA	% MOLAR
Metano	CH_4	50 – 70
Dióxido de carbono	CO_2	35 – 40
Nitrógeno	N_2	0,5 – 3
Hidrógeno	H_2	1 – 3
Sulfuro de Hidrogeno	H_2S	menor a 0,2

Fuente: Peter, Meynell; Methane Planning a Digestor.

En los análisis realizados al biodigestor, se determinó la composición de biogás obtenido, en función del tiempo, observándose la siguiente variación.

TABLA No. 10
% MOLAR

Muestra Recogida		Componente		
Día	**No Días**	**Aire**	**Metano**	**$C0_2$**
5 Sep.	7	45,65	33,21	21,24
8	10	6,27	41,83	51,9
11	13	7,54	54,46	37,99
14	16	9,68	60,71	29,61
18	21	12,43	60,21	27,36
22	25	2,59	44,37	53,04

Se puede observar de esta manera que el mayor % de metano se obtiene el día 14 de septiembre a los 16 días de cargado el digestor.

El día 28 de septiembre se realizó la descarga debido a la reducción de metano, se procedió a tomar muestra del subproducto (Bioabono) para su respectivo análisis.

En la composición del biogás, se determina el porcentaje de aire en forma general, incluyendo los elementos contenidos en él, tales como: Nitrógeno, Hidrógeno, Oxígeno, Ácido sulfúrico.

8.4.- BALANCE DE MATERIA.

Con los datos reportados se realizan los siguientes cálculos:

$$E = S$$

$$A + B = C + D$$

A = Peso de la alimentación = 194 lbs. (estiércol de vaca)

B = Peso del suero de leche = 194 lbs.

C = Peso del residuo o lodo = 387.13 lbs.

D = Peso de gas generado = X

Reemplazando en la ecuación tenemos:

194 lbs + 194 lbs = 387.13 lbs + X

X = 388 - 387.13 = 0.87 lbs de gas generado

X = 0.87 lbs = 394.55 grs de gas generado

Peso del gas experimental = W = 394.55 grs de gas generado

Comprobación:

Para la comprobación asumimos que el biogás producido, se comporta como un gas ideal, y tomando en cuenta la composición que obtuvimos descrita anteriormente tenemos:

Ecuación de gases ideales:

PV = nRT

Donde: **PV** = W / MRT

W = Peso del gas = PVM / RT

P = Presión al nivel del mar = 1 atm

T = Temperatura de trabajo = 35 ^{o}C + 273 = 308 ^{o}K

R = Constante de los gases = 0.082 atm.Lt / ^{o}K gmol

M = Suma de los pesos moleculares que componen el biogas

V = Volumen del gas generado = 297 lts.

W = Peso del gas

Comprobación con la primera composición:

Con los datos de la tabla No. 10 se obtiene:

a) **Aire** = 45.65 % molar

CH_4 = 33.21 "

CO_2 = 21.24 "

M aire = 29 gmol = 0.4565 x 29 = 13.239 gr / gmol

M CH_4 = 16 gmol = 0.3321 x 16 = 5.314 gr / gmol

M CO_2 = 44 gmol = 0.2124 x 44 = 9.346 gr / gmol

M TOTAL = (13.239 + 5.314 + 9.346) gr / gmol = 27.89 gr / gmol

Reemplazando en la ecuación:

$$W = \frac{PVM}{RT}$$

$$W = \frac{1 \text{ atm} \times 297 \text{ lts} \times 27.89 \text{ gr / gmol}}{0.082 \frac{\text{atm lts}}{{}^{o}\text{K gmol}} \times 308 \ {}^{o}\text{K}}$$

W = 327.97 grs de mezcla de gases

Con los datos de la tabla No. 10 se obtiene:

b) **Aire** = 6.27 % molar

CH_4 = 41.83 "

CO_2 = 51.90 "

M aire = 29 gmol = 0.0627 x 29 = 1.82 gr / gmol

M CH_4 = 16 gmol = 0.4183 x 16 = 6.69 gr / gmol

M CO_2 = 44 gmol = 0.5190 x 44 = 22.84 gr / gmol

M TOTAL = (1.82 + 6.69 + 22.84) gr / gmol = 31.35 gr / gmol

Reemplazando en la ecuación:

$$W = \frac{PVM}{RT}$$

$$W = \frac{1 \text{ atm} \times 297 \text{ lts} \times 31.35 \text{ gr / gmol}}{0.082 \frac{\text{atm lts}}{^{o}\text{K gmol}} \times 308 \ ^{o}\text{K}}$$

W = 368.66 grs de mezcla de gases

Con los datos de la tabla No. 10 se obtiene:

c) **Aire** = 7.54 % molar

CH_4 = 54.46 "

CO_2 = 37.99 "

M aire = 29 gmol = 0.0754 x 29 = 2.19 gr / gmol

M CH_4 = 16 gmol = 0.5446 x 16 = 8.71 gr / gmol

M CO_2 = 44 gmol = 0.3799 x 44 = 16.72 gr / gmol

M TOTAL = (2.19 + 8.71 + 16.72) gr / gmol = 27.62 gr / gmol

Reemplazando en la ecuación:

$$W = \frac{PVM}{RT}$$

$$W = \frac{1 \text{ atm} \times 297 \text{ lts} \times 27.62 \text{ gr / gmol}}{0.082 \frac{\text{atm lts}}{^{o}\text{K gmol}} \times 308\ ^{o}\text{K}}$$

W = 324.79 grs mezcla de gases

Con los datos de la tabla No. 10 se obtiene:

d) **Aire =** 9.68 % molar

CH_4 = 60.71 "

CO_2 = 29.61 "

M aire = 29 gmol = 0.0968 x 29 = 2.8 gr / gmol

M CH_4 = 16 gmol = 0.6071 x 16 = 9.71 gr / gmol

M CO_2 = 44 gmol = 0.2961 x 44 = 13.03 gr / gmol

M TOTAL = (2.8 + 9.71 + 13.03) gr / gmol = 25.548 gr / gmol

Reemplazando en la ecuación:

$$\mathbf{W} = \frac{PVM}{RT}$$

$$\mathbf{W} = \frac{1 \text{ atm} \times 297 \text{ lts} \times 25.548 \text{ gr / gmol}}{0.082 \frac{\text{atm lts}}{{}^{o}\text{K gmol}} \times 308 \ {}^{o}\text{K}}$$

W = 300.43 grs de mezcla de gases

Con los datos de la tabla No. 10 se obtiene:

e) **Aire** = 12.43 % molar

CH_4 = 60.21 "

CO_2 = 27.36 "

M aire = 29 gmol = 0.1243 x 29 = 3.6 gr / gmol

M CH_4 = 16 gmol = 0.6021 x 16 = 9.64 gr / gmol

M CO_2 = 44 gmol = 0.2736 x 44 = 12.04 gr / gmol

M TOTAL = (3.6 + 9.64 + 12.04) gr / gmol = 25.28 gr / gmol

Reemplazando en la ecuación:

$$W = \frac{PVM}{RT}$$

$$W = \frac{1 \text{ atm} \times 297 \text{ lts} \times 25.28 \text{ gr / gmol}}{0.082 \frac{\text{atm lts}}{^{o}\text{K gmol}} \times 308\ ^{o}\text{K}}$$

W = 397.28 grs de mezcla de gases

Con los datos de la tabla No. 10 se obtiene:

f) **Aire** = 2.59 % molar

CH_4 = 44.37 "

CO_2 = 53.04 "

M aire = 29 gmol = 0.0259 x 29 = 0.751 gr / gmol

M CH_4 = 16 gmol = 0.4437 x 16 = 7.1 gr / gmol

M CO_2 = 44 gmol = 0.5304 x 44 = 23.34 gr / gmol

M TOTAL = (0.751 + 7.1 + 23.34) gr / gmol = 31.19 gr / gmol

Reemplazando en la ecuación:

$$\mathbf{W} = \frac{PVM}{RT}$$

$$\mathbf{W} = \frac{1 \text{ atm} \times 297 \text{ lts} \times 31.19 \text{ gr / gmol}}{0.082 \frac{\text{atm lts}}{^{o}\text{K gmol}} \times 308 \ ^{o}\text{K}} =$$

$\mathbf{W}$ = 366.78 grs de mezcla de gases

$\overline{\mathbf{W}}$ = Peso promedio

$\overline{\mathbf{W}}$ = (327.97 + 368.66 + 324.79 + 300.43 + 297.28 + 366.78)

$\overline{\mathbf{W}}$ = 330.99 grs de mezcla de gases

$\overline{\mathbf{W}}$ = Peso del gas teórico = 330.99 grs de mezcla de gases

$\mathbf{W}$ = Peso del gas experimental = 394.55 grs de mezcla de gases

8.5.- CÁLCULO DEL PODER CALORÍFICO.

Para poder determinar el Poder Calorífico es necesario tomar en cuenta la composición del biogás.

Considerando la composición en la que el metano se encuentre en mayor porcentaje:

CO_2 = 29.61 %

CH_4 = 60.71 %

Y según la tabla 11: Calor de Combustión de los Componentes Gaseosos:

TABLA No. 11
CALOR DE COMBUSTIÓN DE COMPONENTES GASEOSOS

GAS	ÍNDICE SUPERIOR (Kcal / mol)	ÍNDICE INFERIOR (Kcal / mol)
CO_2	96.63	67.41
CH_4	212.8	191.8

Fuente : Elementos de Ingeniería Química Vian/Ocon

Tomando en cuenta los calores de combustión de los componentes, referidos a un mol de mezcla o a 1 m^3 medido en condiciones bases.

Es necesario calcular el volumen ocupado por 1 mol de mezcla, a presión ordinaria, aplicando la ley de los gases ideales:

PV = nRT

Donde: **V** = nRT / P

P = Presión a nivel del mar = 1 atm

T = Temperatura ambiente = 30 ^{o}C + 273 = 303 ^{o}K

R = Constante de los gases = 0.082 atm.Lt / ^{o}K gmol

n = referido a 1 mol

$$\mathbf{V} = \frac{1 \times 0.082 \times 303}{1}$$

V = 24.85 lts / mol

$$\mathbf{V} = 24.85 \frac{\text{lts}}{\text{mol}} \times \frac{1}{1000 \text{ lts}} \frac{\text{m}^3}{}$$

V = 0.02485 m^3 / mol

TABLA No. 12
PODER CALORÍFICO

COMPONENTE	INDÍCE SUPERIOR (Kcal / mol)	INDÍCE INFERIOR (Kcal / mol)
CO_2 26,92 %	0,2691 x 96,63 = 26	0,2691 x 67,41 = 18,14
CH_4 60,71 %	0,6071 x 212,8 = 29,19	0,6071 x 191,8 = 116,44
	TOTAL: 155,2 Kcal/mol	TOTAL: 134,85 Kcal/mol

Dividiendo para el volumen ocupado tenemos:

Índice Superior:

$$\frac{155.2 \text{ Kcal / mol}}{0.02485 \text{ m}^3 \text{ / mol}} = 6245.5 \text{ Kcal / m}^3$$

Índice Inferior:

$$\frac{134.85 \text{ Kcal / mol}}{0.02485 \text{ m}^3 \text{ / mol}} = 426.55 \text{ Kcal / m}^3$$

8.6.- RENDIMIENTO.

El rendimiento se cálculo en base al porcentaje de metano obtenido y por medio de la siguiente tabla 13:

TABLA No. 13

COMPONENTE	FÓRMULA	% MOLAR
Metano	CH_4	50 – 70
Dióxido de carbono	CO_2	35 – 40
Nitrógeno	N_2	0,5 – 3
Hidrógeno	H_2	1 – 3
Sulfuro de Hidrogeno	H_2S	menor a 0,2

Fuente: Peter, Meynell; Methane Planning a Digestor.

$$\mathbf{R = \frac{Moles\ Experimental}{Moles\ Teórico} \times 100}$$

$$\mathbf{R = \frac{0.6071}{0.70} \times 100}$$

$$\mathbf{R = 86.73\ \%}$$

TABLA No. 14
PARAMETROS DE CONTROL

Fecha	Número de Día	T. dentro del digestor °C	pH
30 Agos.	1	34	6,5
31	2	34	7
1 Sep.	3	35	6,5
2	4	35	6,5
3	5	36	6,5
4	6	36	7
5	7	36	6,5
6	8	35,5	6,5
7	9	35	7
8	10	35	6,5
9	11	35	6,5
10	12	35	6,5
11	13	35	6,5
12	14	35	6,5
13	15	35,5	6,5
14	16	35	6,5
15	17	35	6,5
16	18	35	6,5
17	19	35	6,5
18	20	35	6,5
19	21	35,5	7
20	22	35	6,5
21	23	35	6,5
22	24	36	6,5
23	25	35	6,5
24	26	35	6,5
25	27	35	6,5
26	28	35	7
27	29	35,5	7
28	30	35	7

El día 28 de septiembre se procede a descargar el equipo, dando por terminada la parte experimental.

DIAGRAMA No. 3

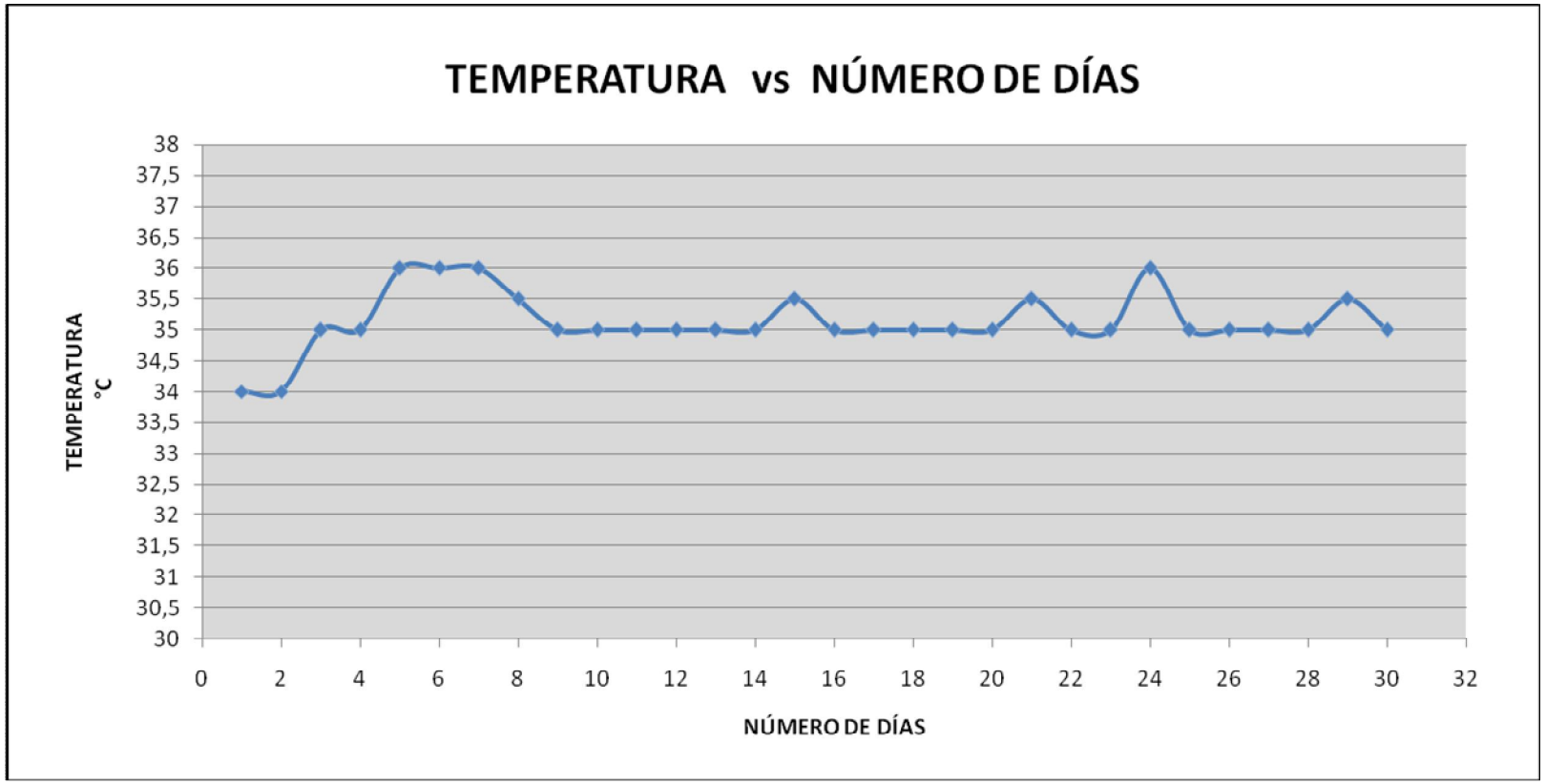


DIAGRAMA No. 4

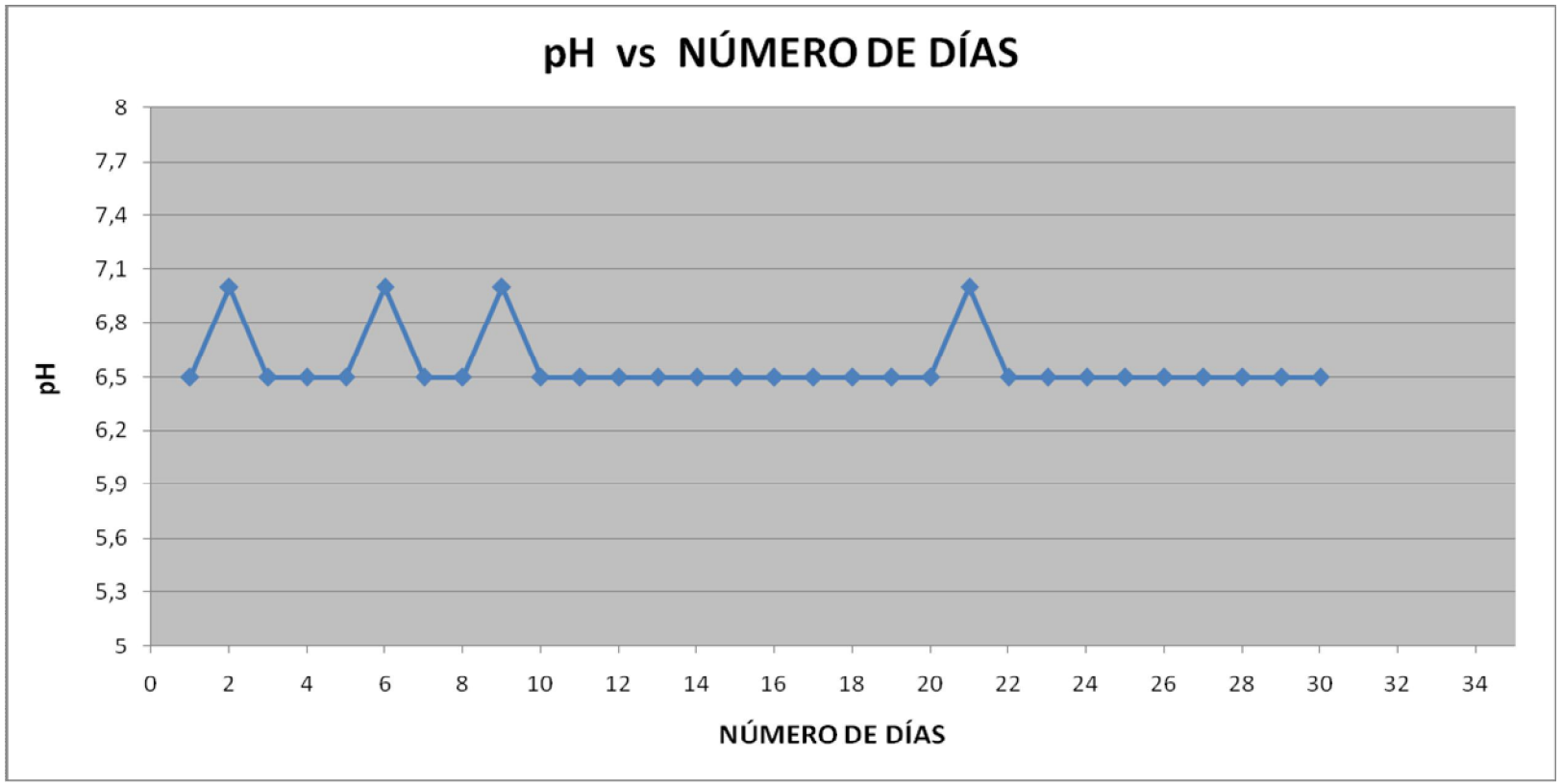
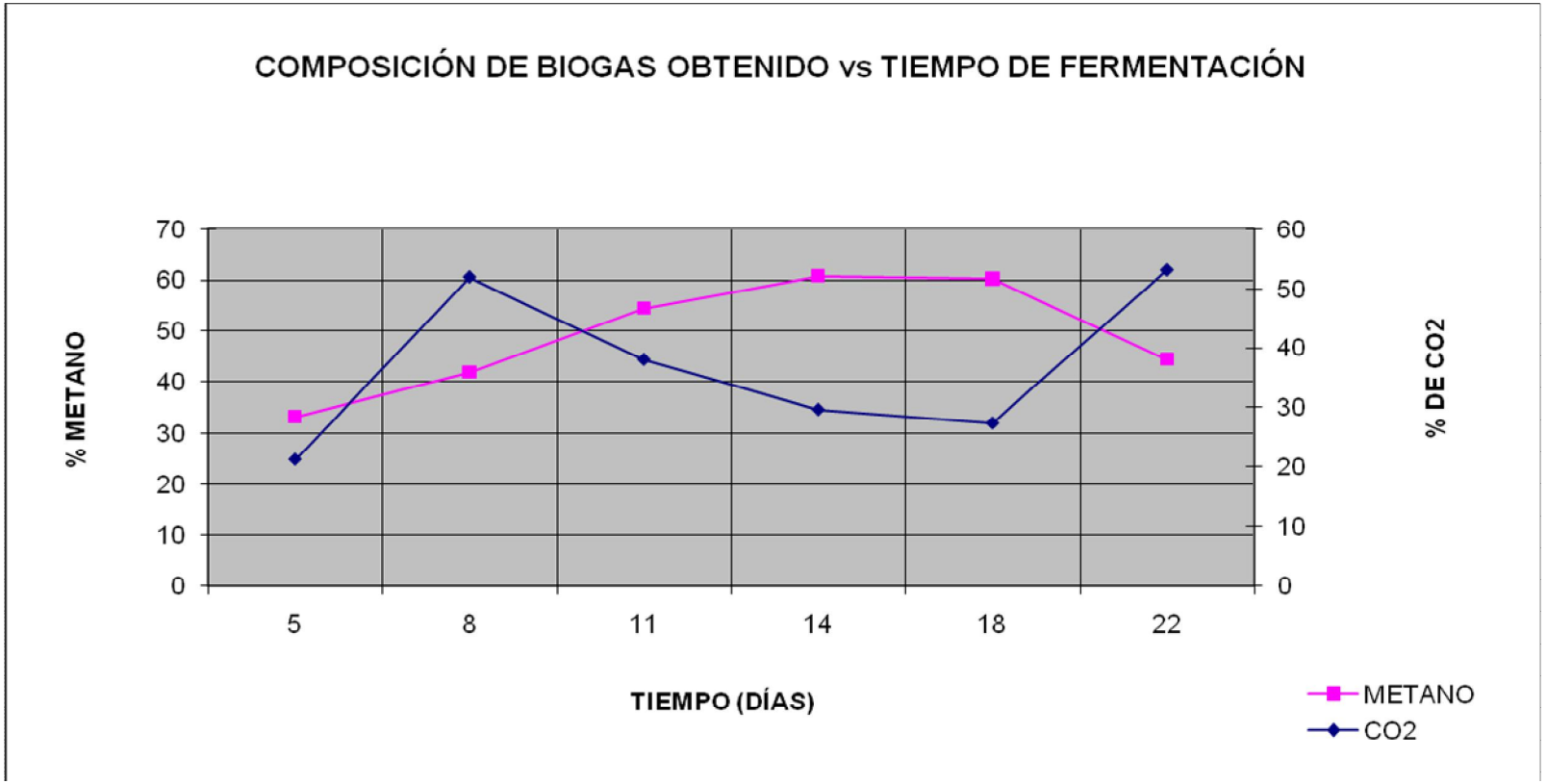


DIAGRAMA No. 5



BIOABONO

Por abono orgánico se entiende a todas las sustancias orgánicas de origen animal, vegetal o mixto que son añadidos al suelo para mejorar su fertilidad, los abonos orgánicos, además de aportar al suelo sustancias nutritivas, influyen positivamente sobre la estructura del suelo y sirven de alimento a los microorganismos. Estos abonos contienen nitrógeno en cantidades variables que son liberadas a un ritmo lento y paralelos las necesidades del cultivo, por esta razón, una distribución inicial única es suficiente para satisfacer las necesidades de nitrógeno que se presenten.

Los diferentes elementos entran a las raíces principalmente como iones; en la pared celular de los vegetales ocurre un control del movimiento de los minerales en dos direcciones de afuera hacia adentro y viceversa. El intercambio de iones positivos y negativos mantiene la naturalidad y el balance eléctrico necesario. Los nutrientes, por lo tanto, entran en las plantas únicamente en forma inorgánica, sin importar si éstos provienen de fuentes orgánicas.

La descomposición de la materia orgánica en el suelo ocurre mediante un proceso de digestión provocado por microorganismos (bacterias, hongos, actinomicetos) de este proceso de digestión se obtiene humus, energía, dióxido de carbono y agua.

Los materiales resistentes a la descomposición persisten y se acumulan como humus, que es un factor mejorante de las condiciones químicas y físicas del suelo.

La relación entre el carbono y el nitrógeno es un factor importante que puede convertirse en limitante inmovilizando el material residual orgánico. En suelos agrícolas, cuando esta relación es aproximadamente 30:1, el ión amonio (NH_4^+) y los nitratos (NO_3^-) pueden ser liberados para las plantas por el

proceso de mineralización e inmovilizados, según el grado de resistencia que presenten los residuos a la acción microbiana, en esta relación carbono nitrógeno (30:1), la humedad y la temperatura del suelo son los que determinan la dirección y la velocidad de la mineralización o inmovilización.

Los suelos cuyos residuos orgánicos tengan una relación C/N muy alta (caso de los tallos del maíz, 40:1, paja de cereales 80:1), necesariamente deben recibir fertilizantes químicos nitrogenados para prevenir deficiencias de este elemento.

Cuando la relación C/N es estrecha (trébol, 20:1, alfalfa, 13:1), se está proveyendo al cultivo el suficiente nitrógeno, siempre que la siembra sea inmediata.

Los abonos orgánicos a más del carbono y nitrógeno, contienen otros elementos químicos requeridos por las plantas para su desarrollo, pero en cantidades muy pequeñas si se compara con los que se encuentran en los fertilizantes químicos inorgánicos.

Por este motivo, si se desea obtener los mismos rendimientos que se alcanzan con pocos quintales de fertilizantes químicos inorgánicos, es necesario incorporar al suelo varias toneladas de abonos orgánicos.

9.1.- EL ESTIÉRCOL COMO ABONO.

Las heces están constituidas por sustancias proteicas complejas y por restos de comida no digerida. La orina contiene sustancias nitrogenadas como la úrea y el ácido úrico que luego de descompuestas, son absorbidas por plantas.

La descomposición del estiércol depende de la especie del animal, de su edad y su alimentación. El estiércol no debe añadirse al terreno en estado fresco, por una parte, porque es muy heterogéneo y por otra, porque las deyecciones concentradas queman los vegetales. La distribución del estiércol puede realizarse de forma manual o mecánicamente, evitando repartir el estiércol al mismo tiempo que los productos ricos en calcio (cal, fosfato naturales, etc.) susceptibles de provocar una dispersión adicional de amoníaco.

CUADRO No. 9
CONTENIDO NUTRICIONAL DE ALGUNOS ABONOS ORGÁNICOS

	% Materia seca		
	Nitrógeno	**Fósforo**	**Potasio**
Estiércol caballo (seco)	2	1.5	1.5
Estiércol vacuno (seco)	2	1.5	2
Gallinaza (seca)	5	3	1.5
Paja de cereales	0,4 - 0,8	0,2 - 0,3	0,5 - 1,1
Rastrojo de leguminosas	0,2 - 2,0	0,3 - 0,4	0,6 - 1,8
Hojas secas	0,8 - 1,4	0,2 - 0,3	0,2 - 0,4
Desperdicios de Cocina	2.5	3	1
Harina de Higuerilla	5.31	1.96	1.01
Bioabono (con estiércol) de vacuno mediante fermentación anaeróbica	1.69	0.28	4.2

Fuente: STEVEN, Indrick, la Utilidad del Efluente de un Biodigestor

9.2.- EL BIOABONO.

En el transcurso de la digestión anaeróbica es transformado entre el 20 y el 50% de la materia orgánica colocada en el tanque de fermentación, dependiendo de la cantidad de materiales no digeribles de la carga.

La lignina representa entre un 20 y un 30% del peso seco del tejido vascular de las plantas y entre el 30 y 40% de la materia orgánica del efluente, el resto contiene agua, materiales lípidos y celulosas no digeridos.

La mayor parte de la materia orgánica que no es digerida en el efluente, se descompone en forma lenta por la acción de bacterias aeróbicas en el suelo o en el agua. El carbono, hidrógeno y oxígeno, contribuyen aproximadamente el 97% del biogás y son las únicas pérdidas de la materia prima, pero las plantas obtienen estos elementos del suelo o del aire.

Los demás nutrientes con excepción del nitrógeno que se pierde del 1 al 2% se mantienen en el bioabono. Si la materia vegetal pasa primero por el sistema digestivo animal, se conservan aproximadamente el 75% de los nutrientes importantes que se hallaban presentes en la materia prima.

No se puede predecir exactamente la cantidad de nutrientes presentas en un efluente dado, debido a que depende de varios factores como:

- Tipo y madurez de la materia vegetal consumida.
- Especie de animal que provee el estiércol
- Programa de alimentación de los animales
- Grado de vejez del estiércol
- Eficiencia del proceso anaeróbico

8.3.- EL NITRÓGENO DEL EFLUENTE.

Durante la descomposición de la proteínas de la materia prima, el nitrógeno es liberado de forma de catión amoniacal (NH_4^+) que reacciona con las cargas negativas de la materia orgánica o arcillas del suelo, lo que determina que este elemento sea resistente a la lixiviación, pero es sujeto a volatilización si se presentan condiciones como:

$$NH_4^+ + H_2O + OH \longrightarrow NH_3 + 2H_2O$$

Lo cual se obtiene cuando los suelos son alcalinos.

El nitrógeno, fósforo y potasio son considerados los nutrientes primarios dentro de los programas de fertilización, el calcio, magnesio y azufre, son elementos intermedios y los elementos menores son hierro, manganeso, cobre y zinc.

8.4.- COMPARACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS.

CUADRO No. 10

	FERTILIZANTE QUIMICO INORGÁNICO	EFLUENTE DE BIODIGESTOR
1	Mayor velocidad de absorción de nutrientes por la planta	Plantas absorben los nutrientes mas lentamente
2	Los nutrientes no se acumulan	Se tiene efecto acumulativo
3	Contaminación ambiental por lixiviación excesiva de nutrientes	Mínima contaminación
4	Alto costo económico y social	Beneficio económico y social a menor costo

Fuente: STEVEN, Indrick, la Utilidad del Efluente de un Biodigestor

9.5.- EFICIENCIA DEL EFLUENTE COMO MEJORADOR DEL SUELO.

Mediante experiencias en china popular, la aplicación continua por tres años de este abono, ha mejorado la calidad del suelo, la producción, fertilidad y profundidad de la capa arable, comparada con los suelos sin bioabono, según el siguiente cuadro:

CUADRO No. 11

TRATAMIENTO	TIPO DE SUELO	MATERIA ORGÁNICA %	N TOTAL %	P TOTAL %	K TOTAL %	P DISP. ppm	K DISP. ppm
3 años de aplicación de efluente	Aluvial Amarillo	3.7	0.23	0.15	2.11	1.4	160.5
suelo (sin bioabono)		2.87	0.19	0.096	1.95	1.9	110.3

Fuente: El Biogás en la Agricultura, Instituto de Suelos y Fertilizantes, Academia de Investigaciones en Ciencias Agrícolas, Provincia Sicuani, República Popular China

8.6.- BENEFICIOS DEL BIOABONO.

Pese al relativamente bajo contenido de nutrimentos de estos abonos, su valor biológico es alto al igual que el beneficio que prestan al ser transformados por la acción de microorganismos, pues actúan a favor del suelo en varios aspectos:

- Sirven como medio de almacenamiento de los nutrimentos necesarios para el crecimiento de las plantas, como los nitratos, fosfatos, sulfatos, boratos, cloruros.

- Incrementan la capacidad de intercambio de cationes.
- Sirven como amortiguador contra los cambios de acidez, alcalinidad y salinidad del suelo.
- Atenúan la acción de pesticidas y metales tóxicos pesados.
- Previenen los procesos erosivos ocasionados por el viento y el agua, al reducir el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo.
- Aumenta el poder de retención del agua en el suelo.
- Proporcionan alimento a los organismos benéficos como bacterias fijadoras de nitrógeno y lombrices.
- Atenúan los cambios bruscos de temperaturas en la superficie del suelo.
- Al debitar la acción dispersante de las gotas de lluvias, reducen la formación de costras superficiales.
- Proporcionan a los cultivos en desarrollo (a medida que se descomponen los residuos orgánico) cantidades pequeñas de todos los elementos esenciales, a tiempo y en armonía con necesidades de la planta.
- Perduran mucho más tiempo en el suelo, cosa que no ocurre con los fertilizantes químico inorgánicos.

El bioabono resultado de la fermentación anaeróbica proporciona mayor cantidad de nutrientes que los estiércoles sin tratar y a la vez son más fáciles de asimilar por las plantas.

CONCLUSIONES

- Los beneficios económicos de la fermentación anaeróbica resultan evidentes al poder utilizar la energía del biogás, evitando comprar gas comercial, que en las zonas rurales es muy escaso y muy proclive a la especulación, pues los mecanismos de distribución y comercialización son inadecuados.

- Se trabajó con un con un digestor de capacidad 60 galones, en el que se pudo constatar por análisis de cromatografía de gases la variación de la composición del metano en función del tiempo, obteniéndose el mayor porcentaje de metano de 60,71% a los 19 días de realizada la carga.

- La cantidad de biogás se considera satisfactoria al tener un promedio de 50% de CH_4 y 40% de CO_2.

- A los 10 días de realizada la carga, se tomó muestra de biogás del digestor para el análisis en el cromatógrafo de gases, obteniéndose el siguiente porcentaje en metano:

  Metano: 33.21%

- En el espectrograma también se observa la presencia de aire que debe estar constituido en su mayor porcentaje por oxígeno y nitrógeno, que son elementos del biogás; como también de agua, producto del vapor de agua que contiene el biogás, no siendo cuantificado.

- La variación de la composición del metano en el digestor, se hace notoria a más de los análisis por cromatografía de gases, por pruebas de combustión, en los que se observa que en los primeros días, como en los últimos de su producción el porcentaje de metano es pobre, mostrándose esto en una llama no es estable.

- El pH en el interior del digestor se mantuvo entre los rangos, ya que al inicio se dio un pH de 6,5 y al final un pH de 7, esto está dentro del rango óptimo lo cual es consecuencia de la fuerza de transformación en cada una de las cuatro fases del proceso, motivo por el que se obtiene cantidades estables de biogás.

- El rendimiento de biogás en el digestor es de 86,73%, al que se puede considerar como mezcla optima, la misma que es:

Estiércol vacuno: 50%

Suero de leche: 50%

- El poder calorífico del biogás está en relación directa con el porcentaje de metano de que esté constituido, así en la composición de más alto porcentaje de metano nos da un poder calorífico de 6245.5 Kcal / m^3.

- La temperatura es un factor muy importante en la producción de gas, siendo la más óptima en un rango mesofílico de 30^{o}C a 37^{o}C, como también es importante evitar cambios bruscos de temperatura lo que afectaría directamente en la producción de gas.

- En lo referente a la construcción de plantas de biogás para beneficio de comunidades de escaso recursos, es importante tener presente: su costo, materiales existentes en el medio, simplicidad de construcción y operación.

- El uso de una caja automática de control permitió que se alcanzara las condiciones óptimas de operación del equipo, siendo estas:

T = 35 ^{o}C

t_m (Tiempo de mezclado) = 1 min/h

RECOMENDACIONES

De la experiencia obtenida en la realización del presente trabajo, se pueden plantear las siguientes recomendaciones:

- Desarrollar modelos cinéticos y matemáticos de la biodegradación orgánica en medios anaeróbicos para diferentes diseños y condiciones de operación.

- Investigar sobre métodos para mejorar el rendimiento de los microorganismos en los biodigestores.

- Realizar una investigación sobre la eliminación de microorganismos patógenos mediante digestión anaeróbica.

- Es importante ubicar el biodigestor cerca al área en el cual va a ser utilizado el biogás, esto es debido a que la baja presión del mismo no permite que recorra grandes distancias.

- Para mejorar el control del biodigestor se recomienda utilizar instrumentos de medición más adecuados y precisos.

- Se debe estudiar el empleo de purificadores para mejorar la calidad del biogás separando en especial al CO_2 y H_2S.

- Determinar la incidencia en el suelo a largo plazo tanto de los micronutrientes como los macronutrientes del abono orgánico.

- Realizar estudios relacionados con la economía de escala, determinando los mayores beneficios en función de la productividad y el tamaño de los biodigestores, optimizando el empleo de los recursos humanos y materiales.

- Se recomienda realizar un estudio sobre la incidencia de la alimentación de los animales en la producción de biogás.

BIBLIOGRAFIA

- ROSEMBERG, G. 1951. Producción de Gas Metano de Residuos de Finca como Fuente de Combustible de Tractor. Institute of British Agriculture Engineers, A.R.I.B.A. A.M.T.P.I. Londres.

- FRY, L. John. 1973. Methane Digestors for Fuel Gas and Fertilizer. New Alchemy Institute.

- BIO-GAS Technology and Utilización, Cheng Du Seminar.- Año 1979.

- Diseño, Construcción y Aplicaciones de un BIODIGESTOR para la zona de los Fancos. Fausto Pineda Cifuentes Quito – Ecuador.

- Informe Técnico de Biogás, Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología – ICAITTI, 1983.

- GATE. Módulo – Borda. Instrucciones para la Planta de Biogás. Biogasteam Bremen 1980.

- IIT (Instituto de Investigaciones Tecnológicas) 1983 Plantas de Biogás, Diseño, Contrucción y Operación.

- Energías Alternativas, Diseño de Digestores. Hector Romero. Juventud-Virtual Htm.

- Chilean Dairy Farmer. Manejo Sostenible de Nutrientes en el Estiércol de Vaca Lechera Dra. Leslie Cooperband Especialista en Suelos y Manejo Integrado de Desechos Departamento de Suelos Universidad de Wisconsin. Pdf.

- Evaluación de un digestor tipo "Plug Flow" D C A Duque, U C H Galeano y G J M Mantilla Grupo de Investigación en Conversión y Transferencia de Energía, Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá. Htm.

- Microbiología Agrícola. Leonor Carrillo 2003, Capitulo 5. Pdf.

- El BIOGAS. Jairo Chaúr Bernal. Pdf.

- Formulación de un Programa de Normalización para Aplicaciones de Energías Alternativas UPM Marzo 2003. Htm.

- Biodigestores Una Alternativa a la Autosuficiencia Energética. Fundación Hábitat, Quimbaya – Quindío. Htm.

- (CEPIS, TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DEL AGUA PARA PAISES EN DESARROLLO, 1997). RICHTER.

- El Biogás en la Agricultura, Instituto de Suelos y Fertilizantes, Academia de Investigaciones en Ciencias Agrícolas, Provincia Sicuani, República Popular China.

- Peter, Meynell; Methane Planning a Digestor.

- STEVEN, Indrick, La Utilidad del Efluente de un Biodigestor.

- DISEÑO Y FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONOMICA DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE BIOGÁS UTILIZANDO RESIDUOS DE GANADO VACUNO. Juan Miguel Mantilla González. Pdf.

- Consideraciones sobre la utilización del biogás. Metodología para la construcción de una pequeña planta de Biogás. Htm.

- Producción de Biogás a Nivel de Laboratorio Utilizando Estiércol de Cabras. J. Luis Magaña R. Universidad de Guanajuato – México. 2006. Pdf.

- Elementos de Ingeniería Química, Vian / Ocon

ANEXOS

ICQA	Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales - ICQA Laboratorio de Servicios	Resultados de Análisis Ref. Contrato Nº O-176. (RG_5-4b)

Laboratorio responsable: Cromatografía.
Fecha de recepción de muestra(s) en Laboratorio: 24-Sept-07
Fecha de entrega de reporte a Secretaría: 08-Oct-07. (10 días hábiles)
Cliente: Yolima Narváez

Parámetro	Unidad	Resultado			Método de Análisis	Norma
Composición	%	05-Sept	08-Sept	11-Sept		
aire.	%	45,65	6,27	7,54	FID-Hp	N/A
Metano	%	33,21	41,83	54,46	" "	"
Dioxido de Carbono	%	21,24	51,90	37,99	" "	"

ESPOL 1958 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
I. C. Q.
LABORATORIO CROMATOGRAFÍA

Observaciones: * No Aplica Norma -> se usa Norma Interna

ICQA	Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales - ICQA Laboratorio de Servicios	Resultados de Análisis Ref. Contrato Nº 0-126 (RG_5-4b)

Laboratorio responsable: Cromatografía.

Fecha de recepción de muestra(s) en Laboratorio: 24-Sept-07

Fecha de entrega de reporte a Secretaría: 08-Sept-07 (10 días Hábiles).

Cliente: Yolima Narváez

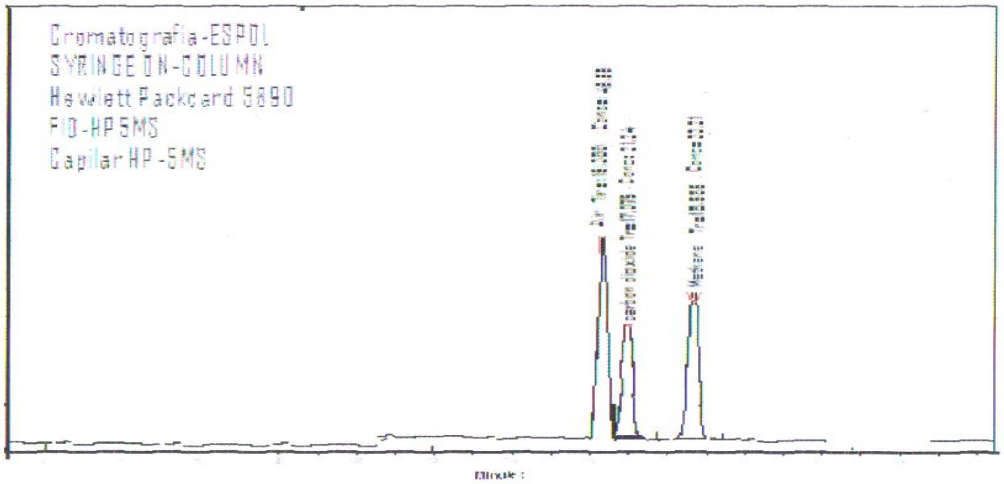
Parámetro	Unidad	Resultado			Método de Análisis	Norma
Composición	%	14-Sept	18-Sept	22-sept		
Aire	%	9,68	12,43	2,59	FID-Hp	N/A
metano	%	60,71	60,21	44,37	" "	" "
Dioxido de Carbono	%	29,61	27,36	53,04	" "	" "

ESPOL 1958 ESCUELA SUPERIOR

Observaciones: * N/A: No aplica Norma. ; Se usa Norma Interna.

POLITECNICA DEL LITORAL
I. C. Q.
LABORATORIO
CROMATOGRAFÍA

Cromatografia-ESPOL
SYRINGE ON-COLUMN
Hewllett Packcard 5890
FID-HP5MS
Capilar HP-5MS

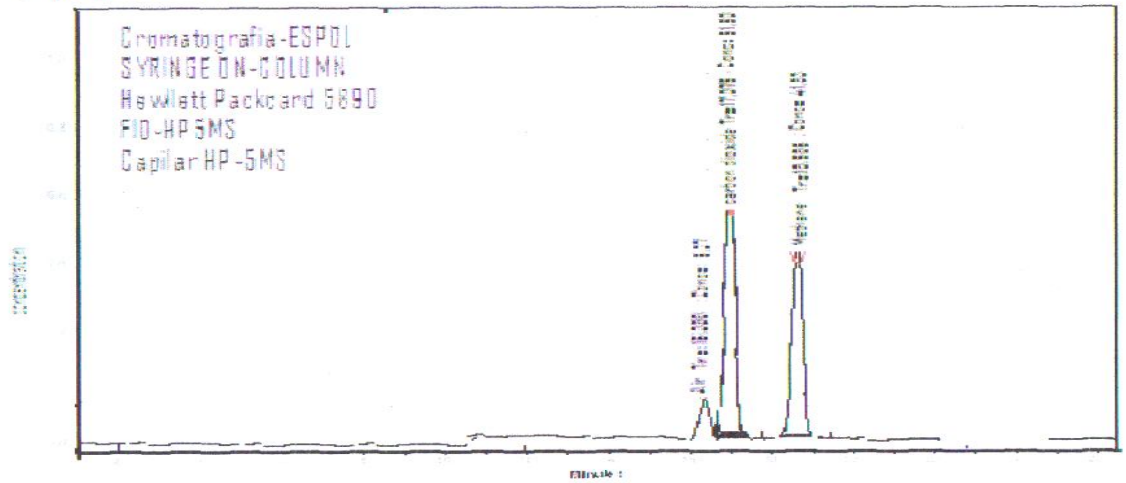


Date	Air	Methane CH_4	Carbon dioxide CO_2
09- 05- 2007	45.65	33.21	21.24

ESPOL 1958
ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL
I. C. Q.
LABORATORIO
CROMATOGRAFÍA

LABORATORIO
DE
CROMATOGRAFIA

Cromatografia-ESPOL
SYRINGE ON-COLUMN
Hewllett Packcard 5890
FID-HP5MS
Capilar HP-5MS

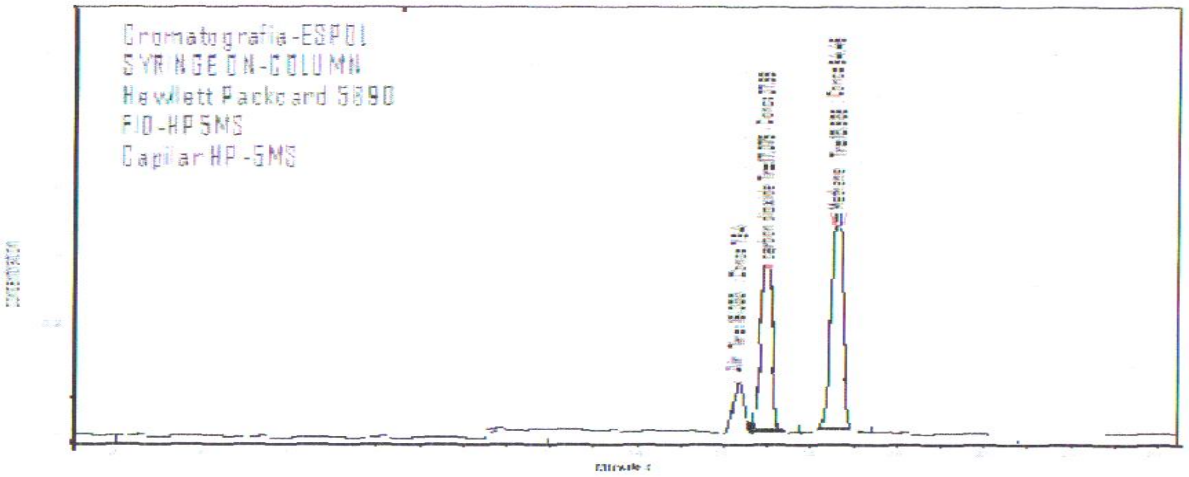


Date	Air	Methane CH_4	Carbon dioxide CO_2
09- 08- 2007	6.27	41.83	51.90

ESPOL 1958
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
I. C. Q.
LABORATORIO CROMATOGRAFÍA

LABORATORIO
DE
CROMATOGRAFIA

Cromatografia-ESPOL
SYRINGE ON-COLUMN
Hewllett Packcard 5890
FID-HP5MS
Capilar HP-5MS

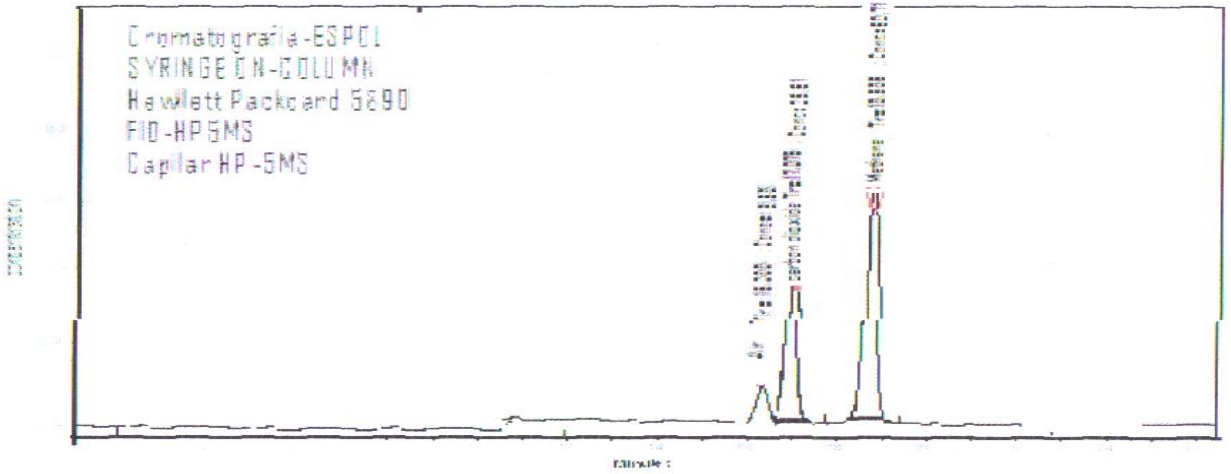


Date	Air	Methane CH_4	Carbon dioxide CO_2
09- 11- 2007	7.54	54.46	37.99

ESPOL 1958
ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL
I. C. Q.
LABORATORIO
CROMATOGRAFÍA

LABORATORIO
DE
CROMATOGRAFIA

Cromatografia-ESPOL
SYRINGE ON-COLUMN
Hewllett Packcard 5890
FID-HP5MS
Capilar HP-5MS

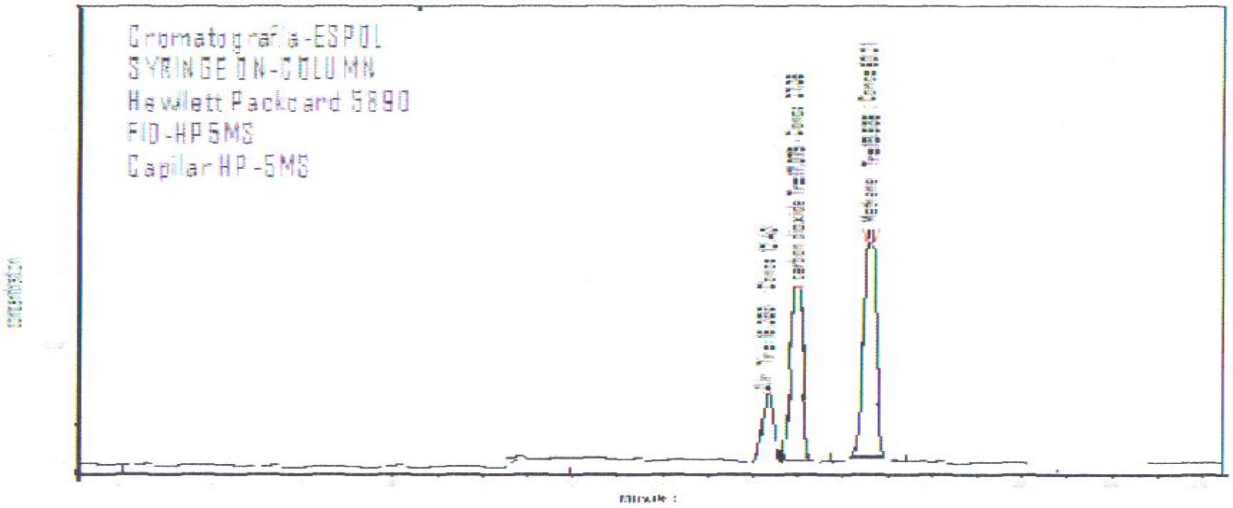


Date	Air	Methane CH_4	Carbon dioxide CO_2
09- 14- 2007	9.68	60.71	29.61

ESPOL 1958
ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL
I. C. Q.
LABORATORIO
CROMATOGRAFÍA

LABORATORIO
DE
CROMATOGR FIA

Cromatografia-ESPOL
SYRINGE ON-COLUMN
Hewllett Packcard 5890
FID-HP5MS
Capilar HP-5MS

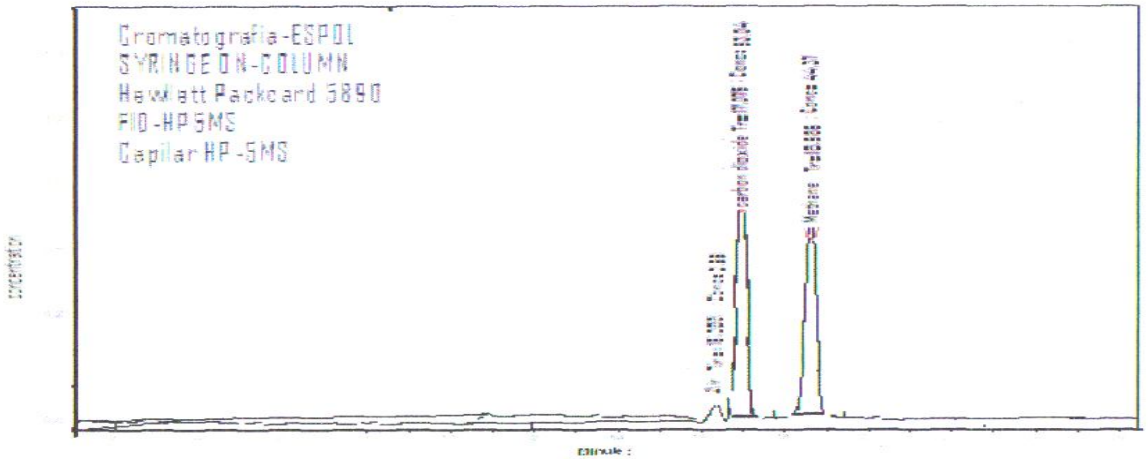


Date	Air	Methane CH_4	Carbon dioxide CO_2
09- 18- 2007	12.43	60.21	27.36

ESPOL 1958
ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL
I. C. Q.
LABORATORIO
CROMATOGRAFÍA

LABORATORIO
DE
CROMATOGR FIA

Cromatografia-ESPOL
SYRINGE ON-COLUMN
Hewllett Packcard 5890
FID-HP5MS
Capilar HP-5MS



Date	Air	Methane CH_4	Carbon dioxide CO_2
09- 22- 2007	2.59	44.37	53.04

ESPOL 1958
ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL
I. C. Q.
LABORATORIO
CROMATOGRAFÍA

LABORATORIO
DE
CROMATOGRAFIA

km. 26 Vía Duran-Tambo. Apdo. Postal 09-01-7069
Fax (593 4) 2717260/2717261/2717262
RUC 0968539470001
YAGUACHI-ECUADOR

INSTITUTO NACIONAL AUTONOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

LABORATORIO DE SUELOS, PLANTAS Y AGUAS

PROPIETARIO: YOLIMA NARVAEZ
REMITENTE: YOLIMA NARVAEZ
HACIENDA: HDA. SAN JOSÉ
LOCALIZACIÓN: KM. 24 VÍA A LA COSTA

PLANILLA:
FECHA DE MUESTREO: 28/09/2007
FECHA DE INGRESO: 29/09/2007
FECHA DE SALIDA: 10/10/2007

DETERMINACION DE ANALISIS VARIOS

No. LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	%	ppm								
		N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
626	BIO ABONO DE ESTIERCOL	1.20	2842	814	893	3643	46.8	16.2	2778	230	4

NOTA: El Laboratorio no es responsable de la toma de muestras

*** Contenidos Totales**

ING. EIBON VALDIVIEZO F.

PRUEBA EXPERIMENTAL

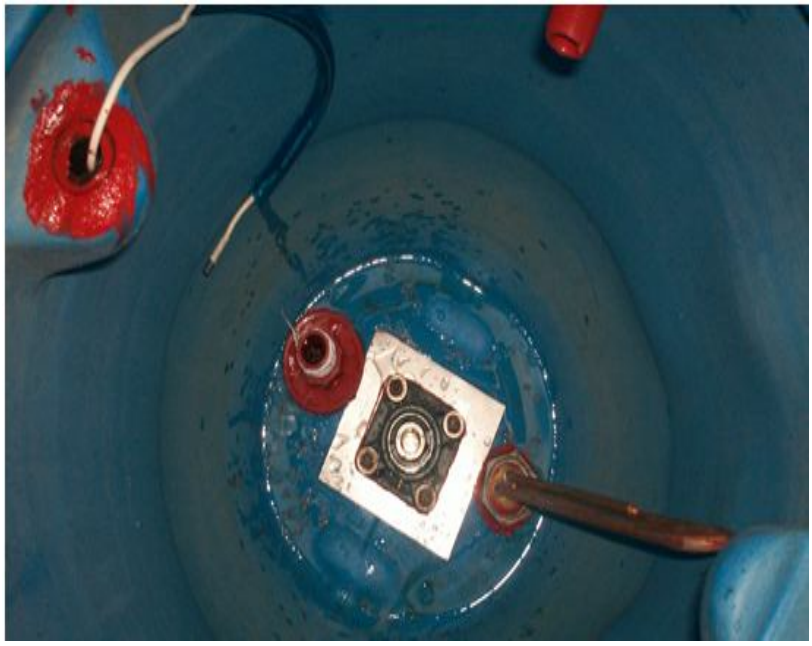
Medición de la cantidad experimental de BIOGÁS producido a pequeña escala

Toma de datos
Comprobación de la generación de BIOGÁS

Generación de Biogás

Generación de Biogás

CRONOLOGÍA DE DISEÑO DEL EQUIPO



Vista superior del interior del equipo

Parte inferior del equipo

Línea de salida del BIOGÁS

Línea de entrada para la solución de cal

Mezclador del equipo (3 paletas)

Motor y Polea

Control Automático

Caja de Control

EQUIPO FINALIZADO

Materia Prima

Mezcla de materia prima

Carga de la materia prima al equipo