

139
2 ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

"CUAUTITLAN"

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE UN SISTEMA
DE PRODUCCION DE ENERGIA A PARTIR
DE BIOMASA PARA LA FES-C
(REVISION BIBLIOGRAFICA)**

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE

MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

P R E S E N T A

JOSE FRANCISCO EZEQUIEL RODRIGUEZ FERNANDEZ

EN COLABORACION CON:

LUIS ERNESTO RODRIGUEZ GONZALES

CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MEXICO.

1984



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

C O N T E N I D O .

- I.- OBJETIVOS
- II.- ANTECEDENTES HISTORICOS
- III.- EXPLICACION Y DESARROLLO DEL PROYECTO PARA LA PRODUCCION DE ENERGIA A PARTIR DE ESQUILMOS Y SUBPRODUCTOS AGROPECUARIOS.
 - I.- DEFINICION DEL TERMINO DIGESTOR
 - 2.- DIGESTOR (DISEÑO ARQUITECTONICO)
 - 3.- CONTENEDOR PRIMARIO DE GAS
 - 4.- EQUIPO ACCESORIO
 - 5.- GENERALIDADES DEL PROCESO DE DIGESTION
 - 5.1. PRIMERA ETAPA DE LA DIGESTION
 - 5.2. SEGUNDA ETAPA DE LA DIGESTION
 - 6.- TIPOS DE DIGESTORES
 - 7.- FRACCIONES DE LA DIGESTION.
 - 7.1. SEDIMENTO
 - 7.2. SOBRENADANTE
 - 7.3. ESPUMA
 - 8.- FACTORES QUE CONTROLAN EL PROCESO
 - 8.1. RELACION CARBONO / NITROGENO
 - 8.2. POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)
 - 8.3. TEMPERATURA
 - 8.4. TIEMPO DE RESIDENCIA
 - 8.5. PORCENTAJE DE SOLIDOS
 - 8.6. INDICE DE CARGA
 - 8.7. AGITACION
 - 9.- MATERIA PRIMA UTILIZADA PARA PRODUCIR LA DIGESTION
 - 9.1. DESECHOS ANIMALES
 - 9.2. DESECHOS VEGETALES
 - 10.- PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS OBTENIDOS EN ESTE PROCESO
 - 10.1. BIOGAS
 - 10.2. SEDIMENTOS (FERTILIZANTES)
 - 10.3. SOBRENADANTES (FERTILIZANTES)

11.- EXPERIENCIAS OBTENIDAS EN LA UTILIZACION DE DIFERENTES ES-
QUILMOS.

11.1. ESTIERCOL DE PORCINO

11.1.1. RESULTADOS REPORTADOS

11.2. DIGESTORES OPERADOS CON CARGA CONTINUA USANDO ESTIERCOL
DE PORCINO .

11.2.1. RESULTADOS OBTENIDOS

11.2.2. pH. ALCALINIDAD Y CONCENTRACION DE ACIDOS VOLATI
LES.

11.2.3. RELACION ENTRE AMONIACO Y NITROGENO ORGANICO

11.2.4. PRODUCCION DE GAS Y CONTENIDO DE METANO

11.2.5. EFECTO DE LA TEMPERATURA

11.2.6. CONCLUSIONES

11.3. EVALUACION DE MEZCLAS DE ESTIERCOL DE BOVINO Y ESQUILMOS
VEGETALES PARA LA PRODUCCION DE BIOGAS POR FERMENTACION
ANAEROBICA.

11.3.1. DESCRIPCION DEL EQUIPO

11.3.2. MONTAJE DE DIGESTORES Y PUESTA EN OPERACION

11.3.3. MUESTREO Y ANALISIS

11.3.4. DATOS EXPERIMENTALES

11.3.5. ANALISIS Y EVALUACION DE LOS DATOS OBTENIDOS

11.3.6. CONCLUSIONES

IV.- DISCUSION

V.- OBSERVACIONES

VI.- BIBLIOGRAFIA

VII. INDICE.

I.- OBJETIVOS.

- a).- La finalidad de este trabajo es proponer un modelo académico de utilización del estiércol como fuente de producción de energía -- (Biogas) en la F.E.S. Cuautitlán y así enriquecer el aporte didáctico del Departamento de Producción Agropecuaria, con el fin de crear en el alumno la conciencia y el conocimiento que le permitan la reproducción de dichos modelos.

Las carreras relacionadas con este proceso son:

Medicina Veterinaria y Zootecnia, Ingeniería Agrícola, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Ingeniería Química, Químico Farmacéutico Biólogo, Ingeniería en Alimentos.

- b).- Revisar las bases teóricas para demostrar que existe desarrollo de tecnología que permite la producción de energía a partir de productos que hasta la fecha no son utilizados como son el excremento de bovino y porcino.

II.- ANTECEDENTES HISTORICOS:

La necesidad de obtener energía y fertilizantes a un bajo costo y con mayor facilidad, ha sido un problema importante que se remonta desde el siglo pasado, por lo que el hombre ha seguido paso a paso los fenómenos de la fermentación para obtener energía.

El primero en plantear la alternativa de producir metano a través de la fermentación de la materia orgánica fue el científico francés Luis Pasteur. Sin embargo, fue hasta el año de 1900 en la India (Bombay) donde se realizó el primer intento en cuanto a la construcción de un digestor para producir metano a partir del estiércol de vaca (24).

En la década correspondiente a los años 1920-1930, se realizaron numerosos estudios a escala, tomando como modelo las plantas de tratamiento de aguas negras, que digerían los sedimentos, aumentando su potencial en -- cuanto a la producción de energía (10).

Durante la Segunda Guerra Mundial, en Alemania, se empezó a utilizar la materia orgánica sobre todo vegetal para obtener metano, el cual lo utilizaban para mover tractores, producir calor, etc., esto fue consecuencia de la escasez de combustible desatada por la propia guerra; la idea se extendió por toda Europa, la cual fue olvidada en la postguerra a - excepción de algunas zonas de Francia, donde aún se sigue utilizando este procedimiento.

En 1940, en la India, se realizaron estudios que sirvieron para determinar la química básica del proceso. Los estudios fueron llevados a cabo en el Indian Agricultural Research Institute. En la década de los años 50's se desarrollan modelos simples de digestores para hogares, los cuales podrían proporcionar:

- a).- Iluminación y calor
- b).- Fertilizantes
- c).- Reducción de la contaminación provocada por el estiércol al aire libre (24).

En 1960, en China, los científicos de ese lugar aseguraban haber utilizado por décadas este procedimiento de producción de gas para consumo familiar e industrial (14, 25).

En los países desarrollados como es el caso de los Estados Unidos, no interesa el reciclaje del estiércol como fertilizante, ya que éste se fabrica comercialmente. El proceso se está utilizando actualmente para el tratamiento de aguas negras y para producción de energía (14, 25, -- 32).

En México, se han realizado diferentes estudios y proyectos encaminados hacia el diseño y producción de modelos de obtención de energía a través de la digestión de desechos orgánicos. Esto se ha llevado a cabo desde 1978 por el Instituto de Investigaciones Eléctricas a través de la División de Fuentes de Energía en el que han planteado diferentes modelos factibles de reproducción en diferentes zonas (24).

México como país en vías de desarrollo en la actualidad afronta diversos problemas como son la producción de alimentos, la obtención y utilización de energía y la contaminación atmosférica e hidráulica.

Ante esta situación, es necesario crear modelos encaminados hacia la máxima utilización de los recursos físicos, materiales y humanos generando alternativas viables hacia la resolución de dichos problemas.

Esto se ha reflejado en el sector agropecuario, con el aumento de las tierras de cultivo, con ello aumenta la necesidad de producir fertilizantes comerciales, como consecuencia se ha desplazado el estiércol, el cual, en vez de ser, benéfico para la agricultura, se transformó en un material contaminante, donde se propicia la reproducción de moscas, roedores y olores desagradables.

El manejo de este desecho orgánico, es uno de los problemas de producción que afectan más día a día a las explotaciones pecuarias, sobre todo, esto

se agrava cuando las explotaciones son de tipo intensivo, condición -
que cada vez se difunde más en México. Es necesario tomar conciencia -
de los factores que intervienen dentro del manejo del estiércol como -
son su recolección, transporte y almacenamiento, lo cual debería ser -
contemplado en los proyectos de construcción y producción de empresas
agropecuarias.

III.- EXPLICACION Y DESARROLLO DEL PROYECTO

1.- Definición del Término Digestor

DIGESTOR:

Es un recipiente aislado y hermético al aire en el cual es posible llevar a cabo un proceso biológico anaeróbico de digestión. (8).

2.- Digestor (Diseño arquitectónico)

Para un digestor de 40 mts.³ de capacidad, se debe de escavar un foso de - 10 mts. de largo, por 2 mts. de ancho, por 2 mts. de altura, que alojará - al digestor propiamente dicho. Este recipiente se inicia con una plantilla de concreto y se levanta con un muro de tabique precocido, reforzando la construcción con castillos cada 3 mts. y cadenas en el fondo, en la boca y otra un metro abajo de la boca que soporta tres ménsulas a 5 mts. que sirven de topes al contenedor primario de gas. En la parte superior de la boca se construye una pileta de carga de 2x2x2 mts., conectado el fondo de ésta con el digestor mediante un tubo de asbesto de 0.10 mts. de diametro. El fondo de esta pileta se construye a un nivel superior al del digestor para asegurar que la operación de carga y descarga se lleve a cabo por gravedad. (13).

Al extremo contrario de la pileta de carga, se construye un canal de descarga que comunica al digestor con una pileta de 3.2 x 1.5 x 0.5 mts. ubicada abajo del nivel del digestor. Toda la construcción se recubre interiormente por una capa de cemento pulido para evitar filtraciones (plano 1 proporcionado por el Instituto de Investigaciones Eléctricas). (8).

3.- Contenedor Primario de Gas

Consiste en una campana, la cual se construye con lámina de fierro rolada y soldada, que se coloca sobre el digestor. Sobre la tapa se instalan las salidas para desfogue rápido de gas y la salida de gas de servicio, de 3.8 cms. y 1.25 cms. de diametro respectivamente, las cuales están equipadas con válvulas de compuerta. (8).

4.- Equipo Accesorio

Se construye una trampa de limadura de fierro para eliminar las trazas de ácido sulfhídrico en el gas.

Se instala un separador de líquidos para eliminar el agua que es arrastrada por el gas al salir del digestor.

Se introduce al digestor un agitador que consiste en un rin suspendido con un cable de acero que emerge de la parte central del contenedor de gas y se desliza por una polea instalada en la estructura de soporte de la campana. (8).

5.- Generalidades del Proceso de Digestión

El proceso de digestión se lleva a cabo en dos partes, en las cuales actúan diferentes tipos de bacterias como *Bacteroides saccinogenes*, *Ramnococcus flavefaciens*, *Ruminococcus albus* y *Selenomonas ruminatioum*.

5.1. Primera etapa

Consiste en la conversión de protefmas, grasas y carbohidratos en ácidos grasos, como son: El acético, el propiónico y el butírico; esto es llevado a cabo por un grupo heterógeno de microorganismos por procesos de hidrólisis y fermentación (24).

Dichas bacterias que forman los ácidos son de fácil reproducción y son escasamente sensibles a cambios bruscos de las condiciones de digestión.

5.2.- La Segunda Etapa de este proceso, consiste en transformar los ácidos simples a metano y bioxido de carbono, actuando principalmente un grupo de bacterias anaeróbicas estrictas llamadas metanogénicas (*Methanobacterium ruminatium*), las cuales presentan dificultad a la reproducción y son demasiado sensibles a las variaciones del medio ambiente y a la presencia de oxígeno en el medio. Actúan también en esta etapa las bacterias formadoras de ácidos.

Si dentro del digestor no existe la presencia de oxígeno y las condiciones de temperatura y carga son controladas, se establece un balance entre ambas familias. De otra manera, la reproducción de las formadoras de metal sería inhibida y podría pararse totalmente el proceso de digestión, ya que la producción de enzimas de las bacterias aeróbicas interferirían con el metabolismo de las anaeróbicas (9).

En forma esquemática se puede representar el proceso de degradación anaeróbica de la materia orgánica como se muestra en el cuadro número 1.

6.- Tipos de Digestores

Felix Galván, en 1976 dijo que los Digestores pueden ser de dos tipos: -

- a).- Digestores cargados por lotes: que se llenan de una sola vez con -- cantidades regulares de estiércol, se llenan y se vacían cuando las materias primas hayan dejado de producir gas.

- b).- Digestores de alimentación continua: son cargados continuamente habiendo una producción constante de gas y fertilizante; el digestor es alimentado mezclando el agua con materia orgánica, proceso denominado "lechada". En el interior del digestor la carga diaria de lechada fresca, fluye por el extremo desplazando la carga anterior, - la cual ya ha comenzado a digerirse. La materia prima es desplazada hasta ser llevada al lugar donde se encuentran las bacterias metanogénicas, las cuales empiezan a producir el gas que es acumulado en la superficie y que tiene propiedades muy similares a las del gas común (29).

Por diferencia de densidades se empieza a diluir el contenido en el interior del digestor, formándose varias capas (ver esquema número 1) .

7.- Fracciones de la Digestión

- 7.1. Sedimento: Está constituido por los residuos del material digerido, y está formado por líquidos y por sólidos. Este sedimento tiene excelentes características para ser usado como fertilizante. El volumen de materia orgánica con relación al contenido primario, corresponde a un 40%.

CUADRO No. 1

GRASAS CELULOSA PROTEINAS

GLICOLISIS HIDROLISIS
GLUCOLISIS, PROTEOLISIS

BACTERIAS ACIDAS
B. SUCCINOGENES R. ALBUS
R. PLANETACIENS S. RUMINATIUM

ACIDOS ORGANICOS

BACTERIAS
METANOGENICAS (METHANOBACTERIUM
 RUMINATIUM)

METANO + CO₂

ESQUEMA No. 1

DIAGRAMA DE ESTRATIFICACION DE LOS COMPONENTES
EN EL INTERIOR DEL DIGESTOR.



TOMADO DE: Reporte de digestores operados con carga
continua en la Universidad de Metinola, Canada.
Ing. Alfonso Félix Galván.
1978.

7.2. Sobrenadante : Es el material que al igual que el anterior posee características excelentes para ser usado como fertilizante.

7.3. Espuma formada por desechos fibrosos del estiércol, gas y líquido. En cantidades moderadas actúa como aislante, pero en grandes cantidades desactiva al proceso.

8.- Factores que controlan el proceso.

8.1. Relación carbono/nitrógeno .

La composición del desecho que se utilice en el digestor, es el primer factor a tomar en cuenta. La experiencia ha demostrado que la relación C: N óptima es de 30:1. Estos dos elementos, deben estar presentes en la dieta bacteriana en proporción adecuada, ya que si hay poco nitrógeno, la bacteria no será capaz de usar todo el carbono presente y el proceso será ineficiente. Si por el contrario, hay demasiado nitrógeno, usualmente en forma amoniacal, este puede inhibir el crecimiento bacteriano, especialmente de las bacterias formadoras de metano, porque al formarse el amoníaco, disminuye el hidrógeno disponible y que es indispensable para la síntesis bacteriana (20, 23 y 36).

8.2. Potencial de Hidrógeno (pH)

El pH tiene efectos determinantes sobre la actividad biológica del proceso; en mantener el pH estable es importante para todo proceso. La mayor parte de los procesos vivos, se desarrollan en un pH comprendido entre 5 y 9 para el proceso de digestión, en cuanto a este punto es más estricto, ya que se lleva a cabo en un pH de 7.5 a 8.5. Porque en este rango actúan mejor las enzimas producidas por las bacterias y que son la : Xilanasas, Bxilosidasas y Arabinosidasas.

Durante la fase ácida inicial de la digestión , que puede durar unas dos semanas, el pH puede bajar a 6 ó menos, mientras se libera una gran cantidad de CO₂. A esto sigue unos 3 meses de disminución lenta de la acidez; durante

este tiempo se digieren los ácidos volátiles y los compuestos nitrogenados, formándose compuestos de amoníaco (este amoníaco se hace importante, cuando se toma en consideración el valor fertilizante de los sedimentos).

Conforme continúa el proceso de digestión se produce menos CO_2 y más metano y el pH se eleva lentamente hasta aproximadamente 7. En la medida en que la mezcla se va haciendo menos ácida se produce la fermentación del metano. Entonces el pH se eleva hasta alcanzar los rangos de 7.5 a 8.5, después de este punto, aunque se agreguen grandes cantidades de ácido o alcalino, la mezcla se ajusta para estabilizarse a un pH de 7.5 a 8.5.

Concretamente los digestores que operan con estiércol han registrado niveles de pH en el intervalo de 6.7 a 7.5. Un digestor que esté operando correctamente debe estar en este rango; si el equilibrio se pierde en un digestor y éste se tornara demasiado ácido se inhibiría el crecimiento de bacterias formadoras de metano, dando como resultado un incremento en la proporción de bióxido de carbono en el gas. (16).

8.3. Temperatura:

La descomposición anaeróbica puede llevarse a cabo en un intervalo de temperaturas que van desde 15° hasta 60°C.

La producción de gases puede hacerse en dos gamas de temperatura:

- a) 29.4° a 40.5° C.
- b) 48.8° a 60° C.

En cada uno de estos rangos actúan diferentes tipos de bacterias: en el caso de las que actúan entre 48.8° y 60° C. se les denomina bacterias termófilas (21), siendo su temperatura óptima de 55° C.; sin embargo, en los digestores no se recomienda que actúen dentro de este parámetro ya que la mayoría de los materiales se digieren en una gama más baja y estas bacterias son sumamente sensibles a cualquier cambio del medio, además que los fertilizantes producidos son de baja calidad y mantener estas condiciones de temperatura se dificulta mucho en climas templados. (21).

En cambio, las bacterias que producen metano en la gama normal de 32° a 35° C. son de mayor estabilidad y producen sedimento de alta calidad. Las bacterias que actúan en dicho rango se denominan mesófilas. Las variaciones de temperatura afectan el pH por lo cual es indispensable que se mantenga constante a lo largo del proceso. (21).

8.4. Tiempo de Residencia:

El tiempo de permanencia de los sólidos volátiles en el interior del digestor, es una parte básica del proceso, ya que representa el tiempo promedio que la materia orgánica está expuesta a los microorganismos. (1). Esta medida de tiempo determina la cantidad de gas obtenido: El valor óptimo es aquel que produce un 80° de la producción en el menor número de días.

Existe una correlación entre el tiempo de residencia y la temperatura, ya que la temperatura es inversamente proporcional al tiempo de residencia - (a mayor temperatura, menor tiempo de residencia).

8.5. Porcentaje de sólidos:

El rango adecuado para llevar a cabo correctamente el proceso de digestión es del orden de 4 a 40% de sólidos totales.

Por ejemplo, el estiércol de bovino tiene alrededor del 17 al 20% de sólidos totales: por lo tanto, hay que diluirlo en agua para formar una suspensión denominada "lechada"; si se agrega el agua en exceso, se crea en la suspensión cierta inestabilidad, lo cual provoca un asentamiento rápido en capas en el interior del digestor dificultando con esto el proceso de digestión.

Una buena lechada debe tener características muy similares en cuanto a densidad a la crema de la leche. Al diluir las materias primas tiene una incidencia directa sobre el tiempo de residencia, ya que ésta tiende a reducirse. (5)

8.6. Índice de carga:

Se define como la cantidad de materias primas que son introducidas -

diariamente al digestor por m^3 de capacidad del recipiente.

Si se carga al digestor una cantidad demasiado elevada de materia prima va a causar trastornos en cuanto al pH en el medio, volviendo a éste más ácido por consiguiente causando la interrupción del proceso de digestión

La ventaja de cargar mayormente el digestor sería la de optimizar su uso. (12).

8.7. Agitación:

La agitación es un factor importante ya que ocasiona un mejor contacto de las bacterias con relación al sustrato, además de estabilizar la temperatura en el medio. Esta se lleva a cabo por lo regular por medios mecánicos aunque hay otros mecanismos que la realizan por medio de difusiones de biogas. (39).

Si estamos trabajando con una población bacteriana mesófila (rango de trabajo 29.4 a 40.5° C). La agitación leve será suficiente; incluso puede ser suficiente con la carga diaria del digestor.

Como ya se mencionó antes, en la superficie se forma con los materiales fibrosos una "nata", la cual debe ser destruída por medios mecánicos para que con esto salga el gas producido del seno de la mezcla. (39).

En cuanto a la espuma, si se acumula en exceso paraliza el proceso; por lo cual es indispensable la agitación para prevenir la formación de espuma en grandes cantidades.

9. Materiales que pueden ser utilizados en el proceso de digestión:

Es sumamente amplia la cantidad de desechos orgánicos que pueden llegar a ser utilizados para su digestión con el fin de obtener combustible a partir de ellos.

Para efectos de estudio vamos a dividirlos en dos grupos:

9.1. Desechos animales: Dentro de este grupo pueden llegar a utilizarse --

principalmente la orina, sangre, harina de huesos, estiércol de gallina, borrego, caballo, cerdo, vaca, heces humanas, etc.

9.2. Desechos vegetales: Dentro de este grupo encontramos cáscara de cacahuate, heno de alfalfa, paja de avena, paja de trigo, rastrojo de maíz, de sorgo, paja de arroz, cáscaras de cítricos, etc.

10. PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS OBTENIDOS EN ESTE PROCESO:

10.1. El principal producto que se obtiene bajo este proceso es el "biogas" también conocido como gas de agua negra ó gas de los pantanos; los componentes que lo forman son:

- Metano (CH_4)	50	-	60 %
- Bióxido de Carbono (CO_2)	30	-	40 %
- Hidrógeno (H_2)	5	-	10 %
- Nitrógeno (N_2)	4	-	6 %
- Monóxido de Carbono (CO)			.1 %
- Oxígeno (O_2)			.1 %
- Acido Sulfhídrico (H_2S)			.1 %

El valor combustible del biogas es directamente proporcional a la cantidad de metano que contenga. Esto se debe a que los gases distintos - al metano, son no combustibles o se encuentran en cantidades tan pequeñas que resulta insignificante.

Por regla general el metano tiene un valor térmico de 1 000 Unidades - Británicas Térmicas (UBT) y el biogas tiene un valor de 540 a 700 UBT. Una Unidad Británica Térmica es la cantidad de calor necesario para - elevar 1° F una libra de agua.

10.2. Sedimentos:

La mayoría de los sólidos no convertidos en metano se asientan en el - fondo del digestor como lodo (consistencia pastosa); son sólidos apagados del estiércol original reducidos a 40% del volumen que ocupaba en su estado bruto. Aunque varía de acuerdo a los materiales utilizados y

a las condiciones del proceso, este sedimento contiene elementos importantes para la vida vegetal, como son:

Nitrógeno, Fósforo, Potasio y elementos traza (sales metálicas).

Otros elementos indispensables sedimentados para el crecimiento de las plantas, son:

Boro, Calcio, Cobre, Hierro, Magnesio, etc.

CUADRO No. 2

RELACION DEL CONTENIDO DE NITROGENO, FOSFORO
Y POTASIO EN LODOS DIGERIDOS EN BASE SECA.

Nitrógeno (N_2)	1.6 - 1.8 %
Fósforo (P_2O_5)	1.1 - 2 %
Potasio (K_2O)	.8 - 1.2 %

Tomado del manual para el promotor de la Tecnología. Instituto de Investigaciones Eléctricas y Organización Latinoamericana de Energía.

10.3. Sobrenadantes:

Los líquidos apagados de la lechada original son subproductos que tienen casi iguales características que los sólidos apagados del estiércol. El valor como fertilizante es tan grande como el de los sedimentos, ya que contiene Nitrógeno, Fósforo y Potasio.

11. EXPERIENCIAS OBTENIDAS EN LA UTILIZACION DE DIFERENTES ESQUILMOS.

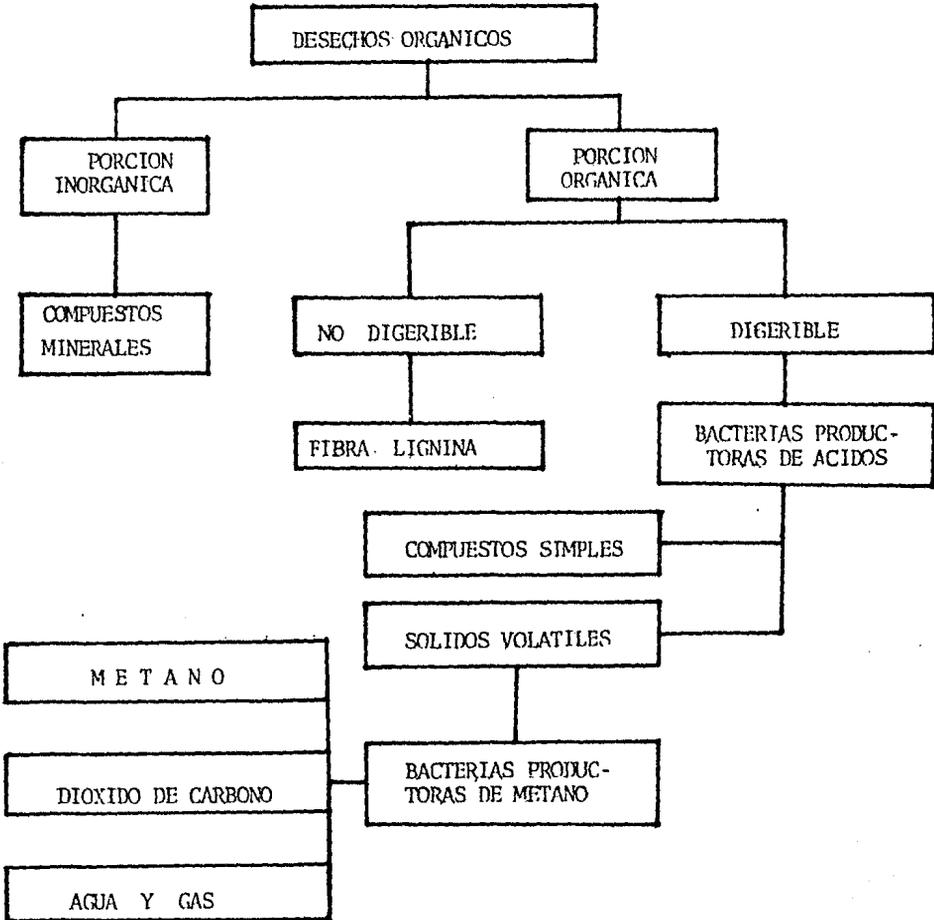
11.1. Estiércol de porcino:

En un estudio realizado por el Instituto de Investigaciones Eléctricas en 1978, se analizó el comportamiento del estiércol de porcino en la obtención de biogas por fermentación anaeróbica.

Este trabajo fue realizado a nivel de laboratorio en el Instituto de Investigaciones Metalúrgicas de la Universidad de Michoacán.

El proceso de digestión para la utilización de subproductos se puede resumir en el siguiente diagrama:

DIAGRAMA No. 2



TOMADO DE: Instituto de Investigaciones Eléctricas EF-A2 8.

Metodología y Desarrollo:

La experimentación fue llevada a cabo en matraces operados en lote a 8% de sólidos totales sin agitación y con calefacción. La materia prima utilizada fue estiércol de porcino, al cual se le determinó una -- humedad del 81.7% lo que corresponde a un 18.3% de sólidos totales, - además se le realizó un análisis químico como se observa en el cuadro siguiente:

CUADRO No. 3
ANÁLISIS QUÍMICO DEL ESTIERCOL DE PORCINO

Sólidos volátiles	83.3 %	(base seca)
Sólidos totales	18.3 %	
Nitrógeno	4.1	(base seca)
Fósforo	2.3	(base seca)
Potasio	4.5	(base seca)
pH	8.0	

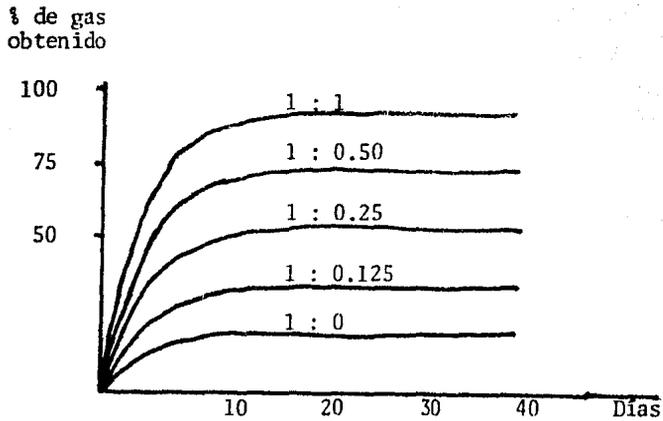
Tomado de: Instituto de Investigaciones Eléctricas/F E -A2/Nov. 1978.

La relación Carbono:

Nitrógeno se ajustó con adiciones de esquilmos vegetales en un rango paja: estiércol de 0.1 a 1.1 por considerar que ese material es rico en cuanto a contenido de carbono. También se efectuaron pruebas de variación de temperatura en el rango de 25 a 40° C. Se determinó el - el tiempo de residencia, considerando como óptimo aquel que produce - el 80% de la producción total en el menor número de días. Al finalizar, se analizaron los lodos residuales para encontrar su poder fertilizante o sea el contenido de N - P - K.

11.1. Resultados reportados:

Se observó en las variaciones de la producción de gas a diferentes - adiciones de paja, para relaciones "estiércol-paja" de 1:0, 1:0.125, 1:0.25, 1:0.5 y 1:1. Se reportó que en las condiciones del experimento la relación 1:1 resultó la mejor adición, como se demuestra en la Fig. No. 3.



TOMADO DE: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS EF - A2 8.

En cuanto al porcentaje de gas obtenido a diferentes tiempos de digestión, se concluye que el tiempo óptimo es de 20 días**, considerando la calidad del gas obtenido, según lo muestra el siguiente cuadro:

CUADRO No. 4

RELACION DIAS DE DIGESTION: % DE GAS OBTENIDO

PERIODO DE DIGESTION (DIAS)	GAS OBTENIDO (%)
0	0.0
10	25.1
20 **	63.1 **
30	7.3
40	4.6

TOMADO DEL: Wather Pollut Control. Fed. 359; 12:3, 1961.

El análisis químico practicado concluye que el residuo degerido es un excelente mejorador de suelos por su alto contenido de Nitrógeno y Fósforo como se observa en el siguiente cuadro:

CUADRO No. 5

ANALISIS QUIMICO DE LOS LODOS RESIDUALES A ESCALA DE LABORATORIO

BASE SECA	
COMPONENTE	%
Nitrógeno	2.2
Nitrógeno (NH_3)	16.0
Fósforo ($\text{P}_2 \text{O}_5$)	1.8
Potasio ($\text{K}_2 \text{O}$)	0.8
Materia Orgánica	54.0
pH	7.8

TOMADO DEL: Wather Pollut Control, Fed. 359: 12:3, 1961.

De lo anterior se concluye que:

- a) El tiempo de residencia para alcanzar un aprovechamiento de más del 80% del total de gas es de 20 días; ya que fue cuando se obtuvo el mayor volumen de gas (ver cuadro No. 4 **).
- b) La temperatura óptima de digestión en el rango estudiado es de 35° C.
- c) La mejor relación "Carbono : Nitrógeno" encontrada fue de 30:1.

11.2. Digestores operados con carga continua:

Otro trabajo o experiencia con estiércol de porcino fue llevado a cabo en la Universidad de Manitoba, también fue realizado en el Instituto de Investigaciones Eléctricas de la Comisión Federal de Electricidad, México. (29).

Inicialmente se cargan los digestores, con 4 litros de lodos digeridos y se mantuvieron a 32°C hasta que empezaron a producir biogas; el pH y la alcalinidad no sufrieron ninguna variación. Después se alimentaron los digestores con la carga deseada, descargando un volumen igual de los lodos digeridos. Las temperaturas elegidas para la operación del digestor cubren el nivel alto de rango termófilo y el rango bajo del mesófilo; este rango de temperaturas varió, operándose a 32, 37, 42, 47 y 52°C no modificándose la temperatura hasta obtener una estabilidad en la producción.

En el transcurso del experimento se efectuaron las siguientes mediciones: pH, CO₂, nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánico, ácidos volátiles y composición del gas. Los parámetros citados fueron analizados siguiendo el método estándar para análisis de aguas y aguas de desecho (33). El metano fue analizado en un cromatógrafo de gases, usando un detector de ionización de flama y una columna "purepak" de 8 pies, empleando nitrógeno como gas de arrastre a un flujo de 20 ml/mhn.

11.2.1. Resultados obtenidos

La máxima reducción fue de 75%, este porcentaje de reducción de sólidos volátiles fue obtenido a una temperatura de 52°C, tiempo de residencia de 15 días y a carga diaria de 2.4 kg. s.v./m³. - El investigador Gramms reportó datos muy similares de su experimento.

Los datos indican que el aumentar el tiempo de residencia, se aumenta la reducción de sólidos volátiles; después encontraron que al someter el estiércol de porcino a una temperatura de 32 a 42°C en los dos tiempos de residencia, se aumentaba la reducción de sólidos volátiles.

$$T^{\circ} + \uparrow TR = \uparrow R / de SV$$

Con un nuevo aumento de temperatura a 47° C, observaron un ligero descenso en la rapidez de destrucción de sólidos volátiles. Sin embargo, subiendo la temperatura a 52° C se volvía a observar un marcado aumento en la destrucción de sólidos volátiles.

Este fenómeno ha sido reportado por varios autores. (17, 18, 35, 38).

11.2.2. El pH, Alcalinidad y Concentración de Acidos Volátiles:

Generalmente el pH de un digestor depende de la relación entre los ácidos volátiles y la alcalinidad. Este parámetro es una medida de la capacidad amortiguadora de un digestor. La principal forma de alcalinidad son los bicarbonatos que resultan de la reacción del amoníaco, CO_2 y H_2O para formar bicarbonato de amonio. (7, 11, 12, 31). Esta producción natural de alcalinidad hace que el pH del sistema fluctúe en el rango deseado de 6.8 a 7.2; la alcalinidad aumenta al aumentar la carga, el tiempo de retención y la temperatura.

Mc Corty y Mc Kioney (31) reportaron que la concentración de amoníaco libre aumenta cuando se incrementa el pH, y que concentraciones de 150 mg/lt de amoníaco producen condiciones tóxicas en el digestor

En el caso del estiércol porcino, la variación de pH resultó ser de orden de 6.7 a 7.4, mismo que es un rango recomendado para la digestión óptima de desechos domésticos. (13).

El contenido de ácidos volátiles en los digestores, calculado como ácido acético, varió de 200 mg/lt a 32° C, a 1450 mg/lt a 52° C. Se demostró que el tiempo de residencia ejerce gran influencia sobre la concentración de ácidos volátiles, observándose que un aumento del tiempo de residencia desde 10 a 15 días, reduce el nivel de ácidos volátiles aproximadamente dos veces. (13).

Los resultados demuestran que la concentración de ácidos volátiles aumenta al aumentar la carga y la temperatura. Fenómenos similares han sido reportados por otros autores. (13, 19).

11.2.3. Relación entre Amoníaco y Nitrógeno Orgánico:

La acumulación de nitrógeno amoniacal en el digestor, está asociada a la descomposición de nitrógeno orgánico, el cual aparece principalmente en forma de proteínas y urea.

En la digestión del estiércol de porcino se observó que la acumulación de nitrógeno amoniacal fue paralelo al aumento de la carga, el tiempo de residencia y la temperatura. A temperaturas más altas la concentración de nitrógeno amoniacal fue mayor que el rango mesófilo. Experiencias similares fueron reportadas por otros autores. (5).

- Según Goleuke (17), este fenómeno es debido a que en el rango termófilo hay mayor degradación de proteínas.

11.2.4. Producción de gas y Contenido de Metano:

El gas producido tiene aproximadamente un 57-65% de metano; estos datos se han visto ya en otras experiencias similares. (3, 4, 37).

El volumen total de gas producido diariamente por cada digestor varía en razón directa a la temperatura, carga y tiempo de residencia. (5, 35, 38).

11.2.5. Efectos de la Temperatura:

El efecto de este parámetro es el reflejo del comportamiento bacteriano dentro del digestor. (36). Las poblaciones bacterianas según Toesien, se describen como psicrófilas, mesófilas y termófilas dependiendo la temperatura a la cual su crecimiento es óptimo. Cualquier cambio brusco de este parámetro puede ser fatal para los microorganismos.

La observación de los resultados señala que hubo un retraso en la fermentación en el nivel alto del rango mesófilo. Como se dijo previamente, la velocidad de fermentación aumenta de 32 a 42° C, debido posiblemente a que la temperatura de 37° C es la óptima para el grupo mesófilo.

Sin embargo, a 47° C hubo un retraso en la reducción de sólidos volátiles, producción y contenido de metano del gas. Ahora bien, el rápido aumento de la actividad microbiana entre los 47 a 52° C parece indicar que se estableció otra población posiblemente termofílica.

11.2.6. Conclusiones:

Después de leer y analizar los párrafos anteriores, se puede concluir que:

- La digestión anaeróbica de desechos orgánicos es un fenómeno complejo debido principalmente a las diferencias físico-químicas del material disponible y la heterogeneidad de la población bacteriana.
- En base a los resultados obtenidos se recomienda un rango de temperatura de operación de 37 a 42° C.
- La velocidad de reducción de sólidos volátiles y producción de gas fue mayor a 42° C que a 32° C.
- Encontramos que a 52° C mejoró la calidad del gas en términos porcentuales de metano.
- La calidad de los lodos digeridos fue mejor en el rango termófilo.
- El tiempo de residencia deberá fluctuar entre 15 y 18 días para obtener una buena reducción de sólidos volátiles (S.V.) y CO₂.
- La carga no debe exceder a 4 kg. sv/m³ al día, pues cargas más grandes producirán acumulación de amoníaco, lo cual podría ser fatal para el proceso de la digestión.

11.3. Evaluación de Mezclas de Estiércol de Bovino y Esquilmos Vegetales para la Obtención de Biogas por Fermentación Anaeróbica. (Trabajo realizado por el Instituto de Investigaciones Eléctricas. (IEA-2/12).

11.3.1. Descripción del Equipo:

Se montaron nueve digestores en garrafrones de vidrio de 20 litros de capacidad, los que se acondicionaron con salidas para termómetros y para captación de gas, el cual se almacenó en cámaras de llanta de 8 litros de volumen. Se sellaron herméticamente empleando un sellador a base de silicón.

El volumen ocupado por la mezcla fue de 15 litros, quedando 5 litros como recipiente primario para la captación de gas.

El experimento se desarrolló a nivel de laboratorio, y se utilizaron digestores de régimen estacionario. Entre otras condiciones para la realización del experimento se tomaron en cuenta:

- Relación de Carbono/Nitrógeno: 30:1
- Porcentaje de sólidos; 8:0
- Temperatura: ambiente
- Agitación: en el digestor
- Materia Prima;

Estiércol de bovino recolectado en el establo de Escuela Técnica - Agropecuaria No. 159 de Palmira, Morelos.

Paja de arroz, colectada en los campos de cultivo del Municipio -- Emiliano Zapata, Morelos.

Rastrojo de sorgo colectado en los campos de cultivo del Municipio: Puente de Ixtla, Morelos. (Cosecha de Invierno),

Rastrojo de maíz, colectado en la Escuela Técnica Agropecuaria No. 159, de Palmira, Morelos.

Cáscara de cacahuate. Esta se obtuvo de la fábrica de palanquetas del Ejido Tenango, Municipio de Jonacatepec, Morelos.

A todos los materiales se les determinó su porcentaje de sólidos totales, análisis bromatológico y análisis químico.

11.3.2. Montaje de los Digestores y Puesta en Operación:

El volumen de mezcla en cada digestor fue de 15 litros, con una densidad promedio de 1.025 gr/cm^3 , lo que equivale a 15.375 kg. de mezcla por digestor. Las mezclas se inocularon con un 10% en volumen de material digerido procedente del digestor familiar (con 5% de sólidos totales).

Los digestores se dividieron en parejas, cargando uno con estiércol y material vegetal picado en trozos de aproximadamente 2 cm. y el otro con estiércol y material molido en un molino de martillos hasta obtener una harina; el digestor restante fue el que se operó como testigo cargándolo con estiércol de bovino.

La relación C/N para cada digestor se ajustó a 30:1.

11.3.3. Al inicio del experimento se tomaron muestras de cada mezcla para análisis de sólidos totales, sólidos volátiles y pH de cada digestor. Estos análisis se realizaron según los procedimientos incluidos en el libro Métodos Estandar para el Análisis de Agua y Aguas de Desecho. (33).

Se llevó un registro diario de la producción de gas, usando un medidor de gas. El contenido de metano, bióxido de carbono, oxígeno y nitrógeno del gas generado se determina semanalmente en un Cromatógrafo de Gases marca Varian, Mod. 3700.

La separación e identificación se llevó a cabo en un par de columnas de tamiz molecular de 5°A 30/60 longitud 5' y $1/3''$ de diámetro. Se usó Helio como gas portador a un flujo de $13 \text{ cm}^3/\text{minuto}$, la temperatura del inyector se mantuvo en 60°C .

11.3.4. Datos experimentales:

Una vez iniciada la carga, se procedió a agitar y tomar muestras para determinar los porcentajes de sólidos y pH en los digestores. En el caso de los digestores cargados con material picado, no se pudo efectuar un muestreo correcto, pues el tamaño de la partícula dificultó obtener una verdadera muestra representativa, no así en los di

gestores cargados con material molido en los que se efectuó análisis de sólidos totales, sólidos volátiles y pH.

Es necesario hacer notar que el digester número 7, cargado con rastrojo de maíz picado, sufrió un accidente y debido a que los demás digestores ya iban muy adelantados en su producción, no se creyó conveniente volver a cargarlo, pues eso implica que estaría sometido a diferentes condiciones ambientales lo que no permitiría comparar los resultados con el resto.

La operación de los digestores requiere de una fuerte agitación con objeto de romper las natas que se tienden a formar en la superficie impidiendo la salida del gas.

En el gas producido se efectuaron pruebas diarias de combustión resultando que el inicio de la producción de gas combustible no fue igual para todos los digestores, variando de 4 a 16 semanas el inicio de la producción de biogas.

Semanalmente se determinó la composición de gas utilizando un cromatógrafo de gases. En la Tabla No. 1 se presentan los resultados de la composición de cada uno de los digestores.

Al final del experimento se analizaron los lodos digeridos y el resultado se muestra en la Tabla No. 2.

11.3.5 Análisis y evaluación de los datos obtenidos:

Los datos obtenidos sobre el porcentaje de Nitrógeno y la relación Carbono/Nitrógeno de diferentes materiales que pueden ser usados en la fermentación anaeróbica se muestra en la Tabla No. 3.

Una comparación entre materiales molidos indica que la mezcla de paja de arroz con estiércol presenta más alto porcentaje de metano, seguido por la mezcla de cáscara de cacahuete con estiércol. Estos dos

TABLA No. 1

COMPOSICION QUIMICA DEL GAS (15)

(VALOR PROMEDIO DEL ANALISIS CROMATOGRAFICO Y DESVIACION ESTANDAR)

DIGESTOR	METANO %	BIOXIDO DE CARBONO %	NITROGENO %	OXIGENO %
1				
Cáscara de caca- huate picado	+54.6941 - 4.6457	+41.6051 - 3.3006	+2.5384 - 2.1943	+ .3856 - .1625
2				
Cáscara de caca- huate molido	+58.5850 - 4.9709	+27.9750 - 14.8421	+12.2550 - 9.8499	+1.1400 - .0282
3				
Paja de arroz picado	+54.5865 - 1.7920	+44.8509 - 9.6552	+ 3.8539 - 4.7774	+ .5678 - 1.0026
4				
Paja de arroz molido	+59.1750 - 5.3810	+28.0350 - 3.6698	+11.9050 - 1.4778	+ .8800 - .2404
5				
Rastrojo de sorgo picado	+52.4356 - 1.7556	+44.8088 - 4.7655	+ 3.0969 - 3.4485	+ .4016 - .6493
6				
Rastrojo de sorgo molido	+56.6050 - 10.7808	+27.7825 - 1.9454	+14.8845 - 12.2192	+ .7150 - .3374
8				
Rastrojo de maiz molido	+53.3204 - 5.7312	+42.0774 - 8.1791	+ 3.9335 - 4.2608	+ .6005 - .5610
9				
Estiércol	+57.6566 - 7.2926	+36.6566 - 7.7716	+ 5,2700 - 2.5920	+1.5922 - 1.7928

TABLA No. 2

ANALISIS DEL MATERIAL DIGERIDO (15).

DIGESTOR	SOLIDOS TOTALES	SOLIDOS VOLATILES	pH
1	%	%	
Cáscara de cacahu <u>a</u> te picado	+1.5700 - .3044	+78.9666 - 3.2837	6.6
2			
Cáscara de cacahu <u>a</u> te molido	+6.6700 - .2551	+75.3833 - .1101	7.01
3			
Paja de arroz picado	+4.3400 - .1414	+82.0800 - .1131	7.05
4			
Paja de arroz molido	+4.6766 - .0776	+69.3333 - .1331	7.00
5			
Rastrojo de sorgo picado	+3.9633 - .8863	+69.7266 - 1.7093	6.94
6			
Rastrojo de sorgo molido	+5.2766 - .4805	+85.2233 - 1.2150	6.42
8			
Rastrojo de maíz molido	+2.4833 - .1078	+63.7833 - .1955	6.98
9			
Estiércol	+3.5733 - .0585	+80.7566 - .0585	6.99

TABLA No. 3
RELACION C/N DE DESECHOS ORGANICOS (34)

	% N (base seca)	REAL C/N
Desechos animales		
Orina	16	3.5
Sangre	12	3.5
Harina de huesos	-	-
Estiércol de gallina	6.3	15.0
Estiércol de borrego	3.8	-
Estiércol de cerdo	3.8	-
Estiércol de caballo	2.3	25
Estiércol de vaca	1.7	25
Heces humanas	6.0	6-10
Desechos vegetales		
Cáscara de cacahuete	.8	36
Heno de alfalfa	2.8	17
Paja de avena	1.1	48
Paja de trigo	.5	150
Rastrojo de maíz	.49	53
Rastrojo de sorgo	.5	53
Paja de arroz	.3	53
Aserrín	.1	200-500

materiales producen más gas que el estiércol solo. El porcentaje de metano producido por la mezcla de rastrojo de sorgo es muy semejante al que produce el estiércol solo. La mezcla de rastrojo de maíz con estiércol produce un gas con un porcentaje bajo de metano.

Los digestores cargados con mezclas y material vegetal picado presentan un porcentaje más bajo de metano, comparado con el digestor testigo.

El porcentaje de Nitrógeno indicado se calculó en base a los resultados de análisis del gas durante todo el período de producción a partir de que el gas fue combustible. Se encontró que la concentración de Nitrógeno es significativa al inicio de la reacción, reduciéndose a medida que aumenta la concentración de metano, sobre todo en el material picado.

Los datos de producción de gas una vez que fue combustible, acumulados por semana en litros de gas/kg. de material seco inicial.

Se puede apreciar que el material molido genera una cantidad total de gas, mayor que el material picado, excepto en el caso de la mezcla de estiércol con paja de arroz.

En los valores de producción de gas combustible para los materiales picados, se puede apreciar que la producción de gas a partir de sorgo es mejor que la producción de gas a partir de arroz y ésta a su vez mejor que la producción de gas a partir de cáscara de cacahuate.

La producción de gas de la mezcla de rastrojo de sorgo con estiércol es superior a la de éste último material sin agregado vegetal.

En los datos sobre la producción de gas combustible a partir de materiales molidos, se puede observar que de nuevo la mezcla de sorgo es la que más produce, seguido por el rastrojo de maíz y de cáscara de

cacahuete. Los dos primeros materiales producen más gas que el estiércol solo.

11.3.6. Conclusiones:

- La adición de rastrojos de sorgo y maíz al estiércol de bovino para conseguir una relación Carbono/Nitrógeno de 30:1 mejora notablemente la producción de gas.
- El empleo de material en forma molida produce mejores resultados que en forma picada tanto en volumen de gas producido como en su contenido de metano, ya que aumenta la superficie de contacto del material para que actúe mayor número de bacterias.
- Una desventaja del uso de rastrojos molidos es que el inicio de la producción de gas combustible requiere de más tiempo que cuando se emplean rastrojos picados y su producción no es uniforme.
- El comportamiento anterior no se observa al emplear rastrojo de maíz molido, el que empieza a producir gas combustible en un tiempo corto, produciendo un volumen total de gas mayor que el estiércol de bovino solo, pero con un contenido menor de metano.
- La agitación es un factor determinante en la producción de gas a partir de mezclas con vegetales, ya que el material fibroso tiende a formar una nata gruesa en la superficie, impidiendo la salida del gas. La agitación debe efectuarse 2 ó 3 veces al día con objeto de romper esta nata.

IV.- DISCUSION:

El abastecimiento a pequeñas comunidades de fuentes de energía comerciales tales como la electricidad, petróleo, gas natural o licuado y otros, a diferentes medios, tiene grandes restricciones, debido fundamentalmente al aislamiento, la dispersión y la falta de vías de comunicación de muchas comunidades rurales a nivel mundial.

Datos oficiales revelan que tan solo en América Latina 90 millones de habitantes de las áreas antes mencionadas presentaban carencias importantes en cuanto a la disponibilidad de energía útil para fines domésticos y agroindustriales. (30).

Una de las alternativas capaces de ayudar a resolver en parte esta situación es la construcción de plantas productoras de biogas, las cuales pueden operar a partir de casi toda la materia orgánica, especialmente los residuos agrícolas, basuras, desechos animales y humanos, ya que todos éstos benefician con resultados similares sin diferencias significativas.

Por medio de este proceso se obtiene gas combustible y sus residuos con características fertilizantes, resolviendo al mismo tiempo serios problemas ambientales al convertir desechos que hacen proliferar larvas y moscas, en recursos útiles.

Por otra parte la instalación de estos digestores no requieren de una gran infraestructura, siendo por esto adaptables a las condiciones económicas y sociales de los medios rurales, ya que su operación y mantenimiento es muy sencillo, y teniendo implicaciones técnicas muy complejas. Esto ha sido reportado en estudios realizados por el Instituto de Investigaciones Eléctricas en cuanto a la cantidad de digestores que fueron instalados y operados por individuos de las propias comunidades, teniendo resultados muy satisfactorios.

Desde el punto de vista económico, la instalación de uno de estos mode-

los resulta costoso, ya que, según datos obtenidos por entrevista verbal con el Ing. Alfonso Félix Galván, responsable del Departamento de Nuevas Fuentes de Energía del Instituto de Investigaciones Eléctricas de Palmira, Morelos; el costo de un digestor de 10 mts. cúbicos de capacidad es aproximadamente de \$ 200,000.00 M. N. variando éste según el tipo de terreno o región.

El gas producido es de alto valor combustible ya que el contenido de metano es elevado, por lo tanto puede subsanar las necesidades de gas común o natural en apartadas zonas habitacionales.

Con esto se demuestra que es factible obtener energía calórica y lumínica por otros medios que no son los habituales, en lugares donde es difícil la comunicación y por lo tanto su instalación.

Los nuevos profesionistas somos los promotores de éstas alternativas orientadas a subsanar las necesidades energéticas y alimenticias en las comunidades, sobre todo del tipo rural, ya que es allí donde se requiere del impulso que proporciona la tecnificación.

V.- OBSERVACIONES:

Por todo lo anteriormente expuesto, sería importante la creación de un modelo experimental y demostrativo para la obtención de gas en las instalaciones de la Facultad de Estudios Superiores - Cuautitlán, ya que - además de utilizar los subproductos de origen animal y vegetal que se - producen diariamente en las instalaciones de nuestra escuela, se eliminan problemas de contaminación ambiental y se permitiría incidir en las prácticas docentes. Esto sería un ejemplo de aprovechamiento de recursos y tecnología con miras a que los alumnos en un futuro hagan lo mismo dentro de su vida como profesionistas.

Las carreras de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Ingeniería Agrícola, Ingeniería Química, Químico Farmacéutico Biólogo, Ingeniería en Alimentos y otras, tienen estrecha relación con los problemas de falta de tecnología, aprovechamiento de recursos y orientación técnica que debe ser proporcionada a las personas carentes de esta información.

VI.- BIBLIOGRAFIA

- 1.- Agricultural Wastes.
Loher K.C.
Management Academic Press, New York, N. Y., 1974.
- 2.- Amonium, Nitrogen and the Anaerobic Enviroment.
Albertson O,E.
Water Pollut Control, FED. 359 12:3 1961.
- 3.- Anaerobic digestion of farm animal wastes.
Present at A.S.A.E. Anual Meeting University.
Indiana, U.S.A, 1969.
- 4.- Anaerobic digestion of hog wastes.
Targanides, E,P.E.R., Bauman, H.P. Johnson and T,E. Hazen
J. Agric. Eng. Res. 1962 70: 327.
- 5.- Anaerobic Sludge Digestion, Mesophilic-Thermophilic
Rowe, D.R.
Water and sews work. March, 1971.
- 6.- Anaerobic digestion of the microbiology.
Toerien, D.F. and W.H.J. Hattingh.
Water Res. 1969, 3: 385.
- 7.- Application of digestion theory to digestor control.
Water Pollut Control FED. 40: 12, 20, 21. 1968.
- 8.- Biogas, Energia y fertilizante a partir de desechos orgánicos.
Manual para el promotor de la tecnología Instituto de Investigaciones
Eléctricas y Organización Latinoamericana de Energía.
Cuernavaca, Morelos, México, 1981.

- 9.- Biogas production from animal manure.
Biomass Energy Institute Inc.
Government of Canada. 1978.
- 10.- Boletín No. 2
Indian Council of Agricultural Reserch.
C. Ancherga Organic Anures Reserch, revision series.
Nueva Delhi, India,
- 11.- Cation Toxicity in anaerobic digestion.
Kuglman, I.J. and P.L. Mc. Carty
J. Water Pollut Control Fed. 37 : 1197. 1965
- 12.- Determinación del porcentaje óptimo de sólidos para digestores
de desechos orgánicos.
Ing. Alfonso Félix Galván.
Informe FA 2/4.
IIE; 1978.
- 13.- Digestion fundamentals applied to digester recovery,
two case studies.
J. Water Pollut Control. Dague R.R.L.L. Hophins and
R.W. Tonw.
FED 42 : 2 1966-1970.
- 14.- Desposal of sewage and other water bone wastes.
K. Imhoff Muller Athesttewayle lamb asbor
Science Publishers Inc. 1971.
- 15.- Evaluación de mezclas al estiércol de bovino y esquilmos vegetales
para la obtención de biogas por fermentación anaerobia.
Mandujano Alvarez María Isabel.
C.F.E. A.P. 475 Cuernavaca, Morelos.
Julio, 1979.

- 16.- Feasibility of Dairy manure stabilization by anaerobic digestion
Water and sewage works. pp 361-364.
September, 1967.
- 17.- Further studies on Thermophilic digestion of sludge solids.
Heukelekion, H.
Sew works Journal 2: 219.
- 18.- Influence of temperature on anaerobic digestion,
Maly J. and H. Fadrus.
J. Water Pollut Control 3 : 4555; 1970.
- 19.- Kinetics of waste assimilation in anaerobic treatment
in industrial microbiology,
Mc, Carty P.L,
American Institute of Biological Science,
Washington D. C. 7: 144, 1967.
- 20.- Methane, fuel of the future.
An assessment by Bell, Boulther, Dunlop and Keiler
Presm. Press, Chelmington Dorchestes, Dorset.
Great Britain. DT 20 HB 1973.
- 21.- Methane production from farm wastes as a source
of tractor fuel.
Rosemberg, G.
Journal of the Ministry of Agriculture. pp 587-494
England. 1952.

- 22.- Methane production from high Rab anaerobic digestion of hog and dairy cattle manure.
Wong y Pong.
Tesis de Maestría, Universidad de Matinola, Canada.
1973.
- 23.- Methane Generation from human, animal and agricultural wastes.
Nathional Academy of Science.
Washington, D.C. 1977.
- 24.- Obtención de Energía mediante la digestión del estiércol de vaca.
Pichardo Esqueda Joel y Arista Puigferrat Esteban.
Tesis profesional E.N.E,P.-CUAUTITLAN. 1980.
- 25.- Operation of sludge gas engines.
S. Greeley y C. Velzy
Swage works Journal. pp 57-67. 1963.
- 26.- Organics manures research revision
C. Acharga.
Series boleteins # 2.
Indian Journal of Agricultural Research,
Nueva Delhi, India, 1952
- 27.- Other homes and garage,
Leckie J. Masters/G. Whitenouse/H. Young, L.
Sierra Clubs books, 1975.

- 28.- Recopilación bibliográfica
Instituto de Investigaciones Eléctricas FE-A2 / 8
Noviembre, 1978.
- 29.- Reporte de digestores operados con carga continua
en la Universidad de Matinola, Canada.
Ing. Alfonso Félix Galván, 1978.
- 30.- Requerimientos futuros de fuentes no convencionales
de energía en América Latina.
P.N.V.D.
Quito, Ecuador. Junio, 1979.
- 31.- Salt toxicity in anaerobic digestion.
Mc. Carty P.L. and Mc. Kenney R, E.
J. Water Pollut Control 33 : 399.
1961.
- 32.- Sewage treatment,
Imhoff, K. and Fair, G.
John Wiley and Sons, Inc. New York, 1956.
- 33.- Standard methods for the examination of water
and waste water.
American Public Health Association, Inc. New York,
13th edition, 1974.
- 34.- Sanitary disposal and reclamation of organic waste.
Harold, B. Goteas work.
Health Organization, Generation 1956.

- 35.- Temperature effects on anaerobic digestion of raw sewage sludge.
Goleuke G.G.
Sew Ind. wastes, 1958.

- 36.- The effect of Nitrogen to carbon ratio on anaerobic decomposition.
Sanders, T.A. and Don E. Bloogood,
Journal W.P.C.F. Vol. 37 # 2 pp 1741-1752
December, 1965.

- 37.- The Menance of varius gases in animal unit.
A.S.A.E. 12 :3, 359.

- 38.- Thermal effects on completely mixed anaerobic digestion.
Mabna, J.F.
Water and sew works. Journal, 1964.

- 39.- Treatment of sewage and other water borne wastes.
Imhoff ET AL.
Bulter works. 1956.

VII.- I N D I C E

Objetivos	pág. 1
Antecedentes Históricos	pág. 2
Explicación y desarrollo del proyecto	pág. 5
Definición del término digestor	pág. 5
Digestor (diseño arquitectónico)	pág. 5
Contenedor primario de gas	pág. 5
Equipo accesorio	pág. 6
Generalidades del proceso de digestión	pág. 6
Primera etapa de la digestión	pág. 6
Segunda etapa de la digestión	pág. 6
Tipos de gestores	pág. 7
Fraciones de la digestión	pág. 7
Sedimento	pág. 7
Sobrenadante	pág. 10
Espuma	pág. 10
Factores que controlan el proceso	pág. 10
Relación carbono/nitrógeno	pág. 10
Potencial de hidrógeno	pág. 10
Temperatura	pág. 11
Tiempo de residencia	pág. 12
Porcentaje de sólidos	pág. 12
Índice de carga	pág. 12
Agitación	pág. 13
Materia prima utilizada	pág. 13
Desechos animales	pág. 13
Desechos vegetales	pág. 14
Productos y subproductos	pág. 14
Biogas	pág. 14
Sedimentos	pág. 14
Sobrenadantes	pág. 15

Experiencias obtenidas en la utilización de diferentes <u>es</u> quilmos	pág.	15
Estiércol de porcino	pág.	15
Resultados reportados	pág.	17
Digestores operados con carga continua usando estiércol de porcino	pág.	19
Resultados obtenidos	pág.	21
pH, alcalinidad y concentración de ácidos volátiles	pág.	22
Relación amoníaco/nitrógeno orgánico	pág.	23
Producción de gas y contenido de metano	pág.	23
Efecto de la temperatura	pág.	23
Conclusiones	pág.	24
Evaluación de mezclas	pág.	24
Descripción del equipo	pág.	25
Montaje de digestores y puesta en operación	pág.	26
Muestreo y análisis	pág.	26
Datos experimentales	pág.	26
Análisis y evaluación de los datos obtenidos	pág.	27
Conclusiones	pág.	32
Discusión	pág.	33
Observaciones	pág.	35
Bibliografía	pág.	36
Tabla No. 1	pág.	28
Tabla No. 2	pág.	29
Tabla No. 3	pág.	30