

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CUAUTITLAN**

**OBTENCION DE ENERGIA MEDIANTE LA
DIGESTION DEL ESTIERCOL DE VACA**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N**

**JOEL PICHARDO ESQUEDA
ESTEBAN ARISTA PUIGFERRAT
LUIS FELIPE CEDERBORG ALMEIDA
HECTOR A. DE J. ARREDONDO CASTILLO**

DIRECTORES DE LA TESIS:

ING. JUAN VARGAS SIERRA ING. SALVADOR CORTES FERNANDEZ

FEBRERO

1980



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.

PROLOGO

En fecha reciente la ENEP-C firmó un acuerdo de compra de un Digestor de Biomasa de 40 M³ de capacidad con el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE). La finalidad es aprovechar toda clase de estiércol producido diariamente en el campo 4 o rancho Almaraz, para la producción de gas metano y primordialmente el fertilizante obtenido del proceso de fermentación.

Se han querido aprovechar los conocimientos y la experiencia del Instituto de Investigaciones Eléctricas, para poder diseñar y construir un digestor a nivel industrial y si es posible, más eficiente; que permita la obtención de metano y poderlo utilizar con fines netamente industriales. Ya sea, para combustión directa en cualquier clase de quemador o como un energético en las máquinas térmicas que funcionan con gas natural.

El presente proyecto abarca dos etapas:

La primera, que consiste en el desarrollo teórico que involucra toda la operación del proceso de degradación de los desechos orgánicos (de manera particular se ha concretado al estiércol de vaca). La segunda, que abarca el aspecto práctico (construcción, instalación, operación y pruebas), en la que se podrán hacer cálculos más exactos y optimizar el proceso.

El presente trabajo de tesis, sólo contempla la primera etapa, es decir, todo un panorama teórico y muy general de lo que es el proceso de digestión; además de permitir una introducción superficial al conocimiento de cámaras de digestión y a la aplicación de los energéticos obtenidos a partir del proceso de fermentación del estiércol de vaca.

C O N T E N I D O

	Página
AGRADECIMIENTOS	IV
PROLOGO	VII
CONTENIDO	VIII
INTRODUCCION	1
 Capítulo	
I. PROCESO DE DIGESTION	
1.1 Características de la fermentación ..	7
1.2 Fermentación aeróbica	8
1.3 Fermentación anaeróbica	9
1.4 Proceso biológico de la digestión ...	10
1.5 Fundamentos de la cámara de digestión	14
 II. MATERIALES	
2.1 Materias primas	18
2.2 Subproductos	21
 III. FACTORES QUE CONTROLAN EL PROCESO	
3.1 Potencial hidrógeno	28
3.2 Relación Carbono a Nitrógeno	30
3.3 Temperatura	41
3.4 Tiempo de residencia	51
3.5 Porcentaje de sólidos	51
3.6 Índice de carga	53
3.7 Agitación	54
 IV. EXPERIMENTACION	
4.1 Escala	57
4.2 Antecedentes	57
4.3 Preparación de la mezcla	58
4.4 Procedimiento	60
4.5 Conclusiones	63
 V. GENERALIDADES DE LA CAMARA DE DIGESTION	
5.1 Descripción del digestor	66
5.2 Descripción de equipo y accesorios ..	73

VI. APROVECHAMIENTO DE LOS PRODUCTOS DE LA DIGESTION	
6.1 Antecedentes de utilización	82
6.2 Utilización de biogás	86
6.3 Utilización de sedimentos	94
CONCLUSION	103
BIBLIOGRAFIA	105

INTRODUCCION.

La obtención de energía siempre ha tenido un papel preponderante y fundamental en la vida de la humanidad. De ahí la preocupación por buscar y mantener fuentes de energía.

Durante muchos siglos el hombre utilizó y optimizó fuentes de energía como las siguientes:

- 1) El trabajo humano
- 2) El trabajo animal
- 3) La combustión de la madera
- 4) La energía eólica
- 5) La energía hidráulica

La Revolución industrial provocó un cambio total en las energías utilizadas hasta entonces, debido a la explotación del carbón y posteriormente del petróleo y el gas natural. El vapor fue reemplazado por la electricidad y por los derivados del petróleo como fuentes principales de energía.

Actualmente se presenta la escasez de energéticos derivados del petróleo y se da un vuelco hacia la búsqueda de nuevas fuentes de energía:

- 1) Energía solar
- 2) Energía geotérmica
- 3) Energía nuclear
- 4) Energía almacenada en materia vegetal y desechos orgánicos.

Pues bien, el tema que interesa en particular es la obtención de energéticos a partir de la Biomasa.

Debemos entender por Biomasa, toda la materia vegetal y la energía que se libera cuando es ingerida, quemada o convertida en combustibles, se llama energía de la biomasa. Tanto plantas, árboles,

aceites vegetales, grasas animales, estiércoles, basuras y todo tipo de desecho orgánico y aun los combustibles fósiles, re presentan formas de energía de la biomasa, las cuales pueden ser producidas, cultivadas o convertidas de diversos modos para cubrir necesidades del hombre.

Las fuentes de abastecimiento de la biomasa son:

- a) Materia vegetal
- b) Desechos orgánicos

Es ya conocido que en algunos países se transforma la biomasa en recurso energético: en la Gran Bretaña, la combustión conjunta de basura municipal y carbón de piedra de hulla para generar electricidad; en China y la India, la conversión de la biomasa de los excrementos animales en gas metano para uso doméstico; en Brasil la transformación del azúcar de caña o los almidones de la yuca o huacamote (también llamado cazabe o mandioca) en alcohol etílico anhidro para usarlo como carburante complementario de la gasolina.

Algunas de estas formas transforman la biomasa en combustibles de más fácil manejo, como el alcohol; en otras, como en la digestión anaeróbica de los excrementos, se pretende recuperar el valor fertilizante, y en otras más, como en la combustión de la basura municipal, se pretende eliminar una fuente de contaminación ambiental y secundariamente se recupera el valor energético de la biomasa.

SOBRE LA CONVERSION DE LA BIOMASA.

Los sistemas de conversión de biomasa en energía se clasifican en tres tipos:

- 1) Combustión directa de materiales de biomasa, generalmente para obtener calor de proceso y producción de vapor.
- 2) Conversión en moléculas ricas en carbono, hidrógeno o

ambos y pobres en oxígeno y nitrógeno, elementos que no contribuyen al valor energético.

3) Alimento para animales y uso de los desechos que producen .

Los procesos involucrados en las tres posibilidades se realizan a través de reacciones térmicas o microbiológicas. Las dos primeras involucran altas temperaturas y presiones, productos químicos corrosivos y pueden provocar contaminación. La tercera tiene un efecto moderado sobre el medio ambiente.

La conversión de la biomasa en energía tiene por lo tanto dos caminos fundamentales, el biológico y el químico.

Como ya se dijo, las fuentes de abastecimiento de biomasa son los vegetales y los desechos orgánicos, y los sistemas de conversión pueden apreciarse en la figura 1.

Cuando las materias orgánicas pasan por el proceso de descomposición, dan subproductos útiles. El tipo de subproducto depende de las condiciones en las que se produce la descomposición. La descomposición puede ser aeróbica (con oxígeno) o anaeróbica (sin oxígeno). Dependiendo del tipo de descomposición - que se lleve a cabo serán los productos finales (Ver figura 2)

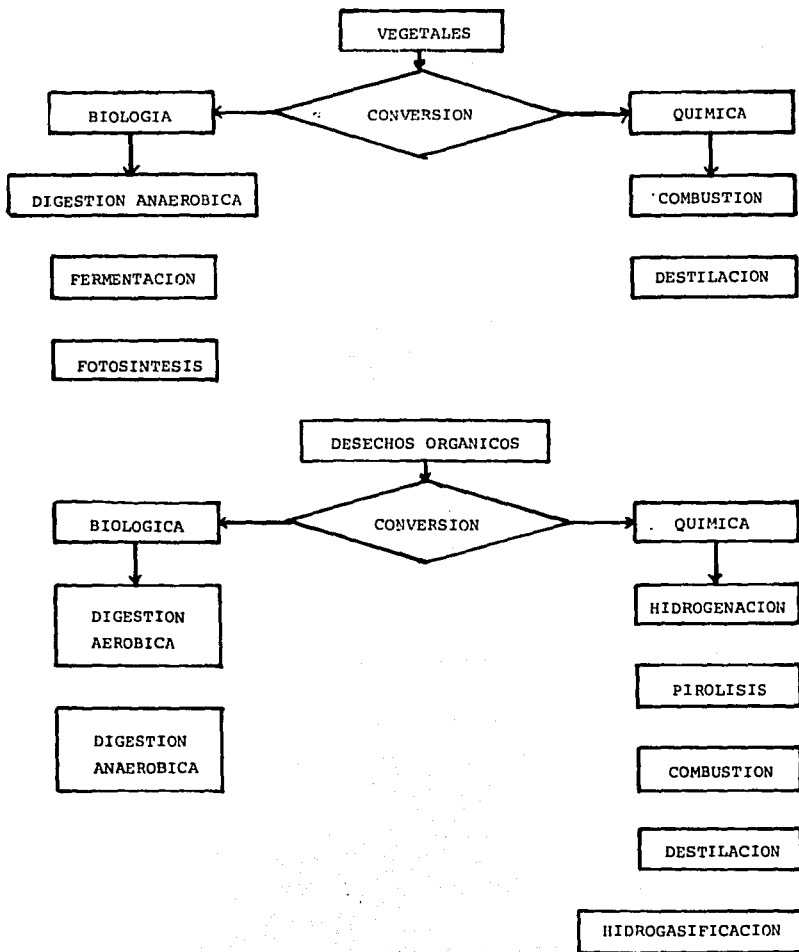


FIG. 1 PROCESO DE CONVERSION DE DESECHOS ORGANICOS Y VEGETALES.

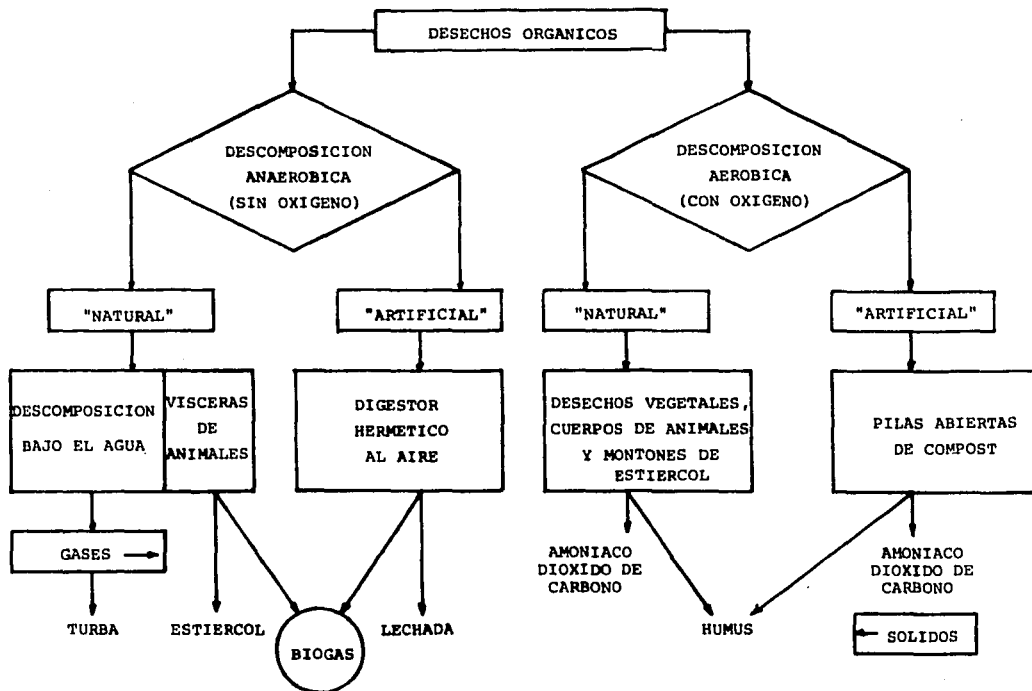


FIG. 2

PRODUCTOS FINALES DE LA DESCOMPOSICION ORGANICA.

C A P I T U L O I

PROCESO DE DIGESTION

1.1 CARACTERISTICAS DE LA FERMENTACION.

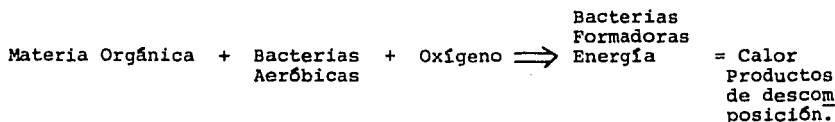
En la vida microbiana se distinguen las siguientes fases o etapas: a) desarrollo, b) asimilación, c) biosíntesis y d) desasimilación. a) Desarrollo. Que se refiere tanto al microindividuo como a todo el grupo de organismos que viven juntos en una colonia o un cultivo, incluye el aumento en el tamaño de la célula y la reproducción de las células por división, por gemación o por formación de cuerpos especiales, como esporas y conidios. b). Asimilación. Es la actividad por la cual son transformados los diversos componentes del sustrato en sustancia de las células, proporcionando así el material necesario para el desarrollo y las actividades de la vida. c) Biosíntesis. Es la formación de compuestos complejos dentro de las células en cantidades mayores que las necesarias para el sostenimiento de las actividades normales de la vida. Los compuestos biosintetizados, que suelen ser sustancias bioquímicamente activas esenciales (enzimas, vitaminas, antibióticos, toxinas, etc.) pueden permanecer dentro de las paredes de la célula, pero con gran frecuencia son eliminados de la célula y pasan al sustrato. La biosíntesis no es en muchos casos específica de una especie, sino específica de una cepa. La asimilación y la biosíntesis conjuntamente se llaman anabolismo y son procesos que consumen energía, la cual es proporcionada por la desasimilación o catabolismo. d) Desasimilación. Los compuestos del sustrato que el organismo puede utilizar como fuentes de energía, o los compuestos que están dentro de la célula como el glucógeno y el trifosfato de adenosina, que el organismo prepara para que le sirvan de reserva de energía, son transformados en nuevos productos que tienen menos energía que el compuesto con el cual se forman, de modo que se pone en libertad energía. La desasimilación se produce dentro de la célula, y los productos son expulsados al medio que los rodea. Son ejemplos los carbohidratos, los glicósidos, los alcoholes monobásicos y polibásicos, los hidroxiacidos y cetoácidos, los hidrocarburos, los aminoácidos y las aminas; algunas sales de hierro, manganeso y arsénico; el carbono elemental, el azufre, etc.

Para el caso muy particular del presente estudio, el sistema de conversión de la biomasa (vegetales y desechos orgánicos) en -- energético se hace por medio de la fermentación, la cual puede ser aeróbica o anaeróbica.

1.2 FERMENTACION AEROBICA

La fermentación de materia orgánica por acción biológica ha ocurrido desde que la vida apareció en nuestro planeta; cuando la descomposición ocurre en presencia de oxígeno es llamada aeróbica.

Este proceso es comunmente llamado composteo. Básicamente - convierte substancias orgánicas en inorgánicas, al mismo tiempo que se desprende calor. de modo simplificado podemos representar el pro- ceso:



Este es un proceso muy generalizado en el tratamiento de -- aguas negras y en la elaboración de fertilizantes orgánicos. Tiene el inconveniente de ser un gran foco de proliferación de moscas por- tadoras de enfermedades y por otra parte requiere grandes extensio- nes de terreno para llevarse a cabo, así como la contaminación am- biental producida por el desprendimiento de gases del tipo mercap- tano.

En términos generales, haciendo un balance de energía, ferti- lizantes y control de contaminación, el proceso anaeróbico ofrece muchas ventajas sobre el aeróbico y de ahí el interés de hacer el presente estudio acerca del proceso que se presenta en la fermentación anaeróbica.

1.3 FERMENTACION ANAEROBICA

Dentro de los procesos de descomposición de desechos que se suceden en la naturaleza, uno de los más antiguos es la descomposición anaeróbica. La materia orgánica cubierta por un charco de agua caliente se volverá primeramente ácido y olerá a rancio; luego, lentamente (en unos seis meses) se hará alcalino. Las bacterias de metano, siempre presentes, intervendrán en el proceso y se elevarán a la superficie burbujas de gas

La digestión anaeróbica es un proceso de dos etapas:

- a) Licuación
- b) Gasificación

En la conversión de materia orgánica a metano y bióxido de carbono, participan por lo menos dos grandes poblaciones de bacterias fisiológicamente distintas. En la primera etapa, un grupo heterogéneo de microorganismos convierten carbohidratos, proteínas y grasas, en ácidos grasos (acético, propiónico y butírico) por hidrólisis y fermentación. Las proporciones dependerán de la composición de los desechos utilizados.

En la segunda etapa, los productos finales del metabolismo de los microorganismos que actúan en la primera, son convertidos a metano y bióxido de carbono, principalmente, por un grupo de bacterias anaeróbicas estrictas llamadas metanogénicas.

Las bacterias formadoras de metano están constituidas por diversos tipos de familias, cada uno de las cuales tiene la capacidad de fermentar únicamente un compuesto.

Los factores que gobiernan el proceso son:

- composición de nutrientes de la materia orgánica utilizada
- relación carbono/nitrógeno en la materia prima
- temperatura

- ph
- porcentaje de sólidos
- alcalinidad
- concentración de ácidos volátiles, etc.

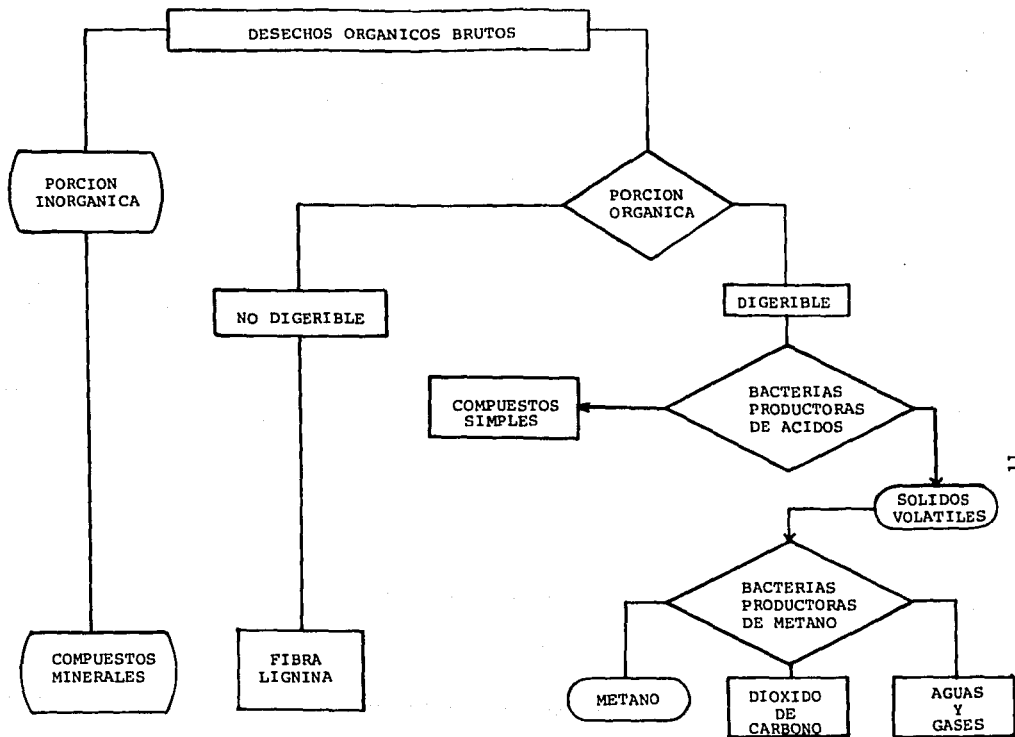
1.4 PROCESO BIOLÓGICO DE LA DIGESTION

Debemos entender perfectamente que la digestión en un proceso biológico. Las bacterias "anaeróbicas" responsables de la digestión no pueden sobrevivir ni siquiera con la menor traza de oxígeno en la mezcla de estiércol que se alimenta al digestor¹; por ello, después de la carga, pasa un largo período antes de que se produzca la digestión. Durante ese período aeróbico inicial, las bacterias que requieren del oxígeno utilizan las trazas de oxígeno liberan así grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂)

Cuando desaparece el oxígeno, se puede iniciar el proceso de la digestión. Este proceso implica una serie de reacciones por parte de varios tipos de bacterias anaeróbicas que se alimentan con la materia orgánica bruta. Conforme se vuelven activos diferentes tipos de esas bacterias, los subproductos del primer tipo de bacterias proporcionan los alimentos para las otras. Este proceso se representa en la fig. 3)

En las primeras etapas de la digestión, bacterias productoras de ácidos descomponen en compuestos simples el material orgánico que es digerible (grasa, proteínas y la mayor parte de los almidones).

¹ Recipiente hermético al aire, donde las bacterias anaeróbicas comienzan a digerir desechos orgánicos.



11

FIG. 3 PROCESO BIOLOGICO DE LA DIGESTION.

Las bacterias ácidas son capaces de reproducirse con rapidez y no son muy sensibles a los cambios en el ambiente. Su papel consiste en excretar enzimas, licuar las materias primas y convertir los materiales complejos en sustancias más simples, especialmente ácidos volátiles, que son ácidos orgánicos de bajo peso molecular. El ácido volátil más importante es el acético (el vinagre de mesa es ácido acético diluido), un subproducto muy común de la digestión de grasas, almidones y proteínas. Aproximadamente el setenta por ciento del metano producido durante la fermentación procede del ácido acético.^{2,3}

Una vez licuadas las materias primas por las bacterias productoras de ácidos, las bacterias productoras de metano convierten los ácidos volátiles en gas metano. A diferencia de las bacterias de ácidos, las del metano se reproducen con lentitud y son sensibles a los cambios en las condiciones de su ambiente.

Así pues, biológicamente, la buena digestión depende del alcance y el mantenimiento (para digestores de carga continua) de un equilibrio entre las bacterias que producen ácidos orgánicos y las que producen gas metano a partir de los ácidos orgánicos. Este equilibrio se logra mediante una alimentación regular con suficientes líquidos y con el pH adecuado, la temperatura apropiada y la calidad de las materias primas introducidas al digestor (todos los parámetros anteriores se verán más adelante).

Podemos resumir el proceso de fermentación anaeróbica de desechos orgánicos en la figura 4.

² J. Jeris y P. McCarty, "The Biochemistry of Methane Fermentation Using C Traces". Journal of the Water Pollution Control Federation 37 (1965) p.p. 178-192.

³ H. Barker, Bacterial Fermentation (Nueva York, John Wiley & Sons, 1956)

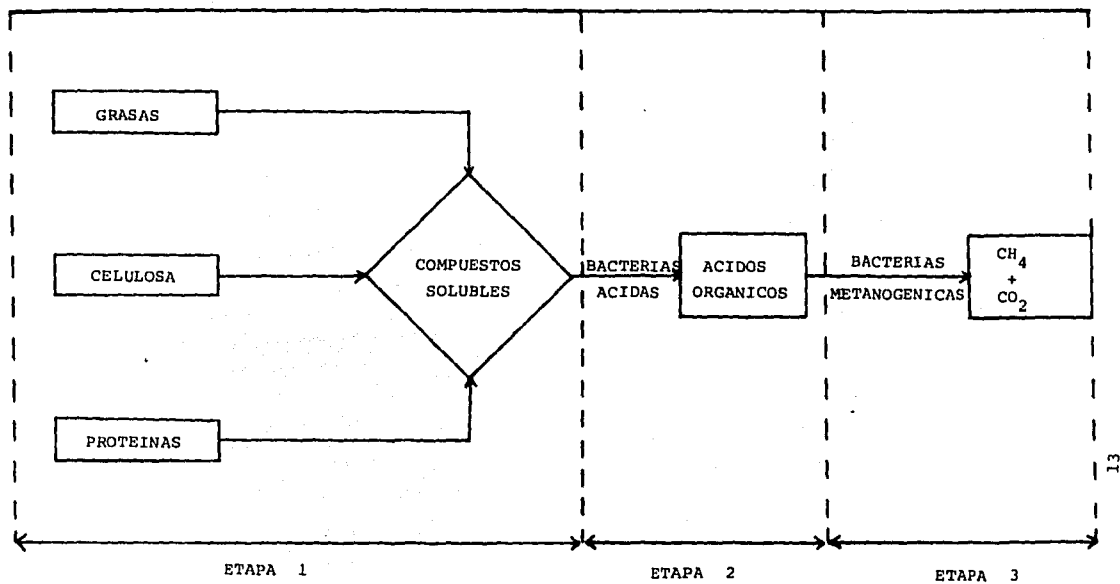


FIG. 4 ETAPAS DEL PROCESO DE FERMENTACION

1.5 FUNDAMENTOS DE LA CAMARA DE DIGESTION

Una vez explicado el proceso biológico anaeróbico natural se debe saber que es posible reproducir y apresurar este proceso, introduciendo desechos orgánicos (estiércol y materias vegetales) en recipientes aislados y herméticos al aire, que se conocen como digestores o camaras de digestión. Los cuales pueden ser de dos tipos: a).- Digestores cargados por lotes, que se cargan o llenan completamente de una sola vez, son sellados y vaciados cuando las materias primas hayan dejado de producir gas; y b).- Digestores de alimentación continua, que se cargan regularmente, con pequeñas cantidades, de modo que se produce continuamente gas y fertilizante.

El digestor se alimenta con una mezcla de agua y desechos. que se denomina lechada. En el interior del digestor, la carga diría de lechada fresca fluye por extremo y desplaza a la carga del dia anterior, que las bacterias y otros microbios han comenzado ya a digerir. Cada carga progresa a lo largo del digestor hasta un punto en el que las bacterias del metano se encuentran activas. En este punto, grandes burbujas se abren paso hasta la superficie, donde se acumula el gas, el cual es muy similar al natural.

La digestión se va reduciendo gradualmente hacia el extremo de salida del digestor; los residuos comienzan a estratificarse en capas distintas como se demuestra en la figura 5.

Sedimento. Los sólidos apagados del estiércol original, reducidos aproximadamente cuarenta por ciento del volumen que ocupaban en estado bruto. Los sedimentos líquidos o sólidos son un buen fertilizante para cultivos de plantas y estanques.

Sobrenadantes. Los líquidos apagados de la lechada original. Obsérvese que el valor fertilizante del líquido es tan grande como el de los sedimentos, puesto que permanecen los sólidos disueltos.



FIG. 5

CAPAS DE SUBPRODUCTOS EN EL DIGESTOR

Espuma. Una mezcla de material fibroso grueso, liberado del estiércol bruto, gas y líquido. La acumulación y el retiro de la espuma es uno de los principales problemas de los digestores. En cantidades moderadas, la espuma puede actuar como aislante; pero, en grandes cantidades, puede hacer que el funcionamiento del digestor sea nulo.

Con respecto a los subproductos podemos decir, que cuando la mezcla está digerida, es posible agregar pequeñas cantidades de materiales brutos, periódicamente, y mantener un suministro constante de gas y sedimentos (digestores de carga continua). Si no se alimenta regularmente un digestor (digestores de carga en lotes), comienzan a acumularse enzimas, se agotan los sólidos orgánicos y cesa la producción de metano.

C A P I T U L O I I

M A T E R I A L E S

2.1 MATERIAS PRIMAS

La cantidad y las características de los materiales orgánicos (desechos tanto vegetales como animales) disponibles en un establo para su digestión, varían ampliamente. El material digerible dependerá del clima, del tipo de alimentación al ganado, del tipo de agricultura practicada, de los animales utilizados, de su grado de confinamiento, del método de recolección de los desechos, etcétera. Por lo anterior, que resulta difícil determinar un método general que especifique la cantidad y la calidad de los desechos orgánicos; éste dependerá de cada caso en particular que se trate.

Cuando se digieren materiales primas en un recipiente, sólo parte de los desechos se convierten realmente en metano y sedimentos. Parte de ello es indigerible en grados variables, se acumula en el digestor o sale con el afluente o la espuma. La "digeribilidad" y otras propiedades básicas de la materia orgánica se expresan casi siempre como sigue⁴:

-Humedad: El peso del agua perdida al secarse el material a 104°C (220°F), hasta que ya no se pierde peso.

- Total de sólidos: El peso de materia seca que queda después del secado como se indicó antes. El peso total de sólidos suele ser equivalente al "peso en seco" (sin embargo, si se secan los materiales al sol, suponga que contendrán, todavía - cerca de treinta por ciento de humedad). El total de sólidos - incluye componentes digeribles o "sólidos volátiles" y residuos no digeribles o "sólidos fijos".

- Sólidos volátiles: El peso de los sólidos orgánicos que

4 American Public Health Association, Standard Methods for the Examination of water and wastewater, 11a. ed. (Nueva York, 1960)

mados cuando el material seco "se enciende" (se calienta a unos 538°C - 1000°F-). Vale la pena conocer esta característica de la materia orgánica, puesto que los sólidos volátiles se pueden considerar como la cantidad de sólidos que transforman realmente las bacterias.

-Sólidos Fijos: Peso que queda después del "encendido". Se trata de material biológicamente inerte.

Se puede hacer un análisis de la composición porcentual media del estiércol fresco (sólido + líquido) de la vaca⁵

TABLA I
COMPOSICION PORCENTUAL MEDIA DEL ESTIERCOL FRESCO
(SOLIDO + LIQUIDO)

Componentes	Porcentajes (%)
H ₂ O	0.80
N	0.55
P ₂ O ₅	0.23
K ₂ O	0.60
CaO	0.80
Mg O	0.20
SO ₃	0.10

La cantidad de estiércol que produce cada vaca depende de varios factores como son la edad, raza o variedad, estado de salud y tipo de alimento que el animal recibe. A la cantidad producida de estiércol debe agregársele la de la cama, ésta lleva gran parte del volumen líquido

Aquí resulta pertinente hacer una comparación de los porcentajes de nitrógeno, fósforo y potasio, antes y después de digeri

5 H. Teusher, El Suelo y Su Fertilidad p.314

do el estiércol:

TABLA II

COMPARACION DE PORCENTAJES DE NITROGENO, FOSFORO Y POTASIO EN EL ESTIERCOL.

	ESTIERCOL DIGERIDO (%)	ESTIERCOL SIN DIGERIR (%)
NITROGENO (N)	1.6 - 1.8	0.55
FOSFORO (P_2O_5)	1.1 - 2	0.25
POTASIO (K_2O)	0.8 - 1.2	0.5

También se toma como materia prima a la cama. Esta es el producto que se pone en los lugares donde la vaca se echa o descansa; generalmente se usan materiales de poco valor o desecho, los más empleados para esto son la paja, el aserrín y las virutas de madera, y las cáscaras de cacahuete. Pueden ser utilizadas para el mismo objeto otras substancias similares, cuando se disponga de ellas en la localidad.

El tipo de cama usada determina en gran medida el valor fertilizante del estiércol, aunque por razones económicas cada agricultor tendrá que usar el material que más fácilmente consiga y que sea a la vez el más barato. La paja, tan frecuentemente empleada, es uno de los materiales menos recomendables en lo que concierne a la calidad de estiércol resultante; el aserrín es preferible y la turba ácida⁶ (esfagno) es mucho mejor que ninguno. La calidad de los materiales destinados a cama se juzga por su capacidad para absorber el estiércol líquido, propiedad en la que se destaca de manera notable la turba de esfagno; además, el ácido húmico libre que existe en la turba ácida, al unirse químicamente con los ácidos muy volátiles, desprende amoníaco que mejora notablemente la calidad del estiércol resultante. La relativa esterilidad de la turba ácida debe considerarse

6 Combustible de color pardo oscuro y estructura esponjoso fibrosa, que arde con facilidad desprendiendo olor a hierba seca; se forma por la descomposición de musgos y otras plantas que perecen por falta de oxígeno y se van depositando en el fondo de los pantanos; equivale a la primera etapa de la formación del carbón.

como ganancia adicional, especialmente en el caso de las vacas lecheras estabuladas, donde las bacterias de la paja son del tipo indeseables⁷.

En resumen, la materia prima que se introduce en el digestor, es una mezcla compuesta por los desechos de estiércol, alimento, cama y agua.

2.2 SUBPRODUCTOS

Biogás.

El gas que se produce debido al proceso de digestión, se conoce como gas de agua negra, gas de los pantanos o biogás, tiene cerca del sesenta por ciento de metano (CH_4) y veintinueve por ciento de dióxido de carbono (CO_2) con trazas insignificantes de oxígeno e hidrógeno sulfurado (H_2S) que le dan al gas un olor característico (aunque huele como huevos podridos, ese olor tiene la ventaja de permitir encontrar las fugas con facilidad).

El gas obtenido directamente del digestor es una mezcla de gases que contiene⁸:

TABLE III
COMPONENTES DEL BIOGAS

Metano (CH_4)	50 - 60%
Dióxido de Carbono (CO_2)	30 - 40%
Hidrógeno (H_2)	5 - 10%
Nitrógeno (N_2)	4 - 6%
Monóxido de Carbono (CO)	0.1%
Oxígeno (O_2)	0.1%
Acido Sulfhídrico	0.1%

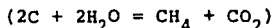
La reacción básica de producción de gas en el digestor es la siguiente:

7 H. TEUSHER, El Suelo y su Fertilidad, p.313

8 Datos obtenidos del Boletín IIE (Instituto de Investigaciones Eléctricas de Junio de 1978.

Artículo: La Biomasa como energético por Gustavo Viniegra y Alfonso Félix y de estudios del The New Alchemy Institute West.

Carbono más agua igual a metano más bióxido de carbono



El metano tiene una gravedad específica de 0.55 con relación al aire. Es decir, el metano pesa aproximadamente la mitad del aire, por lo que se eleva cuando se libera a la atmósfera. El bióxido de carbono pesa más de dos veces que el aire, de modo que la combinación resultante de gases, o bien, simplemente, el biogás, cuando se libera a la atmósfera, se elevará lentamente y se disipará.

El valor de combustible del biogás es directamente proporcional a la cantidad de metano que contiene (cuanto más metano, más combustible es el biogás). Esto se debe a que los gases distintos al metano, son no combustibles o se encuentran presentes en cantidades tan pequeñas que resultan insignificantes.

Por regla general, el gas metano puro tiene un valor térmico de aproximadamente 1000 unidades térmicas británicas (Btu) - por pie cúbico. Donde un Btu es la cantidad de calor necesaria para elevar 1°F una libra de agua (454 gramos). Cinco pies cúbicos, o sean, 5000 Btu de gas, son suficientes para hacer hervir 2 litros de agua y mantenerlos en ebullición durante 20 minutos. Si se tiene un volumen de biogás con sesenta por ciento de metano, tendrá un valor de combustible de unos 600 Btu/pie³, etc.

El valor de combustible del biogás es de 540 - 700 Btu/pie cúbico.

La composición y el valor del combustible del biogás proveniente de la fermentación del estiércol de vaca depende por lo general de:

- a) La temperatura a la que se produce la digestión
- b) La naturaleza de las materias primas. Según Harold Bates ha señalado que se produce más gas cuando se añade un poco de paja al estiércol.

La calidad general del biogás se puede estimar a partir de la razón C/N de las materias primas utilizadas (Ver lo referente a la relación C/N aquí desarrollada).

Podemos considerar como valores mínimos expresados en pies cúbicos de gas producidos por sólidos volátiles de estiércol de vaca y combinado con hierbas, los siguientes.

TABLA IV
PIES CUBICOS DE GAS PRODUCIDOS POR
SOLIDOS VOLATILES DE DESECHOS COMBINADOS⁹

MATERIAL	PROPORCION	PIES CUBICOS POR LIBRA VS AGREGADOS	CONTENIDO DE CH ₄ DEL BIOGAS	PIES CUBICOS DE CH ₄ POR LIBRA DE VS AGREGADA
Estiércol de vaca	100%	1.4	65.2	0.9
Estiércol de vaca y hierbas	50%	4.3	51.1	2.2

Las propiedades que tiene el metano son:

Gravedad específica (aire = 1.0)	0.55
Peso en seco, Kg/M ³	0.64 (gas)
Peso líquido, Kg/lt.	0.42 (líquido)
Valor de combustible, Btu/ft ³	950 - 1050
Aire para la combustión, ft ³ /ft ³	9.5
Inflamabilidad en el aire, porcentaje de metano	5 - 14

Sedimento.

La mayoría de los sólidos no convertidos en metano se asientan en el digestor como lechada líquida. Son sólidos - apagados del estiércol original, reducidos a aproximadamente cuarenta por ciento del volumen que ocupaban en estado bruto. Aunque varían con las materias primas utilizadas y las condiciones del digestor, estos sedimentos contienen muchos elementos esenciales para la vida vegetal: nitrógeno, fósforo, pota

⁹ KLEIN, Anaerobic Digestion. Compost Science Febrero de 1972.

sio, más pequeñas cantidades de sales metálicas (elementos de traza) indispensables para el crecimiento de las plantas tales como boro, calcio, cobre, hierro, magnesio, azufre, cinc, etcétera.

Los lodos digeridos, subproducto del proceso, se caracterizan por su contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, que los hacen un buen fertilizante.¹⁰

TABLA V

CONTENIDO DE NITROGENO, FOSFORO Y POTASIO EN LODOS DIGERIDOS

Nitrógeno (N_2)	1.6 - 1.8 %
Fósforo (P_2O_5)	1.1 - 2 %
Potasio (K_2O)	0.8 - 1.2 %

Los valores anteriores son en base seca.

El nitrógeno se considera como especialmente importante, debido a su papel vital en el crecimiento y la nutrición de las plantas. Los sedimentos digeridos contienen nitrógeno principalmente en la forma de amonio (NH_4) mientras que el nitrógeno de los desechos orgánicos aeróbicos (abono compost, sedimentos activados) se encuentra principalmente en formas oxidadas (nitratos, nitritos).

Sobrenadantes

Los líquidos apagados de la lechada original son subproductos que tienen casi exactamente las mismas características que los sólidos apagados del estiércol. El valor fertilizante del líquido es tan grande como el de los sedimentos, ya que contiene nitrógeno, fósforo y potasio.

10 Datos obtenidos del Boletín IIE (Instituto de Investigaciones Eléctricas) de Junio de 1978.

Artículo: La Biomasa como Energético por Gustavo Viniegra y Alfonso Félix

El proceso de obtención y utilización de los subproductos a partir del digestor, se puede resumir en el diagrama de bloques de la figura 6

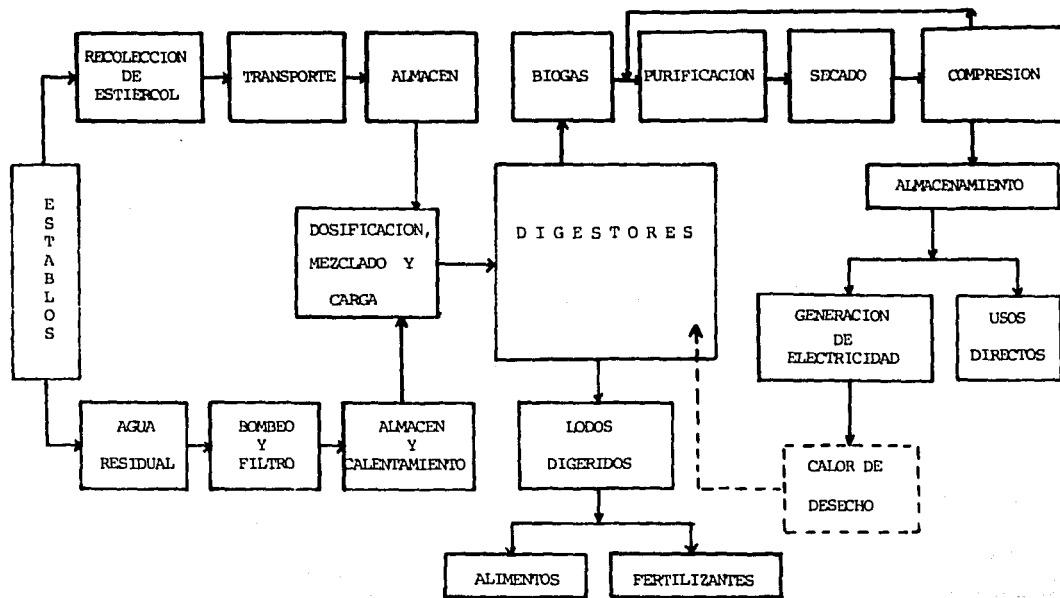


FIG. 6 DIAGRAMA DE OBTENCION Y UTILIZACION DE SUBPRODUCTOS¹¹

¹¹ Boletín del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE). Artículo: La Biomasa como Energético, por Gustavo Viniegra y Alfonso Félix. Junio 1978.

C A P I T U L O I I I

F A C T O R E S Q U E C O N T R O L A N E L P R O C E S O

3.1 POTENCIAL HIDROGENO

Siempre que se quiere medir las condiciones ácidas o alcalinas de un material, se utiliza el símbolo pH. Una solución neutra tiene $\text{pH} = 7$; una solución ácida tiene un pH menor que 7 y -- una solución alcalina, un pH mayor que 7, El pH tiene efectos determinantes sobre la actividad biológica del proceso; el mantener un pH estable es esencial para toda la vida. La mayor parte de los procesos vivos tienen lugar entre pH 5 y 9. En cuanto a los digestores, las exigencias que se refieren al pH son más estrictas ($\text{pH} = 7.5 - 8.5$), como se aprecia en la figura 7.

Durante la fase ácida inicial de la digestión, que puede durar unas dos semanas, el pH puede bajar a 6 o menos, mientras se cede una gran cantidad de CO_2 . A esto siguen unos tres meses de disminución lenta de la acidez; durante este tiempo se digieren -- los ácidos volátiles y los compuestos nitrogenados, formándose compuestos de amoniaco (este amoniaco se hace importante, cuando se toma en consideración el valor fertilizante de los sedimentos).

Conforme continua el proceso de digestión, se produce menos CO_2 y más metano y el pH se eleva lentamente hasta aproximadamente 7. En la medida que la mezcla se va haciendo menos ácida, se produce la fermentación del metano. Entonces, el pH se eleva por encima del punto neutral ($\text{pH} = 7$), hasta entre 7.5 y 8.5. Después de este punto, aunque se agueguen grandes cantidades de ácido o álcali, la mezcla se ajusta, para estabilizarse a un pH de 7.5 a 8.5.

Concretamente, en digestores que operan con estiércol de bovino, se han obtenido niveles de pH en el intervalo de 6.7 a 7.5. El pH se mantiene en este rango si el digestor está operando correctamente. Si se pierde el equilibrio en un digestor y éste se torna demasiado ácido, esto inhibe a las bacterias formadoras de metano, dando como resultado un incremento en la proporción de bióxido de carbono en el gas.¹²

¹² Taiganides E.P., Baumann, E.R., Johnson, H.P. and Hazen, T.E. Anaerobic Digestion of Hog Wastes. J. Agric. Eng. Res. 8 p.p. 327-333 (1963)

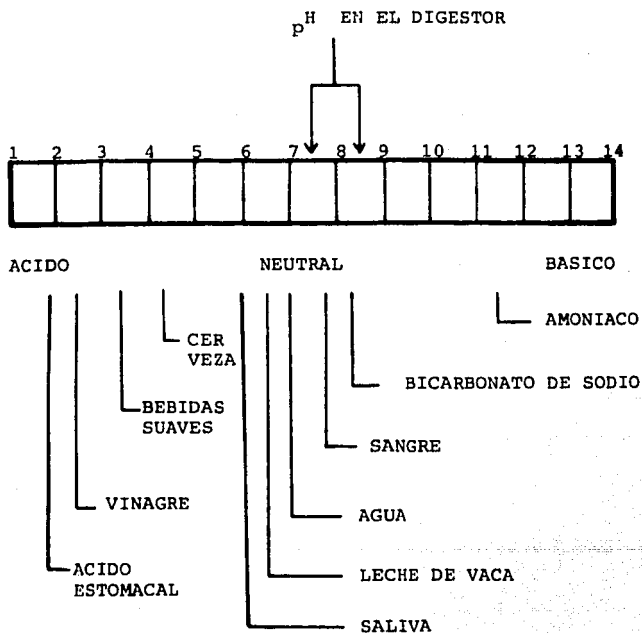


FIG. 7 ESCALA POTENCIAL HIDROGENO (pH)

Después de que la digestión se ha estabilizado, el pH debe permanecer de 8.0 a 8.5. Los valores ideales de pH del afluente en las plantas de tratamiento de aguas negras es de 7 a 7.5 y esos valores se dan habitualmente como la mejor gama de pH para los digestores en general (coincide con el intervalo de pH para digestores que operan con estiercol de vaca 6.7 a 7.5). Según The New Alchemy Institute West recomienda una mezcla ligeramente más alcalina para los digestores que utilizan desechos animales o vegetales brutos.

El pH se puede medir y registrar diariamente en la carga, en el material digerido y en la masa interna del digestor, empleando un papel tornasol, de pH o indicador. Se introduce el papel pH en el afluente, tal como se encuentre. El papel tornasol se vuelve rojo en las soluciones ácidas (pH = 1 a 7) y azul en las soluciones alcalinas (pH = 7 a 14). Se pueden obtener mediciones más exactas utilizando papel pH, que cambia de color dentro de una gama estrecha de valor del pH.

Los únicos dos problemas que se encuentran referentes al pH son: a).- Que sea demasiado ácida la solución (pH = 6 ó menos). Esto se puede deber a la adición de materias primas con demasiada rapidez, a grandes fluctuaciones de temperatura, a sustancias tóxicas o a la acumulación de espuma; la solución es reducir la rapidez de alimentación, agregar afluentes frescos al extremo de entrada, agregar amoníaco, estabilizar la temperatura o retirar la espuma. b).- Que sea demasiado alcalina la solución (pH = 9 ó más). Esto se debe a que las materias primas iniciales fueron demasiado alcalinas; se producirá una gran cantidad de CO₂ que hará que la mezcla se vuelva más ácida, de modo que se corregirá por sí misma. No debe agregarse ácido, ya que incrementaría la producción de sulfuro de hidrógeno.

3.2 RELACION CARBONO A NITROGENO. (C/N)

Se puede considerar desde un punto de vista biológico, que el digestor o cámara de digestión es un cultivo de bacterias que se -

alimentan de desechos orgánicos y los transforman. Los alimentos principales de las bacterias anaeróbicas son el carbono (en forma de carbohidratos) y el nitrógeno (en proteínas, nitratos, amoníaco, etc. etc.). El carbono se utiliza para obtener energía y el nitrógeno para la construcción de estructuras celulares. Esas bacterias utilizan carbono con una rapidez unas treinta veces mayor que su uso de nitrógeno.

La digestión anaeróbica se lleva a cabo mejor cuando las materias primas suministradas a las bacterias contienen ciertas cantidades de carbono y nitrógeno, al mismo tiempo. La razón de carbono a nitrógeno (C/N) representa la proporción de los dos elementos.

Cuando un material contiene 20 veces más carbono que nitrógeno tendrá una razón C/N de 20 a 1 (lo que se escribe como C/N = 20/1, o bien, simplemente, 20).

La composición del desecho que se utilice en el digestor es el primer factor que se toma en cuenta. La experiencia ha demostrado que la relación C/N óptima es de 30/1.

Carbono. A diferencia del nitrógeno, el carbono existe en muchas formas no directamente utilizables para las bacterias. La forma de carbono no digerible más común es la lignina, un compuesto vegetal complejo que hace que las plantas terrestres sean rígidas y resistentes a la descomposición. La lignina puede entrar a un digestor ya sea directamente, con los desechos de plantas, o bien, indirectamente, como material de camas o residuos vegetales no digeridos, en el estiércol. Por lo tanto, es posible obtener medidas más exactas de la parte carbono (c) de la razón C/N, cuando se toma en cuenta el contenido de carbono no de lignina que hay en los desechos vegetales.

Nitrógeno. Puesto que el nitrógeno existe en la naturaleza en muchas formas químicas (amoníaco, NH_3 ; proteínas, NO_3 , etc.), no hay pruebas que de inmediato nos midan la cantidad total de nitrógeno de un material determinado. Se usarían distintas pruebas, una puede medir el nitrógeno orgánico y del amoníaco (la prueba de Kjeldahl); otra puede medir el nitrógeno en nitratos y nitritos, etc. Asimismo, el nitrógeno se puede medir en función de peso húmedo, peso en seco o contenido de sólidos volátiles del material; todo lo cual dará valores diferentes para la proporción de nitrógeno. Finalmente, el contenido de nitrógeno de un tipo específico de estiércol o desecho vegetal puede variar, dependiendo de las condiciones de crecimiento, la edad, la dieta, etc. etc. El contenido de nitrógeno del estiércol varía también mucho. En general, el estiércol consiste en heces, orina y material de camas (paja, cañas de maíz, heno, etc. etc.) que puede utilizarse en los cobertizos del ganado. Puesto que la orina es el modo que tienen los animales para liberarse del exceso de nitrógeno, el contenido de nitrógeno del estiércol se ve muy afectado por la cantidad de orina que se recoge junto con los excrementos sólidos. El ganado bovino y otros ruminantes que dependen de bacterias en sus estómagos para digerir los alimentos vegetales, tienen estiércol (con bajo contenido de nitrógeno, porque la mayor parte de ese elemento sirve para alimentar a las bacterias de sus estómagos e intestinos. Puesto que hay tantas variables y puesto que las bacterias anaeróbicas pueden utilizar la mayoría de las formas de nitrógeno, el contenido de nitrógeno disponible de los materiales orgánicos puede generalizarse y presentarse como nitrógeno total (porcentaje de peso en seco).

El carbono y el nitrógeno deberán estar presentes en la dieta bacteriana en proporción adecuada; la más adecuada es de 30 veces más carbono que nitrógeno, lo que permitirá que la digestión se lleve a cabo a un ritmo óptimo, a condición que las otras condiciones sean favorables. Si hay muy poco nitrógeno, la bacteria no será capaz de usar todo el carbono presente y el proceso será ineficiente; si hay demasiado nitrógeno (baja razón; por ejemplo, 30/15,

o sea, 2), el carbono se agota con rapidez y la fermentación cesa; el nitrógeno restante se perderá como gas de amoníaco (NH_3); esta pérdida de nitrógeno reduce la fertilidad de los restos de afluentes. Por otra parte, si hay demasiado carbono (razón C/N alta; por ejemplo, 60/1) en los desechos brutos, se utilizará antes el nitrógeno, quedando carbono de sobra; ésto hará que disminuya el ritmo del digestor.

La producción de gas puede variar dependiendo de la relación C/N que exista en el digestor. Podemos apreciar los cambios en la figura 8.

Un ejemplo del cálculo de la razón C/N se hace a continuación:

Se desea saber la relación C/N de 500 Kg. de estiércol de vaca más 500 kg. de paja de trigo seca. Primeramente se tiene que recurrir a la tabla VI que aproxima valores de nitrógeno y carbono de los desechos orgánicos.

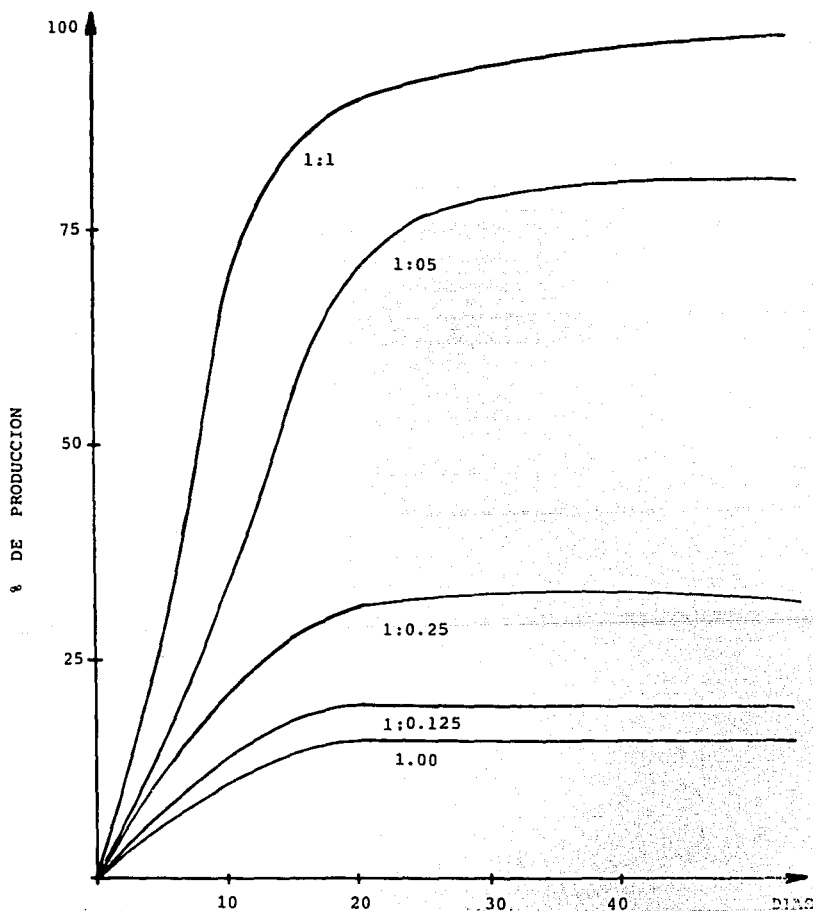


Fig. 8 Producción de Gas en Función de la Relación C/N¹³

13. Anaya, Roberto Morelos. Manual de Procedimientos para el Cálculo, Diseño y Operación de Digestores de Desechos Orgánicos a partir del Estiércol de Porcino. Instituto de Investigaciones Metalúrgicas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

TABLA VI

RELACION C/N DE DESECHOS ORGANICOS ¹⁴

	% N (base seca)	REL. C/N
Desechos Animales		0.8
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	0.8	36
Heno de alfalfa	2.8	17
Paja de avena	1.1	48
Paja de trigo	0.5	150
Rastrojo de maíz	0.49	53
Rastrojo de sorgo	0.5	53
Paja de arroz	0.3	53
Aserrín	0.1	200-500

¹⁴ Composting, Sanitary Disposal and Reclamation of Organic waste. Harold B. Gotaas. World Health Organization Genova 1956

Con los valores de la tabla VI se procede al cálculo:

Estiercol de vaca, C/N = 25

Paja de trigo seca, C/N = 150

Nitrógeno en 500 Kgs. de estiércol de vaca = $1.7\% \times 500 = 8.5$ Kgs.

Carbono en 500 Kgs. de estiércol de vaca = 25 veces más que nitrógeno = $25 \times 8.5 = 212.5$ Kg.

Nitrógeno en 500 kgs. de paja de trigo = $0.5\% \times 500 = 2.5$ kgs.

Carbono en 500 kgs. de paja de trigo = 150 veces más que nitrógeno = $150 \times 2.5 = 375$ kgs.

	Estiércol	Paja	Total
Carbono	212.5	375	587.5 Kgs.
Nitrógeno	8.5	2.5	11 Kgs.

$$\text{RAZON C/N} = 587.5/11 = 53$$

Como se puede apreciar la razón es un poco elevada, pero aún así ésta sería satisfactoria para la mayoría de las finalidades de digestión.

Si la mezcla hubiera sido baja, habría la necesidad de agregar una proporción mayor de paja de trigo, porque ésta contiene una cantidad mayor de carbono por peso que el estiércol de vaca. Si por el contrario, la mezcla hubiera sido alta, sería necesario agregar una proporción mayor de estiércol de vaca, ya que éste contiene una cantidad menor de carbono por peso que la paja de trigo.

Cabe en esta parte hacer mención de un método que puede ajustar la relación carbono/nitrógeno, de la siguiente forma:¹⁵

¹⁵ Mandujano, Alvarez Ma. Isabel. Evaluación de Mezclas de Estiércol de Bovino y Esquilmos Vegetales para obtención de Biogas por Fermentación Anaeróbica. Boletín IIE/FE-A2/12. Instituto de Investigaciones Eléctricas. Junio 1979.

Variables:

- Rx = Relación carbono/nitrógeno de un material x
 Cx = Cantidad de carbono de un material x
 Nx = Cantidad de nitrógeno de un material x
 Nt = Nitrógeno total de la mezcla
 Ct = Carbono total de la mezcla
 Dx = Peso seco de un material x
 Mx = Porcentaje de humedad del material x
 CNx = Porcentaje de nitrógeno en peso seco del material x
 Ox = Peso del material x

Relaciones:

$$Rx = \frac{Cx}{Nx}$$

$$Nt = \sum_{i=1}^n N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n$$

$$Ct = \sum_{i=1}^n C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

$$Dx = Ox - (Ox) (Mx)$$

$$Dx = Ox (1 - Mx)$$

$$Nx = (Dx) (CNx)$$

$$Cx = Rx CNx Ox (1 - Mx) \text{ despejando } Ox \text{ se tiene:}$$

$$Ox = \frac{Cx}{(Rx) (CNx) (1 - Mx)}$$

$$Ox = \frac{Cx}{\left(\frac{Cx}{Nx}\right) (CNx) (1 - Mx)} = \frac{Nx}{CN x (1 - Mx)}$$

Ahora bien, como ejemplo típico de ajuste de la relación carbono/nitrógeno se tiene que:

Se agrega materia prima a un digestor consistente en: estiércol de vaca y rastrojo de maíz. Considerando un volumen de mezcla que se carga a la cámara de digestión diariamente de 1219.5 litros con una densidad promedio de 1.025 g/cm^3 , lo que equivale a 1250 kg. de mezcla que se alimenta cada día al digestor y tomando un 8% de sólidos totales,¹⁶ se tendrá:

MATERIAL	KG FRESCOS	17	18	19		20	
		HUMEDAD %/100	KG SECOS	% N/100	KG N ₂	REL C/N	KG C
ESTIERCOL DE VACA	x	0.8	0.2x	0.017	$3.4 \times 10^{-3} x$	25	$0.085 x$
RASTROJO DE MAIZ	y	0.23	0.77y	0.0049	$3.773 \times 10^{-3} y$	53	0.199969y

Puesto que un volumen de 1219.5 litros de mezcla con una densidad promedio de 1.025 g/cm^3 , equivalen a 1250 Kg.; mismos que a un 8% de sólidos totales, corresponden a 100 kg. secos.

Por lo tanto,

$$\text{Kg. secos: } 0.2 x + 0.77 y = 100$$

$$x = \frac{100 - 0.77 y}{0.2}$$

$$x = 500 - 3.85 y \quad (1)$$

¹⁶ Más adelante se explica

^{17,18} Valores tomados de la tabla VI

^{19,20} Valores tomados de la tabla VII

Para una relación carbono/nitrógeno = 30 :

$$C/N = \frac{0.085 x + 0.199969y}{3.4 \times 10^{-3} x + 3.773 \times 10^{-3} y} = 30$$

$$\begin{aligned} 0.085 x + 0.199969y &= 0.102 x + 0.11319y \\ 0.017 x &= 0.086779y \\ x &= 5.1046 y \end{aligned} \quad (2)$$

Sustituyendo (2) en (1)

$$\begin{aligned} x &= 500 - 3.85 y \\ 5.1046 y &= 500 - 3.85 y \\ 8.9546 y &= 500 \\ y &= 55.84 \text{ kg.} \end{aligned} \quad (3)$$

Sustituyendo (3) en (2)

$$\begin{aligned} x &= 5.1046 (55.84) \\ x &= 285.04 \text{ kg.} \end{aligned}$$

Se tiene entonces:

$$\begin{aligned} x &= 285.04 \text{ kg. de Estiércol de vaca fresco.} \\ y &= 55.84 \text{ kg. de rastrojo de maiz fresco.} \end{aligned}$$

TABLA VII
ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA²²

TIPO DE MATERIAL:	ESTIERCOL	CASCARA DE CACAHUATE	PAJA DE ARROZ	RASTROJO DE SORGO	RASTROJO DE MAIZ
HUMEDAD	81.9400	3.3500	7.4300	63.2000	23.0000
MAT. SECA	18.0600 ± 2.0190	96.6500	92.5700	36.8000	77.0000
PROTEINA	2.0575 ± 3.3003	4.8800	1.8500	1.1800	2.3800
E. ETEREO	0.2000 ± 0.0535	4.3000* ± 3.1800	0.1500	0.6700	1.4700
CENIZAS	3.1475 ± 0.8860	-	16.8400	2.9800	6.1600
FIBRA	7.0525 ± 3.5456	52.7000* ± 10.3900	24.6300	13.1000	23.2100
E.L.N.	6.1025 ± 3.2139	21.2000* ± 1.2000	50.1000	18.8700	43.7800
N Total (Kjeldhal)	2.1350 ± 0.0854	-	-	-	-
P (P ₂ O ₅)	0.8550 ± 0.1873	-	-	-	-

* Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Diagnóstico de Patología Animal de la SARH de Yauhtepec, Mor., a excepción de los datos marcados con un asterisco.

Estos datos fueron proporcionados por el Departamento de Nutrición Animal y Bioquímico del Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias de la SARH.

²² Mandujano, Alvarez Ma. Isabel. Evaluación de Mezclas de Estiércol de Bovino y Esquilmos Vegetales para obtención de Biogás por Fermentación Anaeróbica. Boletín IIE/FE-A2/12. Instituto de Investigaciones Eléctricas. Junio de 1979.

siempre se hace necesario agregar un porcentaje pequeño de lodos digeridos (iniciador) a la mezcla, digamos de un 5%, por lo que queda: $1250 \text{ kg.} \times 0.05 = 62.5 \text{ kg.}$ de lodos con un 8% de sólidos totales, equivalentes a 5 kg. de estiércol seco. Tomando en cuenta que el estiércol fresco tiene un promedio de 20% de sólidos totales,²¹ esta cantidad de lodos equivalen a $5/0.20 = 25 \text{ kg.}$ de estiércol fresco.

La cantidad de estiércol que se cargaría sería de:

285.04 - 25 = 260.04 kg. de estiércol seco
55.84 kg. de rastrojo de maíz fresco
871.68 kg. de agua

3.3 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 producirse en dos gamas de temperaturas: 29.4 a 40.5 °C (85 a 105 °F) y 48.8 a 60 °C (120 a 140 °F). Hay diferentes tipos de bacterias productoras de ácidos y metano que crecen en cada una de esas gamas diferentes. A las activas en la gama más alta se les denomina bacterias termofílicas,²³ encontrándose su temperatura óptima a 55 °C. Algunas materias primas, tales como las algas, requieren esta gama más alta para la digestión; sin embargo, los digestores no suelen funcionar a esa gama más alta, porque:

- a) La mayoría de los materiales se digieren bien en la gama más baja,
- b) Las bacterias termofílicas son muy sensibles a cualquier cambio en el digestor, c) Los sedimentos que se producen tienen baja calidad como fertilizantes, y d) es difícil mantener esas temperaturas elevadas, sobre todo en los climas de las zonas templadas.

En cambio las bacterias que producen metano en la "gama normal" 32 a 35 °C (90 a 95 °F) son más estables y producen un sedimento de alta calidad. La experiencia en varios experimentos reporta que las

²¹ más adelante se explica

²³ Gramms. W., Proctor, D.E. Feasibility of Dairy Manure Stabilization by Anaerobic Digestión. Water and Sewage Works. September pp. 361-264. 1967.

bacterias digestivas trabajan con la mayor eficiencia a una temperatura de 36 °C (95 °F). Estas bacterias pertenecen a la primera gama de temperaturas y se denominan mesoflicas. No será muy difícil mantener una temperatura de 35 °C en el digestor.

La variación de la temperatura afecta la alcalinidad y el pH del digestor.

Generalmente el pH de un digestor depende de la relación entre los ácidos volátiles y la alcalinidad. La principal forma de alcalinidad son los bicarbonatos, que resultan de la reacción del amoníaco, bióxido de carbono y agua para formar bicarbonato de amonio^{24, 25,26,27}. Esta producción natural de alcalinidad hace que el pH del sistema fluctúe en el rango deseado de 6.8 a 7.2. Como se muestra en la figura 9 la alcalinidad aumenta al aumentar la carga, el tiempo de retención y la temperatura.

La figura 10 muestra que un aumento en la temperatura, el tiempo de retención o la carga, implica un aumento en el pH del digestor.

NOTA. Las características de las seis unidades que se analizan aquí, se presentan recopiladas en la tabla VIII.

(Válida para las figs. 9, 10, 12, 13 y 14).

²⁴ Albertson, O.E. (1961). Ammonium Nitrogen and the Anaerobic Environment
J. Water Pollut. Control Fed. 12:3 p. 359.

²⁵ Kugelman, I.J. And P.L. McCarty (1965). Cation Toxicity in Anaerobic Digestion,
J. Water Pollut Control Fed. 37 p.p. 1-97

²⁶ Mc Carty P.L. and R.E. Mc. Kinney (1961). Salt Toxicity in Anaerobic Digestion,
J. Water Pollut Control Fed. 33.4 p. 399

²⁷ Dague, R.R. (1968). Application of Digestion Theory to Digester Control. J. Water
Pollut. Control Fed. 40:12 p. 2021.

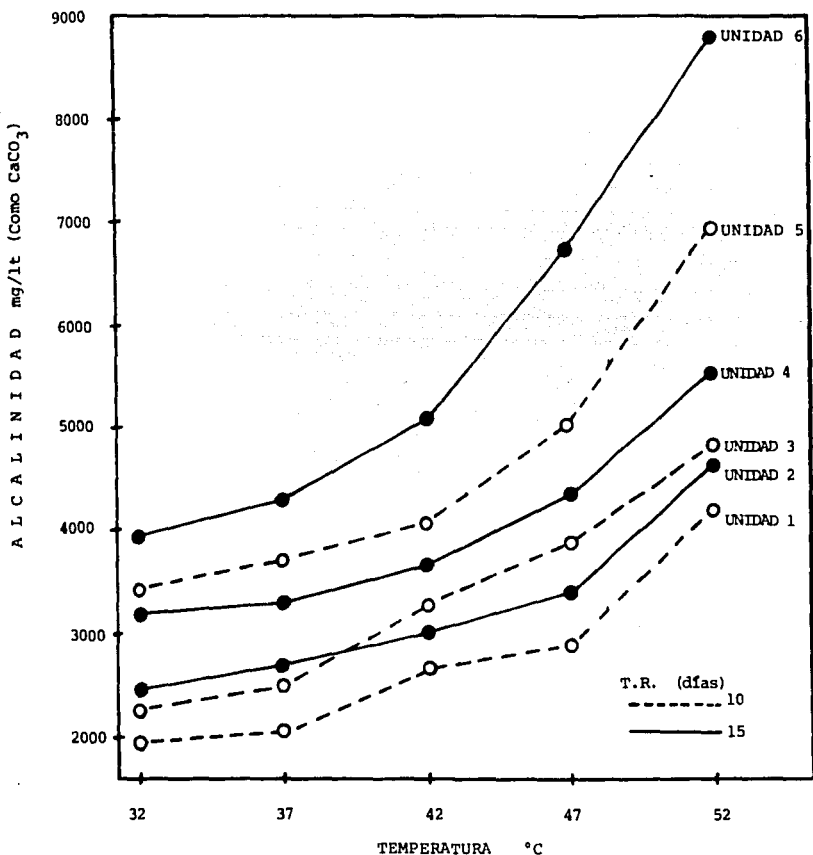


FIG. 9 FLUCTUACION DE LA ALCALINIDAD CON LA TEMPERATURA ²⁸

²⁸ Wang y Fong. Methane Production From High Rate Anaerobic Digestion of Hog and Dairy Cattle Manure. Tesis Maestría. University of Manitoba, Canadá. (1973).

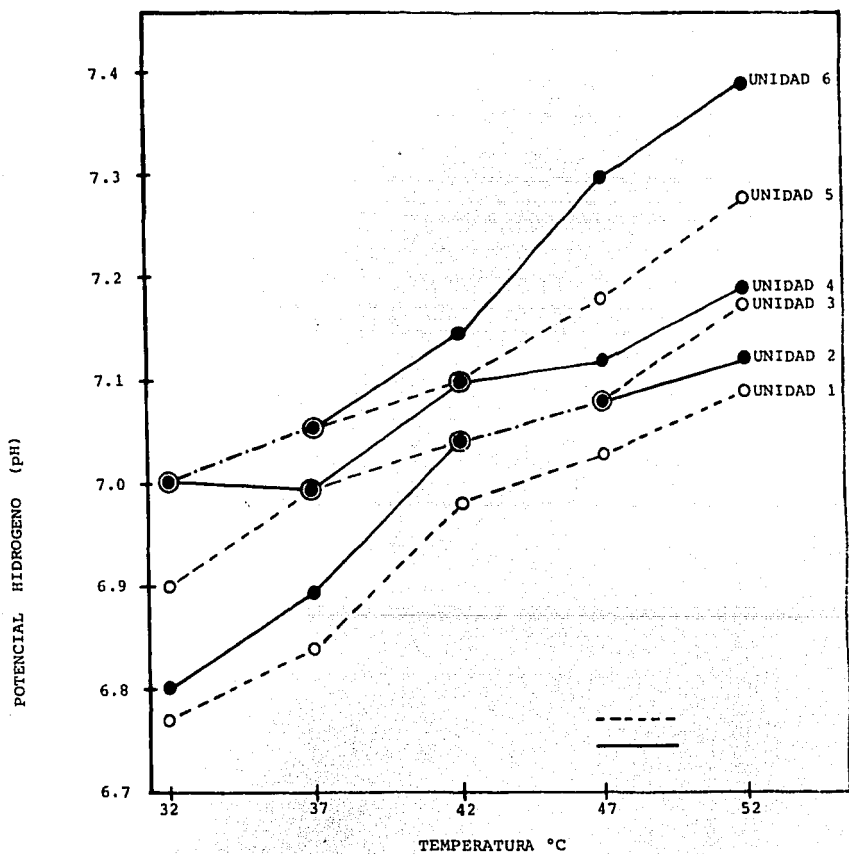


FIG. 10 VARIACION DEL pH CON LA TEMPERATURA²⁹

²⁹ Ibid.

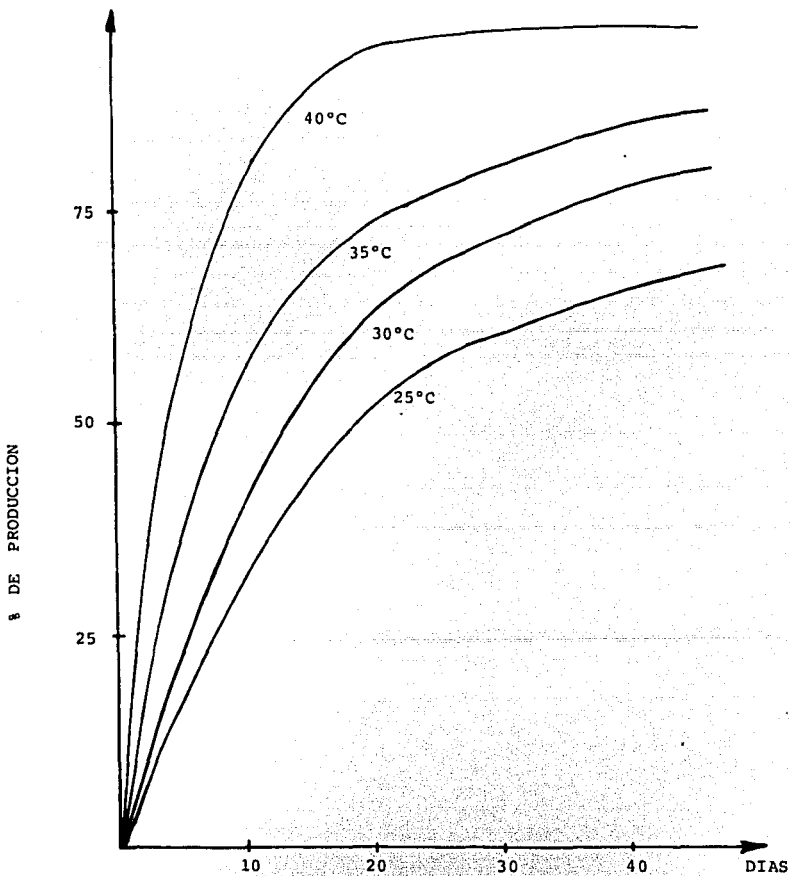


FIG. 11 PRODUCCION DE GAS EN FUNCION DE LA TEMPERATURA³¹

³¹ Anaya, Roberto Morelos. Manual de Procedimientos para el cálculo, Diseño y Operación de Digestores de Desechos Orgánicos a partir del Estiércol Porcino. Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (1978).

Con lo anterior, se puede deducir que el efecto de la temperatura es el reflejo del comportamiento bacteriano del digestor.³⁰ Según las consideraciones de Toerien, podemos concluir que si se hace bajar o subir la temperatura por espacios prolongados de tiempo, provocaremos que se desarrollen poblaciones bacterianas denominadas psicrófilicas, mesófilicas o termófilicas, las cuales alcanzan su crecimiento a una temperatura óptima, como ya se ha explicado. Todos los cambios bruscos de temperatura serán de fatal consecuencia para los microorganismos.

The New Alchemy Institute West ha estudiado los efectos de la temperatura en la producción de gas: una misma cantidad de estiércol se digiere dos veces más rápido a 35 °C que a 15 °C y produce aproximadamente quince veces más gas en la misma cantidad de tiempo.

La variación de la producción de gas en función de la temperatura se puede apreciar en la figura 11.

Los efectos de la variación de la temperatura en la producción de gas, también se observan en las figuras 12, 13 y 14.

³⁰ Toerien, D.F. and W. H. J. Hattingh (1969). Anaerobic Digestion The Microbiology of Anaerobic Digestion. Water Res 3 p. 385.

PRODUCCION DE GAS EN ml/gr., DE SOLIDOS VOLATILES DESTRUIDOS-DIA

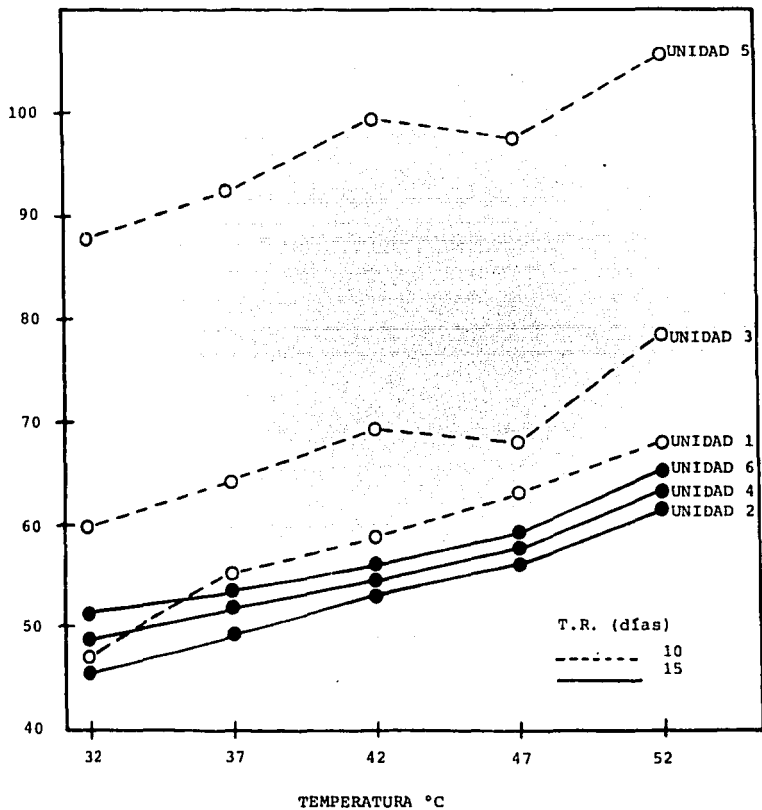


FIG. 12 PRODUCCION DE GAS EN FUNCION DE LA TEMPERATURA³²

³² Wang y Fong. Methane Production From High Rate Anaerobic Digestion of Hog and Dairy Cattle Manure Tesis Maestría. University of Manitoba, Canadá.

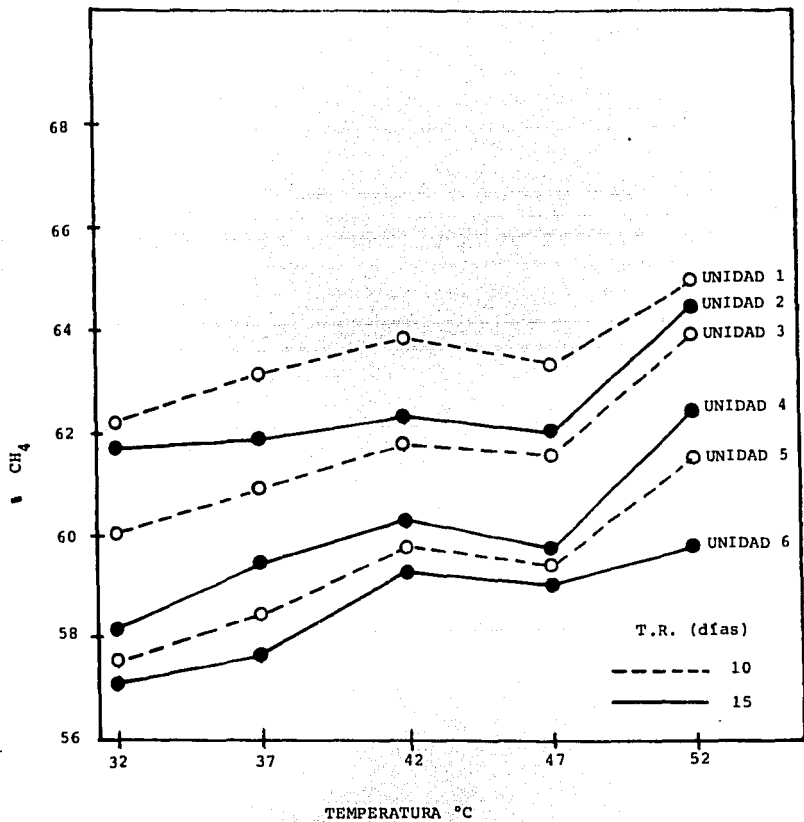


FIG. 13 CONTENIDO DE GAS METANO EN EL GAS³³

³³ Ibid.

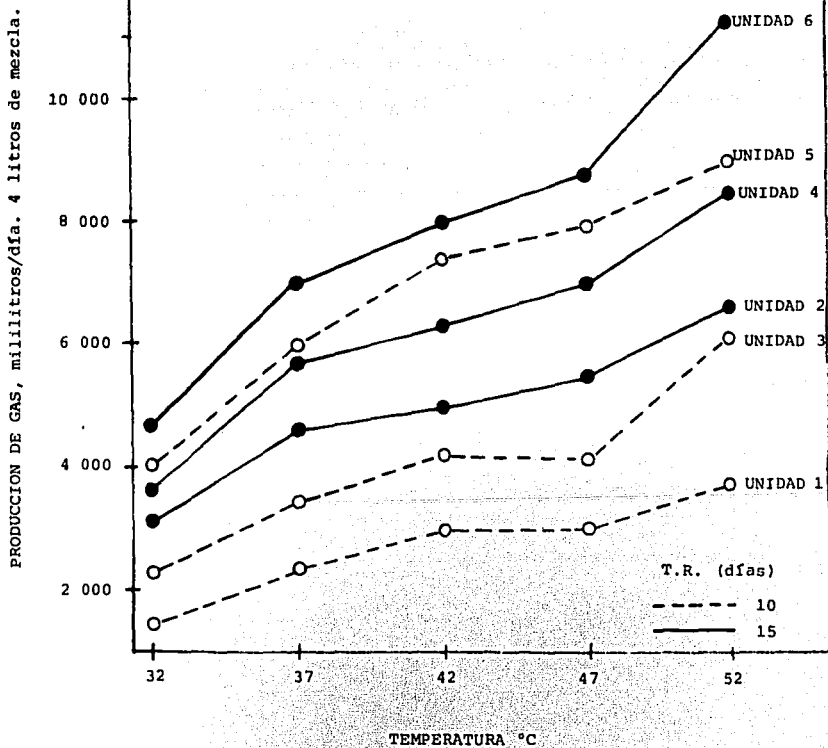


FIG. 14 PRODUCCION DIARIA DEL GAS³⁴

³⁴ Ibid

TABLA VIII

CARACTERISTICAS DE LA CARGA DE SEIS DIGESTORES OPERANDO EN FORMA CONTINUA³⁵

Digestor No.	1	2	3	4	5	6
Carga diaria (kgSV/m ³ de digestor)	2.4	2.4	3.2	3.2	4.0	4.0
Tiempo de retención (días)	10	15	10	15	10	15
Carga:						
Sól.Vol.(mg/lt)	24,000	36,000	32,000	48,000	40,000	60,000
COD (mg/lt)	31,600	47,400	42,133	63,200	52,666	79,000
NH ₃ - N (mg/lt)	268.0	402.0	357.3	536.0	446.0	670.0
N-orgánico (mg/lt)	992.0	1488.0	1322.6	1984.0	1653.3	2480.0
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /lt)	1580.0	2370.0	2106.6	3160.0	2633.3	3950.0
pH	7.0	7.0	7.0	7.05	7.1	7.1
% S.V. (base seca)	84.72	84.72	84.72	84.72	84.72	84.72

³⁵ Wang y Fong (1973) Methane Production From High Rate Anaerobic Digestion of Hog and Dairy Cattle Manure. Tesis Maestría. University of Manitoba Canadá.

3.4 TIEMPO DE RESIDENCIA.

El tiempo que permanecen los sólidos volátiles en un digestor es una parte fundamental del proceso y representa el tiempo promedio en que la materia orgánica es atacada por los microorganismos.³⁶ Este tiempo determina la fracción de gas que se obtiene, de la producción máxima que es posible obtener a tiempos de residencia muy largos.

Se puede considerar que el tiempo de residencia, considerado como óptimo, es aquel que produce el 80% de la producción total en el menor número de días.

Existe una correlación entre este tiempo y la temperatura, ya que a mayores temperaturas los tiempos de residencia son menores, como se aprecia en la figura 15.

3.5 PORCENTAJE DE SOLIDOS

Los sólidos totales contenidos en un digestor son también un factor importante a considerar para asegurar que el proceso de digestión se lleve a cabo en forma satisfactoria (Informe IIE/FE-A2/4, "Determinación del Porcentaje Óptimo de Sólidos para Digestores de Desechos Orgánicos"). La suma de los sólidos volátiles contenidos en un material y de sus cenizas representadas por material inorgánico, da como resultado los sólidos totales presentes en ese material (para el presente caso, en el estiércol de vaca).

El rango de valores de sólidos totales en el cual se lleva a cabo el proceso fluctúa entre 4 y 10%.

El estiércol fresco de bovino contiene alrededor de 17 a 20% de sólidos totales, razón por la cual para llegar al rango de operación, es necesario diluirlo con agua para formar lo que se denomina lechada. Si se agrega agua en exceso, la mezcla se hará físicamente in-

³⁶ Loehr, R.C. Agricultural Waste Management. Academic Press. New York, N.Y. 1974.

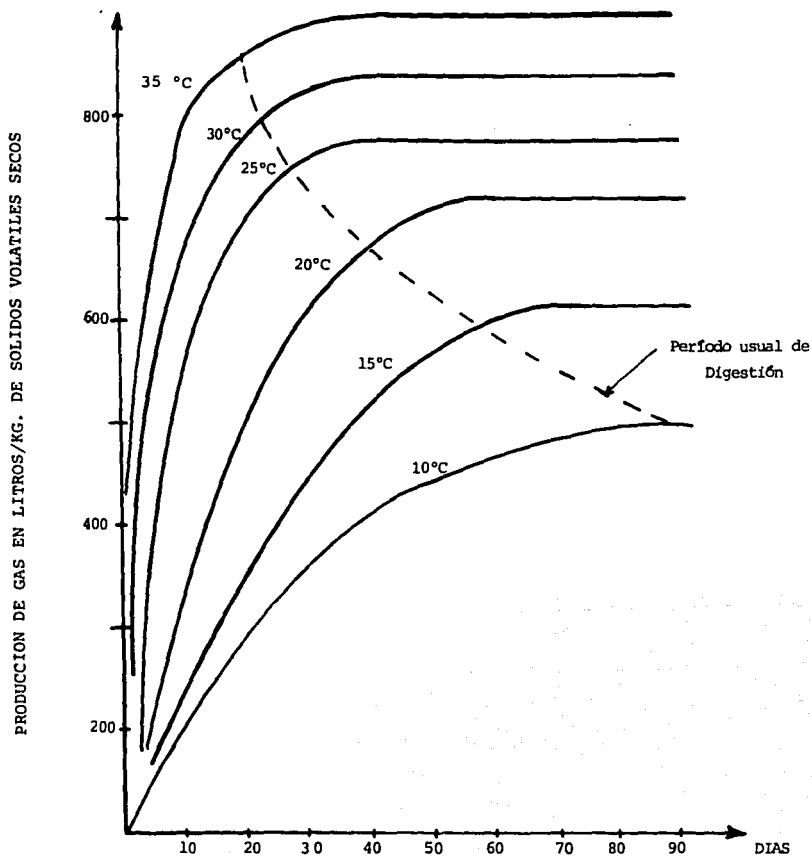


FIG. 15 PRODUCCION DE GAS A DIFERENTES TEMPERATURAS ³⁷

³⁷ Meynell, P.J. Methane: Planning a Digester
Prism Press, Great Britain, 1976.

estable y se asentará rápidamente en capas separadas al interior del digestor, impidiendo en esa forma una buena fermentación. Un método práctico y eficaz es utilizar una lechada con una consistencia parecida a la crema de leche. Lo más importante, en este caso, es que al diluir las materias primas, se reduce el tiempo de residencia.

Ejemplo: El volumen de 500 kg. de estiércol fresco de vaca es de aproximadamente 0.6 m^3 . Si se diluye a razón de 1:1 con agua, el volumen se hace de cerca de 1.2 m^3 . Con el digestor digamos de 40 m^3 , implicará un período de residencia de $40/1.2 = 33$ días. Si el estiércol se diluye aún más, digamos, 2 : 1, el volumen sería de 1.8 m^3 y el período de residencia se reduciría a $40/1.8 = 22$ días, así pues, hasta cierto punto (por lo común no menos del seis por -- ciento de sólidos) la dilución de las materias primas producirá la misma cantidad de gas en un período más corto.

3.6 INDICE DE CARGA

Se define como la cantidad de materias primas (por lo común kilogramos de sólidos volátiles) que se introducen diariamente al digestor (de carga continua) por metro cúbico de espacio del digestor. Debemos considerar un punto intermedio; si se agrega al digestor una cantidad demasiado grande de materias primas, de una sola vez, se acumularán ácidos y cesará el proceso de fermentación. La principal ventaja de un índice más elevado de carga es que al introducir una gran cantidad de materiales en un pequeño espacio, se puede reducir el tamaño del digestor (y en consecuencia, el costo).

Ejemplo: Suponiendo que se tienen 500 kg. de estiércol fresco de vaca disponible para la digestión cada día:

Antes se debe tener presente que

- El total de sólidos/día, es el 20% de heces/día
- Los sólidos volátiles/día, es el 80% de los sólidos totales.

Ahora bien,

500 kg. de estiércol fresco de vaca = 100 kg. de sólidos totales
(suponiendo que se trata de heces)

= 80 kg. de sólidos volátiles.

A un índice de carga de 3 kg. VS/DIA/METRO CUBICO (que representa el total de sólidos volátiles en un día que existen en aproximadamente 20 kg. de estiércol fresco de vaca por cada metro cúbico.

Lo anterior requiere un digestor de $80/3 = 27 \text{ m}^3$. de volumen.

A un índice de carga de 1.5 kg/DIA/METRO CUBICO, esto duplica el tamaño del digestor necesario con la misma cantidad de estiércol $80/1.5 = 53 \text{ m}^3$.

3.7 AGITACION

La agitación de la mezcla en el digestor ayuda a establecer un mejor contacto de las bacterias y el sustrato proporcionado, además una temperatura interna más uniforme. La agitación se hace por medios mecánicos, por recirculación de la mezcla o bien recirculando el biogas a través de difusores en el fondo del digestor.

En digestores que operan con poblaciones bacterianas del rango mesofílico, la agitación requerida es muy leve, siendo suficiente en algunos casos, la que produce la carga diaria al entrar al digestor.

En la superficie de la mezcla se tiende a formar una "nata" debido al material fibroso no digerible, la cual se debe romper por medios mecánicos para que el gas salga libremente del seno de la mezcla.³⁸

³⁸ Imhoff et al Treatment of Sewage and other Water Borne Wastes. Butler Worths. 1956.

Además se evita la formación de espuma también en la parte superior, que es una mezcla de material fibroso grueso, liberado del estiércol bruto, gas y líquido. En cantidades moderadas, la espuma actúa como aislante; pero, en grandes cantidades, puede - provocar que el digestor deje de funcionar; el problema se resuelve con la agitación.

Tanto la espuma como la "nata" formadas en la superficie de la mezcla son consecuencia del mismo proceso y prácticamente son lo mismo.

CAPITULO IV

EXPERIMENTACION

4.1 ESCALA

La escala es a nivel laboratorio, misma que corresponde a la primera etapa de este proyecto. Los resultados obtenidos ayudarán a corregir y mejorar todo el proceso de digestión; para asegurar un buen funcionamiento cuando se implemente la segunda etapa, es decir, la construcción y operación de una cámara de digestión de 40 M³ de capacidad.

4.2 ANTECEDENTES

Puesto que se sabe que la composición de la materia prima influye en la cantidad de producción de gas, se procedió a recoger el estiércol de diferentes lugares para efectos comparativos.

Se recurrió a los ranchos productores de leche de la zona: Tepetzotlán, Tultepec, Zumpango, Teoloyucan y Cuautitlán, todos en el Estado de México.

Básicamente la diferencia entre un rancho y otro consistió en el tipo de alimentación y concretamente, dos tipos de alimentación: alimento balanceado y alimento preparado localmente.

Para efectos prácticos se mencionarán dos ranchos típicos:

El Rancho Villa María, localizado en la carretera Cuautitlán - Zumpango, a un lado de Visitación, Estado de México. - El rancho es propiedad del Sr. Juan Herrero Lora, a quien se agradece su valiosa ayuda y asesoramiento. Se informó que la composición aproximada del alimento es:

Alfalfa verde fresca	75%
Alfalfa seca achicalada	10%
Silo de maíz	15%
También bagazo húmedo de cerveza	

Asimismo, parte del ganado come un concentrado compuesto de sorgo, girasol (pasta), grano de wisky, melasa, vitaminas y minerales.

El Rancho Almaraz, localizado en el Campo No. 4 de la - ENEP-C, en la carretera Cuautitlán - Tepotzotlán. La alimentación básica del ganado es aproximadamente:

Forraje verde 30%
Concentrado (alimento balanceado) 70%

Los diferentes tipos de estiércol que se recogieron de los ranchos mencionados, consistieron en:

- a) Todos los excrementos frescos (heces y orina)
- b) Todos los excrementos frescos más el material de camas
- c) Sólo las heces húmedas
- d) Sólo las heces secas
- e) Todos los excrementos secos y el material de camas también seco.

4.3 PREPARACION DE LA MEZCLA

Primeramente, se tuvo que determinar las cantidades apropiadas de cada tipo de estiércol mencionado anteriormente, - con el agua necesaria para diluirlo y formar lo que se denomina lechada.

Puesto que se sabe que el porcentaje de sólidos es importante en el proceso y que es en promedio de 7%, se descartaron del análisis los tipos de estiércol y cama que involucraran se quedad, esto es, los incisos d y e; aún sabiendo lo anterior, se hicieron muestras con éstos, pero no se llevó un control es tricto de los mismos, como ocurrió con las del estiércol húmedo.

Se fijó aproximadamente 0.400 litros de estiércol equiva-

lente a 0.5 Kg. de estiércol fresco (considerando una densidad promedio de 1.25 g/cm^3). Puesto que la mezcla contó con aproximadamente 0.400 Kg. de estiércol fresco bovino (para cada muestra), que en promedio cuenta con un 19.5% de sólidos totales y que se tiene que reducir a un 7% de sólidos totales en la mezcla de la carga. La relación es $19.5/7 = 2.78$, ésta indica el total, es decir, un doscientos setenta y ocho por ciento; puesto que 1 (cien por ciento) corresponde a la cantidad de la mezcla original (0.400 Kg. de estiércol) sólo se requiere 1.78 (ciento setenta y ocho por ciento) más de agua para agregar. El cien por ciento adicional corresponde a 0.400 litros de agua más un setenta y ocho por ciento que corresponde a 0.312 litros; en total se tiene que los 0.400 Kg. de estiércol con 19.5% de sólidos totales deberán ser diluidos con $0.400 + 0.312 = 0.712$ litros de agua, con lo cual se reduce a un 7% de sólidos totales en la mezcla de la carga. Una vez conseguido el porcentaje de sólidos deseable no se varió durante todo el experimento.

Se controló el grado de acidez y alcalinidad, mediante papel tornasol, pH o indicador. Se mantuvo en un pH de 6.7 a 7.5 que es el intervalo recomendado para los digestores que operan con estiércol de vaca.

A continuación, se expone el cálculo de la relación carbono-nitrógeno (C/N) óptima para la mezcla. Se sabe que la más adecuada es 30/1 (treinta veces más carbono que nitrógeno); aún en conocimiento de que en las muestras de estiércol puro prevalecería una relación C/N = 25, se experimentó para efectos comparativos. En las muestras que llevarían estiércol con material de cama, se procedió de la siguiente manera:

El material de camas consistía en:

NITROGENO TOTAL
% DE PESO EN SECO

RAZON
C/N

Heno de Alfalfa	2.8	17
Aserrín de Madera	0.1	200 - 500
Rastrojo de maíz	0.49	53

MEZCLA:

Estiércol de vaca, C/N = 25 en un 70% del total = 0.28 Kg.
 Heno de alfalfa, C/N = 17 en un 10% del total = 0.04 Kg.
 Aserrín de madera, C/N = 350 en un 10% del total = 0.04 Kg.
 Rastrojo de maíz, C/N = 53 en un 10% del total = 0.04 Kg.
 Nitrogeno en 0.28 Kg. de estiércol de vaca = $1.7\% \times 0.28 = 0.00476$ Kg.
 Carbono en 0.28 Kg. de estiércol de vaca = $25 \times 0.00476 = 0.119$ Kg.
 Nitrogeno en 0.04 Kg. de heno de alfalfa = $2.8\% \times 0.04 = 0.0012$ Kg.
 Carbono en 0.04 Kg. de heno de alfalfa = $17 \times 0.0012 = 0.01904$ Kg.
 Nitrogeno en 0.04 Kg. de aserrín de madera = $0.1\% \times 0.04 = 0.00004$ Kg.
 Carbono en 0.04 Kg. de aserrín de madera = $350 \times 0.00004 = 0.014$ Kg.
 Nitrogeno en 0.04 Kg. de rastrojo de maíz = $0.49\% \times 0.04 = 0.000196$ Kg.
 Nitrogeno en 0.04 Kg. de rastrojo de maíz = $53 \times 0.000196 = 0.010388$ Kg.

	ESTIERCOL	HENO DE ALFALFA	ASERRIN DE MADERA	RASTROJO DE MAIZ	TOTAL
CARBONO	0.119	0.01904	0.014	0.010388	0.162428

NITROGENO	0.00476	0.00112	0.00004	0.000196	0.006116
-----------	---------	---------	---------	----------	----------

$$\text{RAZON C/N} = 0.162428 / 0.006116 = 27$$

Como se puede apreciar, esta relación es magnífica ya que sabemos que la razón óptima es 30. También se dedujo que esta razón obtenida a partir de estiércol más el material de camas, es mejor, que si se utilizara estiércol puro ya que tiene una razón de C/N = 25 (la diferencia es mínima).

4.4 PROCEDIMIENTO

En vasos de precipitado, graduados en mililitros se vacia-

ron en cada uno (veinte en total) una cantidad de 400 ml. de es
tiércol diluido con 712 ml. de agua caliente a 40°C y se revol-
vió la lechada hasta adquirir un aspecto homogéneo. (Para esto,
se ha considerado de manera arbitraria que el porcentaje de só-
lidos es el mismo en 1 Kg. de estiércol que en 1 Kg. de estiér-
col con cama, por lo que, hay que diluirlo con la misma canti-
dad de agua, es decir, 712 ml. para obtener un 7% de sólidos to
tales).

Una vez hecha la mezcla en cada uno de los veinte vasos de
precipitado, se procedió a cargar lo que improvisadamente fun-
gía como cámara de digestión: un matraz erlenmeyer. Los ma-
traces erlenmeyer fueron sellados en la parte superior del cue-
llo con tapones de hule perforados, en cuyos agujeros se coloca
ron tubos de vidrio, mismos que se les acopló una manguera de -
hule y al final de ésta, un bulbo de hule, en el cual se aloja-
ría el gas conforme se fuera produciendo.

Todas las muestras se colocaron en una cuba de agua, cuyo
baño fue constante e isotérmico a una temperatura promedio con-
trolada de 37.5°C.

Adicionalmente, se conectaron las mangueras de dos de las
muestras (una de estiércol y una de estiércol con cama) a dos
probetas graduadas de Orsat, llenas de agua pintada con anaran
jado de metilo, con las cuales sería posible apreciar el líqui
do desplazado por el gas que se produciría.

También adicionalmente, se dejaron algunas muestras sin -
control a temperatura ambiente para efectos meramente compara-
tivos.

La lechada que se encontraba en el interior de los matra-
ces se agitó dos veces al día, para evitar que se formara espú
ma o que las materias pesadas se acumularan en el fondo del ma
traz, con lo anterior, se mantuvo una homogeneidad de la mezcla
todo el tiempo

Se sabía que la producción de gas empezaría de 3 a 15 días. Se advirtió que se había empezado a producir gas cuando los bulbos de hule se inflaron y el agua de la probeta graduada del Orsat empezó a desplazarse debido a la presión que ejercía el gas.

Diariamente se quemó el gas y se observó que era un magnífico combustible. Su poder calorífico es de 5500 Kcal/M^3 , en comparación con el gas natural, cuya composición incluye 98% de metano y tiene un poder calorífico de 8900 Kcal/M^3 .

La producción de gas una vez que se inició, continuó ininterrumpidamente a lo largo de quince días. El volumen ocupado por el gas no fue posible determinarlo con precisión, ya que no es uniforme la expansión del bulbo de hule, debido a su irregular construcción, en lo que a espesor de plástico se refiere y al cinturón intermedio que aprisiona el globo. Esto origina un cuerpo que se asemeja a una esfera estrangulada en la mitad, aproximándose en su forma a un ocho ensanchado de su parte intermedia. Por lo anterior, se optó por la alternativa de medir el volumen del globo, mediante su sumersión en agua contenida en un vaso de precipitado hasta un cierto nivel, a partir del cual se empieza a contar el volumen ocupado. Los volúmenes obtenidos fueron diariamente desalojados, para poder obtener, de esa manera, la capacidad productiva total del estiércol, es decir, la producción de biogás en términos de la unidad de masa.

En el caso particular que se trata, se utilizó el método de alimentación por lotes o de régimen estacionario. La carga completa de la lechada se agrega a la cámara de digestión (hermética al aire), luego, se le deja hasta que las materias primas se digieran por completo. Cuando cesa la producción de metano, se retira el afluente del digestor, con la excepción de una pequeña cantidad, que se deja como iniciador. Luego se vierte el lote siguiente.

4.5 CONCLUSIONES

La agitación es un factor determinante en la producción de gas a partir de desechos orgánicos, ya que el material fibroso tiende a formar una nata gruesa en la superficie, impidiendo la salida del biogás. La agitación debe efectuarse dos o tres veces por día, con objeto de romper esta nata. - Cuando la agitación se hace excesiva, esto produce una disminución en la producción de gas, debido posiblemente a que una porción de la carga en la cámara de digestión no se encuentra totalmente degradada.

La cantidad de gas que se obtiene a partir de una muestra de desecho orgánico, aumenta al aumentar el tiempo de residencia.

El proceso de fermentación anaeróbica conduce a la degradación de la materia orgánica, disminuyendo su porcentaje de sólidos sin afectar el contenido de nitrógeno. Debido a esto, el material digerido presenta una mayor concentración de ni - trógeno en base seca, que la materia original, haciendo de - los lodos residuales, un mejorador de suelos de mayor calidad que el estiércol sin fermentar.

La temperatura se controló estrictamente registrándose en termómetros de mercurio, la temperatura óptima del proceso fue de 37.5°C.

El porcentaje de sólidos totales en la mezcla que se encuentra en la parte superior de la cámara de digestión es bajo, ya que ahí se encuentra acumulado todo el material fibroso que es arrojado y que en un momento dado, podría inhibir la salida del gas del seno de la mezcla. Sin embargo, el porcentaje de sólidos totales en la parte inferior de la cámara es alto (pu - diendo alcanzar valores semejantes a la carga), debido a que - se sedimenta el material inerte durante el proceso de la diges - tión y de no ser eliminado, reduciría el volumen útil de diges -

tión. Se debe alternar el proceso de descarga (superior e inferior) en la cámara de digestión, con el objeto de mantener un equilibrio en el porcentaje de sólidos totales de la masa interna.

Al tener una mayor disponibilidad de estiércol, se tiene la opción de operar el sistema a un menor tiempo de residencia, lográndose así generar una mayor cantidad diaria de gas.³⁹

La velocidad de producción de gas fue mayor en las cámaras de digestión con baño isotérmico de 37.5°C. que las que estuvieron a temperatura ambiente y las que se sometieron a cambios bruscos de temperatura.

39 Mandujano, M. I.; Martínez, A. M.; Félix, A.; Sánchez S. Informe Final Sobre Operación del Digestor Familiar. Boletín IIE/FE-A2/11 Instituto de Investigaciones Eléctricas. Abril, 1979

C A P I T U L O V

GENERALIDADES DE LA CAMARA

DE DIGESTION

5.1 DESCRIPCION DEL DIGESTOR

Las cámaras de digestión o digestores se pueden diseñar para alimentación en lotes o continua.

En los digestores por lotes, se introduce una carga completa de materias primas en el digestor y se sella herméticamente al aire y se deja que fermente, hasta que se produzca gas. Cuando la producción de gas cesa, se vacía el digestor y se vuelve a llenar con una nueva carga o lote de materias primas. Los digestores en lotes tienen ventaja donde la disponibilidad de materias primas es esporádica, por otra parte, requieren poca atención diaria. Sin embargo, los digestores en lotes tienen desventajas debido a que se requiere gran cantidad de energía para vaciarlos y cargarlos; por otra parte, la producción de gas y sedimentos tiende a ser esporádica, por lo que se haría necesario tener una batería de digestores con fechas distintas de carga para poder tener una producción relativamente constante de gas y fertilizante.

En los digestores de carga continua (que es el caso particular que se propone), se agrega al digestor una determinada cantidad de materias primas cada día, poco más o menos. - De esta manera, el índice de producción, tanto de gas como de sedimento o fertilizante activo, es relativamente continuo. - Los digestores de carga continua son especialmente eficientes cuando existe disponibilidad regular de materias primas. Los digestores de alimentación continua pueden ser de dos diseños básicos: de mezcla vertical o de desplazamiento. Los digestores de mezcla vertical consisten en cámaras verticales a las que se agregan materias primas; la lechada se eleva en el digestor y se desborda por la parte superior. Los digestores de desplazamiento consisten en un largo cilindro acostado paralelamente al suelo (pueden ser tubos internos, barriles o toneles de petróleo soldados extremo a extremo, cisternas de

camiones, cascos de calderas, etc.); conforme se digiere, la lechada se ve desplazada gradualmente al extremo, pasando en su camino por un punto de máxima fermentación.

El diseño de los digestores de desplazamiento tiene ventajas sobre los diseños de mezcla vertical:

a) En los digestores de mezcla vertical, las materias primas se ven sometidas a un movimiento de bombeo vertical y a menudo escapan a la acción de las bacterias digestivas; la lechada introducida en un momento dado, se puede retirar con facilidad, poco después, en la forma de material parcialmente digerido. En los digestores de desplazamiento, la lechada debe pasar por una zona de máxima actividad de fermentación, de modo que todas las materias primas se digieran eficientemente (en gran parte como en los intestinos de un animal).

b) Desde un punto de vista práctico, los digestores de desplazamiento son más fáciles de manejar. Si el contenido del digestor se comienza a echar a perder por alguna razón, se puede recircular eficientemente el material que esté obstruido en el extremo más alejado, invirtiendo, simplemente, el flujo del material a lo largo de la línea del cilindro. Además, las materias primas se pueden digerir en cualquier grado deseado, sin necesidad de construir digestores o cámaras adicionales (en los digestores de mezcla vertical, la lechada apagada al desbordarse, se hace pasar a una segunda cámara - en algunos casos - donde prosigue la digestión en forma mucho más completa.

c) El problema de acumulación de espuma se reduce en los digestores de desplazamiento. Puesto que la espuma se forma uniformemente en la superficie de la lechada en digestión, cuando más amplia sea la superficie, tanto más tiempo será necesario para que se acumule la espuma hasta el punto en que inhiba la digestión. Un cilindro acostado tiene un área ma -

yor de superficie de lechada que el vertical.

d) Cualquier digester de carga continua acumulará eventualmente suficiente espuma y partículas no digeridas para que sea preciso limpiarlo. El lavado periódico de los digestores de desplazamiento resulta considerablemente más fácil que el de los digestores de mezcla vertical.

Sobre el Digestor.

El digester que se plantea es del tipo horizontal y de carga continua. Al efectuar la carga diaria, se desplaza un volumen igual de material digerido, el cual, puede salir del digester por el rebosadero o por la salida inferior.

La cámara de digestión se trata de un recipiente de forma cilíndrica; posición horizontal; con un domo en la parte media del mismo; el recipiente tiene una entrada de carga con direccional, en la parte superior y extrema; tiene una salida de descarga en la parte inferior y del otro extremo; el recipiente es totalmente hermético al aire; dotado de agitadores, accionados manual o mecánicamente (ya que la formación de natas es un problema que afecta la producción de gas y la digestión total del material orgánico); provista la cámara de un intercambiador de calor (para conservar la temperatura ideal); se puede implementar un tornillo sinfin o medio mecánico que ayude a desalojar los sólidos (cumple una doble función: agitador y desalojador de material digerido).

Los lodos o sedimentos que salen del digester pasan por unos filtros antes de ser almacenados en las piletas de descarga. Los filtros se usan con objeto de separar los sólidos de los lodos digeridos, quedando el agua lista para ser recirculada en la carga, o bien, usarla para riego, dado su alto contenido de nitrógeno, fósforo y potasio.

El afluente proveniente de la salida inferior de la cámara de digestión, tiene un porcentaje de sólidos totales alto, debido a que está formado por material inerte, mientras que, por el rebosadero salen natas que se acumulan en la superficie dando un porcentaje de sólidos totales bajo. Debido a esto, es necesario que las descargas se alternen unos días por el rebosadero y al siguiente por la salida inferior, con objeto de mantener un equilibrio en el porcentaje de sólidos totales de la masa interna.

Volumen del digestor

Se sabe por la experiencia llevada a cabo en el Instituto de Investigaciones Eléctricas que se han obtenido 300 litros de biogás por Kg. de estiércol seco. (La producción de gas fue registrada en un medidor de gas comercial marca ---- Kromshroeder clase 5, vol. $5 \text{ m}^3/\text{h}$ aire, presión máxima 500 mm. de columna de agua).⁴⁰

Se sabe que se tendrá un mínimo de 500 Kg. disponibles de estiércol húmedo, en el que se considera un 20% de sólidos totales; para reducir a un 8% de sólidos la mezcla se requiere de 750 Kg. de agua, lo cual hace un total de carga diaria de 1250 Kg. Con lo que tendremos una producción de gas de 30000 litros diarios, es decir, 30 M^3 . Tomando en cuenta aproximadamente 30 días de tiempo de residencia, la carga total será de 37500 Kg., que expresada en volumen equivalente a 36585 litros (considerando una densidad promedio de la mezcla de 1.025 g/cm^3). Durante el proceso de fermentación anaeróbica, la mezcla aumenta de volumen por lo menos en un 5%, razón por la cual el volumen del digestor será de 40 M^3 (incluyendo el domo o campana - que permite que al elevarse el gas, se concentre en la sección de salida).

40 Santander, F, Mandujano, Félix Martínez. Diseño, Construcción y Operación del Digestor Comunal de Desechos Orgánicos. Boletín IIE/FE-A2/13. Instituto de Investigaciones Eléctricas. Agosto de 1979.

Las dimensiones de la cámara de digestión están en función de la cantidad de estiércol disponible y ésta, a su vez, depende del tipo de ganado, alimentación, clima, peso del animal, edad y otros factores. Se puede decir, que en promedio se tiene que una vaca para producción de leche, más o menos desarrollada, produce alrededor de 25 Kg. de estiércol húmedo. De esta manera, sabiendo el número de cabezas de ganado en un rancho, se conocería la producción aproximada de estiércol disponible.

Después de haber hecho los cálculos adecuados y de acuerdo a las necesidades, se propone una cámara de digestión de:

- Longitud (altura) de 8 metros
 - Diámetro de la base de 2.5 metros
- y un domo en la parte media del cilindro horizontal que actúa como cámara receptora.

- Longitud (altura de 0.8 metros
- Diámetro de la base de 1 metro

con lo que se obtiene un volumen total de:

$$\begin{aligned}
 \text{Volumen total} &= \text{Volumen de cámara} + \text{Volumen de domo} \\
 &= \pi r^2 h_c + \pi r^2 h_d \\
 &= 3.1416 \times 1.25^2 \times 8 + 3.1416 \times 0.5^2 \times 0.8 \\
 &= 39.2699 + 0.6283 \\
 &= 39.8982 \text{ M}^3
 \end{aligned}$$

Por lo que se tiene un volumen total del digestor de aproximadamente 40 M^3 de capacidad (Ver fig. 16).

El recipiente que actúa como cámara de digestión opera a presiones muy bajas y con temperaturas máximas de 40°C ., por lo que, para su construcción, se debe usar material comercial, cuya lámina se especificará según el presupuesto de que se disponga. En el caso de calcular el espesor de lámina para el recipiente se deben tomar en cuenta parámetro como la presión de

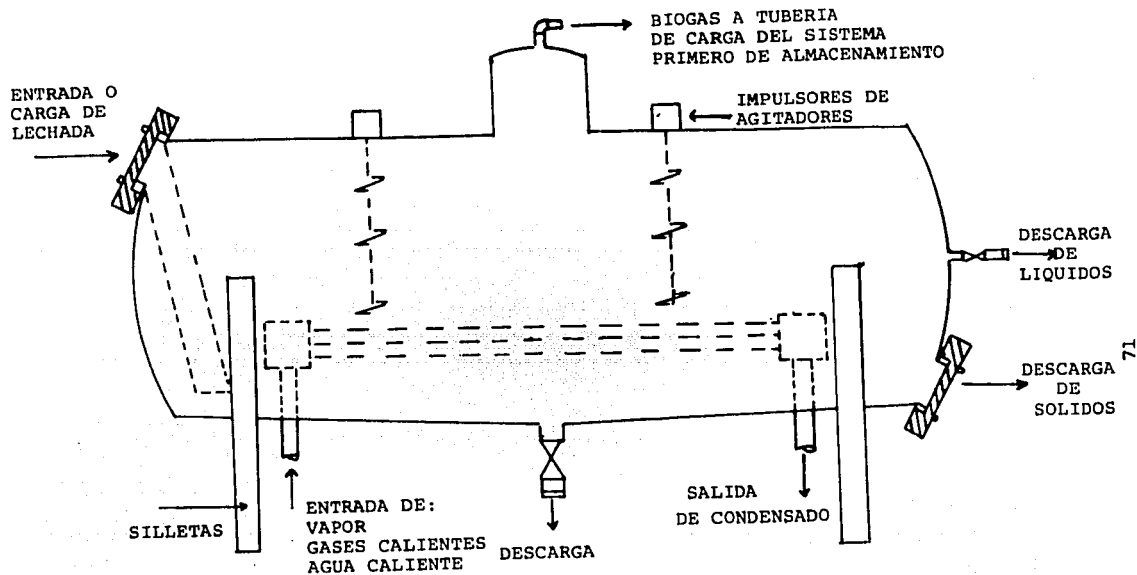


FIG. 16- A CAMARA DE DIGESTION.

ACOT: METROS

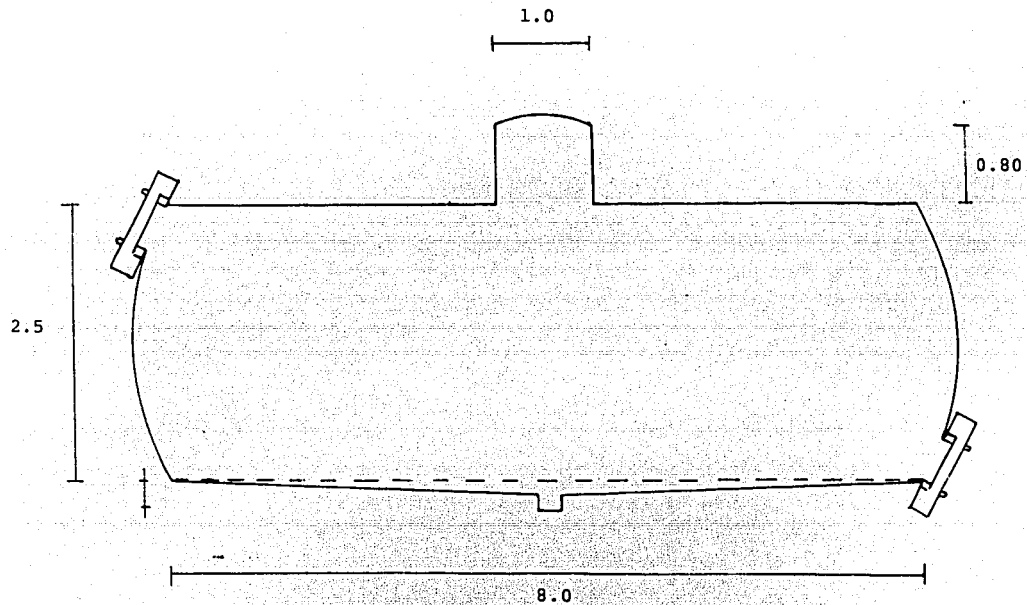


FIG. 16-B CAMARA DE DIGESTION

operación, diámetro, esfuerzo máximo permisible, eficiencia de soldadura, tolerancia a la corrosión, redondeadores a espesores comerciales y factores propios del cálculo. Asimismo, se puede calcular el espesor de lámina para las tapas planas o toriesféricas, según sea el caso. Algunas casas que se dedican a la construcción de recipientes, cuando hacen su presupuesto, multiplican el costo de pailería (equivalente al costo de producción) por el peso en Kg. del material. Este último, lo obtienen multiplicando el volumen del material (área total x espesor) por la densidad del material.

5.2 DESCRIPCION DE EQUIPO Y ACCESORIOS

Contenedor de gas.

Se está considerando que el consumo del gas es inmediato, pero no necesariamente al mismo ritmo que la producción, se acopló un sistema de almacenamiento del gas.

El biogás que sale de la cámara de digestión a una presión máxima de 500 mm. de columna de agua ($0.05 \text{ Kg/cm}^2 - 0.048 \text{ atm}$), se conduce a través de tubería de cobre de 1/2" hasta los tanques receptores de gas.

Se pueden tener dos receptores de biogás, mientras el tanque lleno se utiliza, el recipiente contrario se encuentra en proceso de llenado y así alternativamente.

El tanque receptor de biogás consta de dos tanques de forma cilíndrica colocados verticalmente y encontrados (boca a boca). El tanque inferior puede ser de asbesto (tinaco comercial) porque su contenido es agua y ésta no permite las fugas de gas, además de su bajo costo. En la parte inferior (base) de este tanque, en su parte central tiene una tubería vertical de cobre que conduce el biogás. Esta tubería vertical y central de cobre, sobresale de la boca del tanque 15 cm. (mismos que no están en contacto con el agua).

El tanque superior puede ser de hierro laminado o de acero (especificados según costo). Este se introduce en el tanque inferior boca abajo y queda sumergido en agua. Asimismo, lleva colocados tres rodamientos a 120° cada uno; éstos giran y se deslizan sobre rieles laterales, con lo que tiene un movimiento vertical. Este movimiento, se realiza conforme el gas entra por la tubería colocada dentro del tanque inferior. Sobre los rieles se tiene un tope que impide la ascensión del tanque.

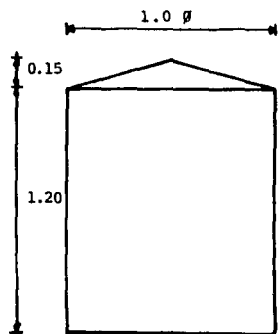
Una vez hechos los cálculos correspondientes para el caso particular puede tener el receptor de gas:

Tanque inferior:	Diámetro	de 1.10 M.
	Altura	de 1.40 M.
Tanque superior:	Diámetro	de 1.00 M.
	Altura	de 1.20 M.
	Tapa cónica con 0.15 m. de altura.	

En las figuras 17, 18 y 19 se hace una descripción de lo anterior.

Intercambiador de calor.

La temperatura es un parámetro importante a controlar dentro de la cámara de digestión. Afecta la rapidez con que se descompone el material y la cantidad de gas generada con un lote determinado. (Cuando se carece de un intercambiador de calor, es necesario aislar la cámara de digestión - muros huecos rellenos de paja, hojas secas o aserrín de madera, por ejemplo-, la cual se puede enterrar, lo que provoca que en épocas cálidas, aumente la producción de gas y sea conveniente agregar una mayor cantidad de materia prima por carga, en el caso de digestores de carga continua; en el caso de carga por lotes, es conveniente acortar el ciclo de digestión. En temperaturas inverna-



ACOTACION EN METROS

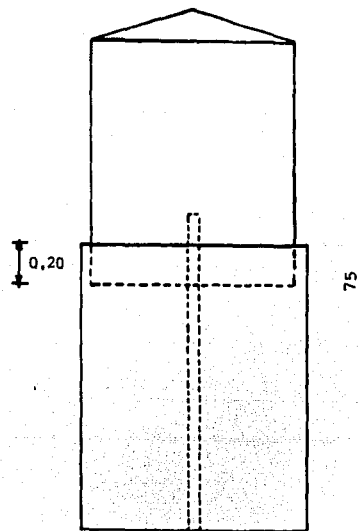
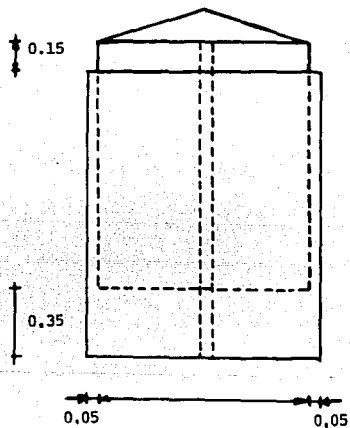
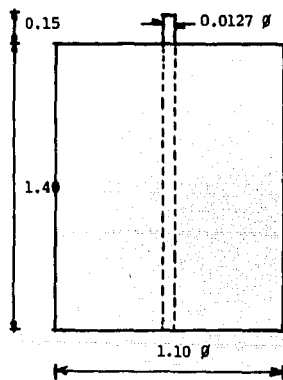


FIG. 17 CONTENEDOR DE GAS

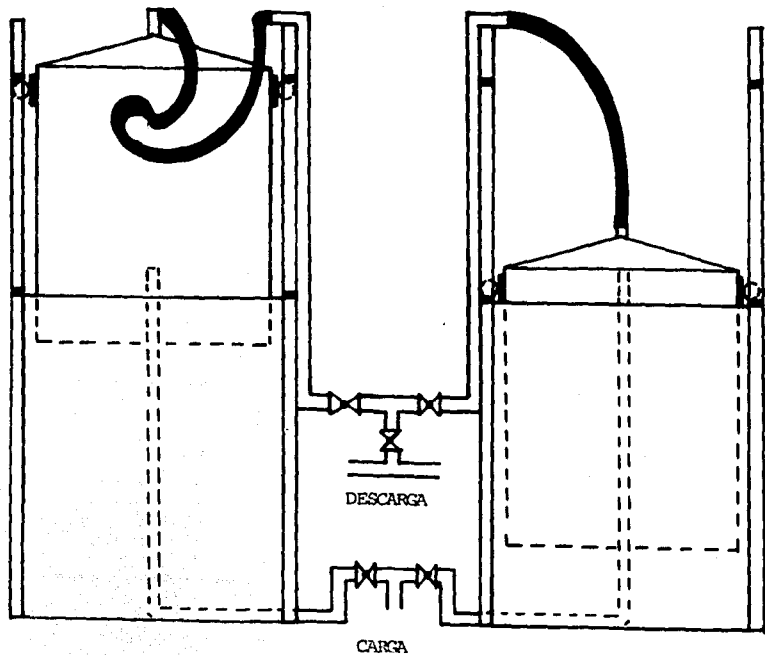


FIG. 18 SISTEMA PRIMERO DE ALMACENAMIENTO

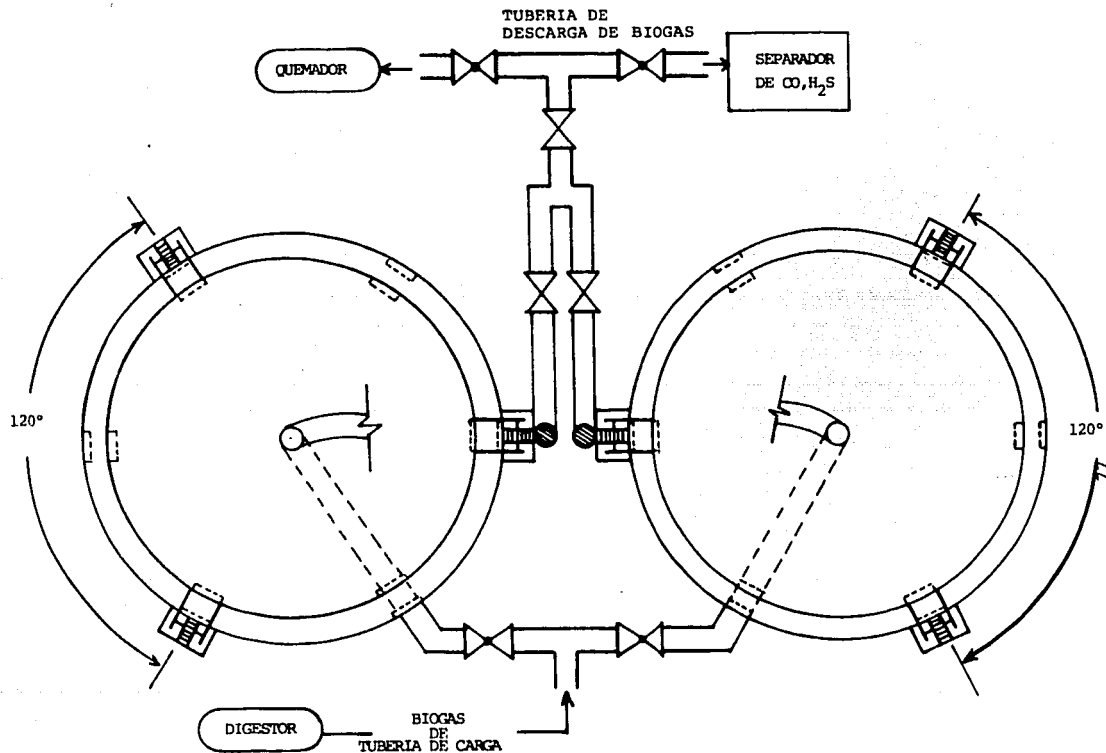


FIG. 19 SISTEMA PRIMERO DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION DE BIOGAS

les ocurrirá lo contrario).

En el caso de usar un intercambiador de calor, se puede colocar un haz de tubos dentro del digestor, en los cuales puede circular vapor proveniente de una caldera cuyo quemador utilice gas metano; también pueden circular en los tubos gases de escape de algún motor térmico accionado con metano. Se debentener en cuenta todas las pérdidas de calor que ocurren por convección y por radiación, ya que es necesario mantener la temperatura interior de la cámara de digestión (35 a 40°C) aún cuando la temperatura exterior descienda considerablemente. Finalmente se calcula el número de tubos y sus dimensiones.

Accesorios e instrumentación.

La cámara de digestión requiere de un manómetro que registre la presión en el recipiente; de un indicador de nivel; de termómetro para controlar la temperatura. Es necesario acoplar un medidor de gas comercial que registre diariamente la producción de gas. Conviene tener a disposición, meramente para efectos experimentales (no prácticos) un cromatógrafo de gases que permita de vez en cuando, determinar el contenido en el biogás de metano, bióxido de carbono, oxígeno y nitrógeno con el fin de controlar los porcentajes en la mezcla.

Se debe acoplar al digestor un sistema de agitación, lo que permite mantener la mezcla homogénea y romper las natas superficiales. Se puede seleccionar en el mercado un tipo de agitador recomendable, tomando en cuenta la viscosidad de la mezcla, la temperatura de trabajo, el volumen a agitar, la presión, densidad, porcentaje de sólidos y factores, obtenidos de tablas de los productores. Debido a las dimensiones de la cámara de digestión que se ha planteado, se requiere de dos agitadores (movidos manualmente o por medio de motor eléctrico)

colocados a cada lado entre el domo y el extremo del digestor. Dichos agitadores deben ser colocados de manera adecuada para evitar la obstrucción del serpentín o intercambiador de calor (teniendo en cuenta que, en caso de falta de presupuesto, no llevaría ningún intercambiador de calor, teniéndose que enterrar y aislar la cámara de digestión).

El digestor tiene una compuerta superior para carga y una inferior para descarga. La primera se conecta a la pileta de carga y se conduce por un tubo de diámetro adecuado con cierta inclinación que permite el flujo de la mezcla al fondo. Para el caso particular del digestor dimensionado puede ser un tubo de acero galvanizado de 0.254 m. de diámetro y 2.20 m. de longitud, con una inclinación de 7 grados que facilita el deslizamiento de la carga.

En los tanques receptores de gas se requiere instalar una válvula de seguridad; tubería de desfogue (respiraderos); un manómetro que indique la presión; un termómetro que registre la temperatura. Además, los rodamientos que facilitan el deslizamiento del tanque superior sobre los rieles al aumentar la presión del gas almacenado; tubería y válvulas para gas; medidores de flujo.

Se requerirá de un compresor, por lo que se deberá tomar en cuenta para su selección, la presión absoluta de admisión, la presión absoluta de escape, el volumen de gas aspirado y otros factores. El compresor requerirá de manómetros, reguladores y medidor de flujo.

Se debe tomar en cuenta una pileta de carga, en ésta se realiza la mezcla de los desechos con agua caliente con el fin de obtener la proporción de sólidos y la temperatura de operación deseadas. Esta debe encontrarse ubicada en un extremo del digestor y a un nivel superior; debe tener una conexión directa a la compuerta de carga del digestor. Para el acceso a la pileta de carga se puede contar con una rampa. Las dimensiones de

la pileta y sus materiales están en función de las necesidades y disponibilidades, así como del presupuesto.

Además, conviene tener una pileta de descarga en el extremo opuesto inferior a la alimentación y que colecta los desechos degradados a la salida del digestor. Cuenta con dos filtros con la finalidad de separar los sólidos del material digerido. Los filtros pueden ser de malla de alambre de diferente calibre y los líquidos filtrados pasan a una pileta de sedimentación; posteriormente, por medio de un rebosadero, llegan a una cisterna donde son almacenados para su uso posterior.⁴¹

Finalmente, no debe pasar desapercibida la necesidad de tener un calentador de agua comercial (cuyo quemador utiliza el gas metano) que proporcione agua caliente de manera constante.

Asimismo, válvulas para gas, de compuerta (para el digestor), tubería de cobre galvanizada y de plástico (flexible), codos de 90° y 45°, coples, nipples, abrazaderas, manguera.

Desde luego, también el material para obra de construcción civil.

41 Santander, Mandujano, Félix, Martínez. Diseño, construcción y operación del Digestor Comunal de Desechos Orgánicos. Boletín IIE/FE-2/13. Inst. Inv. Eléctricas. Agosto 1979.

CAPITULO VI

APROVECHAMIENTO DE LOS PRODUCTOS DE LA DIGESTION

6.1 ANTECEDENTES DE UTILIZACION

La descomposición anaeróbica es uno de los pocos procesos naturales que no se han explotado plenamente hasta hace poco tiempo. Pasteur debatió en cierta ocasión las posibilidades de producir metano a partir de estiércol animal. Y (según un informe publicado por China el 26 de abril de 1960), los chinos utilizan desde hace décadas "lagunas cubiertas" para suministrar combustible de metano a las comunidades y las fábricas. No obstante, el primer intento hecho para construir un digestor con el fin de obtener metano de desechos orgánicos (estiércol de vacas), parece que se produjo en Bombay, India, en 1900. Hacia esa época, las plantas de aguas negras comenzaron a digerir los sedimentos de alcantarillado para mejorar su calidad. El éxito de esas plantas hizo que se iniciara una gran cantidad de experimentos de laboratorio en pequeña escala, durante los años de las décadas de 1920 y 1930 (muchos de ellos los resume C. Acharya, Preparation of Fuel Gas and Manure by Anaerobic Fermentation of Organic Materials. Icar Research Series No. 15 (Nueva Delhi, India: Indian Council of Agricultural Research, 1952).

Se sabe que durante la segunda Guerra Mundial, la escasez de combustible en Alemania obligó a que se desarrollaran plantas de -metano en las zonas rurales, donde se utilizó el gas para el funcionamiento de los tractores. La idea se extendió por Europa Occidental; pero se apagó cuando volvió a disponerse de combustibles fósiles (aunque, en la actualidad, muchos agricultores de Francia y Alemania sigue utilizando digestores domésticos para obtener su proprio gas metano para combustible).

Actualmente, el enfoque de las investigaciones sobre biogases y digestores de materias orgánicas se centra principalmente en la India. El hecho de que se haya dado mayor impulso en la India, fue la necesidad apremiante que tenía un país en desarrollo de elevar el nivel de vida de sus campesinos pobres. En la India, las vacas producen cerca de ochocientos millones de toneladas de estiércol al año; casi la mitad se quema para obtener combustible y, en esa -forma, se pierde como combustible, muy necesario.⁴²

⁴² C. Acharya, Organic Manures. Research Revisión Series, boletín No. 2 (Nueva Delhi, India: Indian Council of Agricultural Research, 1952).

El problema de como obtener combustibles y fertilizantes baratos, a nivel local, produjo varios estudios del Indian Agricultural Research Institute, en la década de 1940, para determinar la química básica de la descomposición anaeróbica. En la década de 1950 se desarrollaron modelos de digestores simples, apropiados para los hogares aldeanos. Esos primeros modelos establecieron claramente que las plantas biogas podían: a) proporcionar iluminación y calor en las aldeas, eliminando la necesidad de importar combustibles, quemar estiércol de vaca o desforestar las tierras; b) proporcionar un fertilizante rico a partir de los desechos digeridos, y c) mejorar las condiciones sanitarias, proporcionando recipientes de digestores herméticos al aire, de modo que se reduzcan las enfermedades provocadas por los excrementos animales expuestos al aire libre, que actúan como focos de infección.

Los campesinos hindúes utilizan tradicionalmente "boñigas de vaca" como combustible. Aunque ese estiércol proporciona suficiente calor para la calefacción y la cocina, cuando se quema, su utilización ofrece dos desventajas. El estiércol produce un humo muy desagradable, que hace llorar los ojos y contamina la atmósfera y, por otra parte, al utilizar el estiércol de este modo, no quedan residuos que se puedan utilizar para la fertilización de las tierras. En un país subdesarrollado y tan densamente poblado como la India, privar a las tierras de fertilizantes indispensables puede producir una grave escasez de alimentos.

Sin embargo, esas dos desventajas se superan cuando el estiércol fermenta en lugar de quemarse. No hay humo mal oliente y los sedimentos del biogas que se retiran del digestor y se extienden sobre las tierras que impulsan a las plantas de cultivo carentes de nutrientes, hasta el punto que los rendimientos por hectárea se duplican o triplican, al tiempo que mejora la calidad de los cultivos.

En la India, como en cualquier otro país subdesarrollado, se considera que el gas metano es el segundo subproducto en importan-

cia, mientras que en Estados Unidos y Europa Occidental, donde se utilizan por lo general fertilizantes comerciales, se considera la energía (el gas) como la razón principal para popularizar las plantas de biogás. En México, es muy importante el fertilizante activo, pero también en las zonas rurales del país, se requiere de un energético accesible y barato.

En Estados Unidos, donde el problema principal es la eliminación de los desechos, más que el de su empleo, los digestores orgánicos se han limitado a las plantas de tratamiento de aguas negras.^{43,44} En algunos casos, los sedimentos se reciclan sobre el terreno o se venden como fertilizantes.^{45,46} El gas metano se emplea para hacer funcionar bombas y generadores de energía eléctrica en las plantas de tratamiento.⁴⁷ La planta de tratamiento de aguas negras Hyperion, en los Angeles, genera suficiente metano, solo en su tratamiento primario, para hacer funcionar sus veinticuatro motores diesel de 2000 H.P. No obstante tanto los sedimentos como el mismo gas se siguen considerando como desechos cuya eliminación representa un problema.

43 K. Imhoff y G. Fair, Sewage Treatment (Nueva York, John Wiley & Sons, Inc., 1956)

44 K. Imhoff, W. Muller y D. Thistlewayle, Disposal of Sewage and Other Wather - Borne Wastes (Ann Arbor: Ann Arbor Science Publishers, Inc., 1971).

45 M. S. Anderson, Sewage Sludge for Soil Improvement. USDA Circular No. 972, 1955.

46 James P. Law, Agricultural Utilization of Sewage Effluent and Sludge. Bibliografía anotada, Federal Water Pollution Control Administration, U.S. Dept. of Interior, 1968.

47 S. Greeley y C.R. Velzy, "Operation of Sludge Gas Engines", Sewage Works Journal 8 (1936): 57-62.

Mucha información sobre la digestión y las operaciones con digestores en pequeña escala, procede de experiencias en la India, Europa Occidental y Sudáfrica, y de publicaciones periódicas, tales como *Compost Science, Water Swage Work, Soils and Fertilizer, Waste Engineering, Sewage and Industrial Wastes*, de publicaciones de la U. S. Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) y de las *Solid Waste Conferences* -- (Conferencias sobre desechos sólidos). El New York State Department of Health (Departamento de Salubridad del Estado de Nueva York) - publicó un libro, bajo el título de *Manual of Instruction for Sewage Plant Operators*.

Se sabe que los países subdesarrollados, tratan de implementar sistemas que conduzcan a un proceso de "utilización de energía no convencional que beneficie principalmente al sector rural. Se dan casos en China, India, Sureste Asiático y países de América Latina como Colombia, Perú y Brasil donde se trabaja a nivel experimental en el caso de América Latina y muy real y práctico en Chi y la India.

En el caso de México, mucho ha contribuido el Instituto de Ivestigaciones Eléctricas. Particularmente el Ing. Alfonso Félix Almada ha desarrollado la parte relacionada con la utilización del gio. Se tiene en el IIE operando normalmente: estufas domésticas, lámparas de capuchón, un refrigerador de absorción, una planta eléctrica de 1 KW movida por un motor de gasolina de 4 HP, y -- una planta de 16 KW accionada por un motor industrial Volkswagen.

Los campesinos del país o residentes de las zonas rurales pueden conseguir su autosuficiencia ecológica, produciendo parte del combustible y los fertilizantes que necesita, mediante el empleo de una cámara de digestión para la transformación de los desechos orgánicos disponibles. La dependencia total de los combustibles convencionales, sobre todo en las zonas rurales, tiene probabilidad de convertirse en un obstáculo importante en el futuro, ya que, conforme al agotamiento de las reservas y las tecnologías especializadas

vayan haciendo que se eleven los costos de los combustibles fósiles y nucleares. Con lo anterior, el hecho de disponer localmente de energía, coadyuva a la independencia parcial de las fuentes alojadas de suministro de combustibles cada vez más costosos.

6.2 UTILIZACION DEL BIOGAS

El biogás tiene dos formas de utilización. La primera, que es el utilizarlo directamente tal y como sale de la cámara de digestión; se inyecta a quemadores como por ejemplo, estufas, calentadores de agua, lámparas para iluminación, para calor, para quemadores de caldera etc. La segunda, es utilizarlo como combustible en máquinas térmicas, esto implica depurar un poco la mezcla; es decir, desprender el ácido sulfhídrico y el agua que pudieran actuar como agentes corrosivos en los materiales, así mismo el bióxido de carbono; hecho esto, se comprimiría y se almacenaría en cilindros para su utilización. El Instituto de Investigaciones Eléctricas para almacenar el biogás ha adaptado equipos diseñados para gas licuado de petróleo.

El proceso de depuración se lleva a cabo de la siguiente manera:

Para el desprendimiento del sulfuro de hidrógeno o ácido sulfhídrico, se hace pasar el biogás a través de una trampa de limaduras de hierro, mediante la cual quedan eliminadas las trazas de este ácido en el gas.⁴⁸ Para eliminar el agua que es arrastrada por el gas al salir del digestor, se hace pasar por un separador de líquidos o condensador que bien puede ser una camisa de agua. Para eliminar el bióxido de carbono se procede a hacer pasar el gas por agua de cal.

De una manera general, el metano se puede utilizar en cualquier equipo o aparato que emplee gas natural.

⁴⁸ National Academy of Sciences. Methane Generation from Human, Animal and Agricultural Wastes. Washington, D.C. 1977.

Se puede utilizar sin ningún problema en el quemador de la estufa de gas, en la iluminación, la calefacción, en los quemadores de un calentador de agua o bien en el de una caldera etc. Se pueden hacer pequeños ajustes en cualquier aparato de los mencionados, para asegurar una eficiencia óptima del metano como sustituto del gas natural.

En cuanto a su utilización en motores térmicos. Los motores diesel funcionan muy bien con un combustible compuesto por tres partes de metano y una parte de combustible diesel. Se sabe que en la India, Africa y Alemania se ha utilizado metano, con buenos resultados, en motores estacionarios diseñados para consumir combustible diesel o gasolina. Se requieren pequeños ajustes del carburador. Actualmente el Ing. Alfonso Félix Almada en el Instituto de Investigaciones Eléctricas tiene operando un refrigerador de absorción, una planta eléctrica de 1 KW movida por un motor de gasolina de 4 HP. y una planta de 16 KW accionada por un motor industrial Volkswagen. En un experimento de Sharon y James Whiterhurst que realizaron en su granja de Benson, Vermont, construyeron el primer digestor de gas metílico, con el cual hicieron funcionar un tractor de gasolina "John Deere"; se colocó el motor cerca del digestor, se retiró el carburador y se ajustó la manguera procedente de la cúpula de gas sobre el múltiple de admisión; el aire se reguló en forma manual.

El metano presenta dos inconvenientes fundamentales para su utilización en motores térmicos: a) tiene un valor de combustible bajo (896 - 1069 BTU/ft cúbico, en comparación con el gas natural - base de metano o propano - 1050-2200, propano 2200-2600, butano 2900-3400) y b) se necesitan cerca de 5000 lb/pulg² para licuarlo para poder almacenarlo (87.7 pies³ de gas metano = un galón de metano líquido, o bien, un pie³ de gas metano = 9 cucharadas de metano líquido). Por lo que para realizar un trabajo, el metano requiere de gran espacio de almacenamiento. En comparación, el propano se licúa alrededor de 250 lb/pulg².

Los motores de gasolina que trabajen con metano tendran un 25% de eficiencia.

El metano se ha utilizado en tractores^{49,50} y autom6viles⁵¹ Los cilindros de gas que llevan esos vehiculos tienen con frecuencia unos 5 pies de longitud (1.5 m.) por 9 pulgadas de diámetro (22.5 cm.) (1.9 pies³), cargados a 2800 lb/pulg², de tal modo que transportan aproximadamente 420 pies³ de metano (unos 3.5 galones de gasolina).

Aunque se estima que el uso más eficiente del metano sería en motores térmicos estacionarios situados cerca del digestor -- (es decir, compresores, generadores y bombas). Las razones son: a) El calor desperdiciado por el motor se podría recircular en las espirales del intercambiador de calor del digestor, en lugar de dispersarse al aire libre. b) El gas se puede utilizar directamente conforme se produce, sin necesidad de compresores.

Se puede mencionar el caso de John Fry, que el biogás producido por estiércol de cerdo lo utilizó a presiones ordinarias para impulsar un motor Crossley Diesel. El motor diesel hacía funcionar un generador eléctrico y el calor desperdiciado se hacía recircular directamente a los digestores.⁵²

A continuación reproduciremos un ejemplo de The New Alchemy Institute West en el que el metano se comprime exactamente a 1000 lb/pulg.² (a 5000 lb/pulg² se licua) en un pequeño cilindro.

49 F. Schmidt y W. Eggerglues, "Gas From Agricultural Waste", Gas Journal, 279 (1954) p. 2861

50 G. Rosenberg, "Methane Production from Farm Wastes as a Source of Tractor Fuel", Journal of the Ministry of Agriculture (Inglaterra) 58 (1952) p.p. 487-494.

51 K. Imhoff y C. Keefer, "Sludge Gas a Fuel for Motor Vehicles", Water Sewage Work 99 (1952) p. 284

52 John Fry, "Farmer Turns Pig Manure into Horse-Power", Farmer's Weekly, 22 de febrero de 1961 (Bloemfontem, Sudáfrica), p. 16.

Se utiliza para hacer funcionar una rotocultivadora de 6 H.P.

1 hph = 2540 BTU = trabajo efectivo

Valor del combustible del metano = 950 BTU/pie³

TV (volumen del depósito) = cilindro de 60 x 15 cm. =

$$678 \text{ pulg}^3 = 0.39 \text{ pies}^3$$

TP (presión del depósito) = 1000 lb/pulg² = 68 atm

EV (Volumen efectivo) = (TP) (TV) = 26.7 pies³ = 25300 BTU

hp = Caballo de fuerza del motor

hr = Horas de funcionamiento

x = Valor térmico del gas (Btu/pie³)

y = Eficiencia del motor (25%) para los motores de gas ordinarios:

G = Consumo de gas metano (pies³) del motor térmico en general:

$$G = \frac{(\text{hp}) (2540) (\text{hr})}{(x) (y)}$$

de un motor de gasolina que use metano:

$$G = \frac{(\text{hp}) (2540) (\text{hr})}{(950) (0.25)} = (10.7 \text{ pies}^3/\text{hph})$$

para una rotocultivadora de 6 hp.

$$G = (\text{hp}) (\text{hr}) (10.7 \text{ pies}^3/\text{hph}) = (64.2 \text{ pies}^3/\text{hr}) (\text{hr})$$

Tiempo de funcionamiento (OT)

$$\text{OT} = \text{EV}/G$$

$$= 26.7 \text{ pies}^3 / (64.2 \text{ pies}^3/\text{hr}) (\text{hr})$$

$$= 0.416 \text{ hr.} = 25 \text{ minutos/depósito}$$

Trabajo Útil suministrado = 2.5 hph
= 6 350 Btu
= (25 300 Btu/depósito) (25% de eficiencia)

A una eficiencia de compresor del veinticinco por ciento, se necesitarán 0.52 hph para comprimir el gas (1320 Btu). Es decir - serían precisos 1320 Btu para comprimir 25300 Btu de gas que proporciona 6350 Btu de valor de trabajo. Se nota que el sistema no es muy "eficiente", en la medida que el veintiuno por ciento de la energía resultante de trabajo se necesita para la compresión, mientras que setenta y cinco por ciento de la energía disponible se pierde como calor.

Los calentadores directos de agua tienen una eficiencia de aproximadamente setenta por ciento. Los motores de gas tienen una eficiencia de calentamiento de agua de aproximadamente cincuenta por ciento.⁵³

El gas obtenido del proceso de digestión puede utilizarse también en la manufactura de productos químicos. Según Wilson, los gases provenientes del proceso de fermentación pueden emplearse como materia prima cruda en la producción de formalina⁵⁴. En este proceso todos los compuestos de azufre son removidos; se añade vapor de agua y la mezcla de metano (CH_4) y bióxido de carbono (CO_2) se hace pasar sobre catalizador de níquel granulado a 950 °C (1742 °F) para producir monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H_2).

⁵³ K. Imhoff y G. Fair, Sewage Treatment. (Nueva York, John Wiley & Sons, Inc., 1956).

⁵⁴ Disolución al 40% de formaldehído en agua; se usa como desinfectante y preservativo.

El tratamiento de esta mezcla a 2500 lb/ in² de presión sobre catalizador de cromito de zinc los convierte en metanol (CH₃-OH)⁵⁵, el cual es deshidrogenado posteriormente a formaldehído.^{56,57}

Al utilizar el gas a gran escala se requiere de un equipo más sofisticado, y por lo tanto de un equipo de seguridad.⁵⁸

El manejo del gas generado durante el proceso de digestión, implica un gran número de riesgos, ya que el gas es combustible, explosivo y asfixiante. Por ello es necesario instalar dispositivos de seguridad que den la alarma al aproximarse algún peligro o que eliminen y controlen el problema. En torno al digestor o de hecho una Planta Productora de Gas Metano y Fertilizante, se puede instalar un equipo de seguridad consistente en: una trampa antiretorno de llama, relevador de presión, trampa de goteo, quemador de excedente, manómetros, gasómetro y purificador de gas (entre algunos).

- 55 Alcohol metílico o de madera. Principal reaccionante empleado en la fabricación de muchos compuestos orgánicos y como disolvente para lacas, barnices y pulidores. Debido a su bajo punto de congelación, se le empleó como anti-congelante en radiadores de automóviles.
- 56 Aldehído (resultante de la oxidación de un alcohol primario) que proviene de la deshidrogenación del alcohol metílico; es un gas (CH₂O) de olor picante, que se usa en solución acuosa como desinfectante y preservativo, y en la manufactura de resinas y materiales plásticos; también llamado aldehído fórmico.
- 57 Buswell, A.M. "Industrial Fermentations". ED. L.A. Underkofler and R.J. Hickey. Chemical Publishing (1970)
- 58 Pacific Flush Tank Co. "Waste Treatment Equipment", General Catalog. Chicago, Illinois. 1968.

Trampa para llama. Este dispositivo funciona sobre un principio análogo al de una lámpara de minero, enfriando la flama por debajo del punto de ignición. Una trampa para llama bien diseñada y construída tiene las siguientes ventajas: a) Proporciona una protección completa sin necesidad de algún líquido obturador contra el paso de la llama a través de la tubería de gas en caso de estar presentes mezclas explosivas o combustibles. b) Cuenta con elementos para llama con amplios pasos para reducir el atascamiento y las pérdidas de presión, pero suficientemente pequeños para evitar la propagación de la flama. c) Tales elementos para llama son tan robustos que no se rompen mientras impiden una explosión; su material de construcción es resistente al sulfuro de hidrógeno y a otros constituyentes corrosivos del gas de digestión, y son fácilmente removibles en caso de inspección.

Relevador de presión. Este dispositivo de seguridad se coloca sobre una línea que conduce el gas procedente de un sistema de distribución hasta el equipo de utilización del mismo, para mantener una presión constante a lo largo de toda la tubería. Tal dispositivo consiste en una pieza de hierro fundido, en la cual está instalado un diafragma ajustable que es en sí el relevador de presión. El lado superior del cuerpo del relevador debe estar conectado al exterior. Cualquier presión desarrollada en el sistema de tubería de gas, mayor que la presión a la cual fue ajustado el relevador, será transmitida a través del tubo de control hasta el lado inferior del diafragma; éste, al levantarse, acciona la válvula de aluminio sujeta a él, lo que permitirá que el gas pase sin obstáculos a la atmósfera, hasta que la presión retorne a la normalidad.

Trampa de goteo. El gas generado durante la digestión se colecta en el domo del digestor, saturado de humedad a una temperatura de alrededor de 32.2 °C; A medida que el gas recorre tubería subterránea a los tubos instalados en cuartos que están a una temperatura inferior, el condensado se acumula en el sistema; y si no es removido prontamente, interferirá el libre flujo del gas a través de los tubos, medidores y otros dispositivos. Por ello, es que los dispositivos de seguridad llamados trampas de goteo, se instalan en todos los puntos bajos del sistema de tubería del gas

para proporcionar una remoción segura del condensado. Las trampas por goteo se diseñan para operar en sistemas de baja presión de gas, donde la presión máxima no exceda de 24 pulgadas de columna de agua (como es el caso de que se trata).

Quemador de excedente. Este dispositivo consume las cantidades en exceso no utilizables de gas, eliminando con ello riesgos y molestias de un desprendimiento libre a la atmósfera. Consiste en una cámara de combustión con placas desviadoras montada en un pedestal aislado; las aberturas de entrada con mamparas permiten la operación continua de un piloto de gas, facilitando de esta manera la combustión de los excedentes de gas en un amplio rango de flujo.

Manómetros. Mediante estos dispositivos se registra la presión en varios puntos del sistema de tubería de gas y con ello se mantiene un control adecuado de las operaciones.

Gasómetro. Puesto que la medición de la cantidad de gas producido es uno de los índices más importantes del rendimiento de la digestión, se pueden instalar dispositivos especiales para este fin. Se pueden emplear además para determinar los volúmenes de gas quemados como excedente y los que habrán de utilizarse para distintos servicios. Tales dispositivos pueden ser rotámetros, venturímetros, medidores de orificio o medidores del tipo de desplazamiento rotatorio.

Purificadores de gas. La presencia de ácido sulfhídrico en el gas de digestión en cantidades superiores a 0.007 libras por 100 pies cúbicos de gas y acompañados de vapor de agua condensado, provocan una rápida corrosión en los elementos del sistema. Por ello se hace necesario como medida preventiva el empleo de purificadores o "lavadores de gas", que consisten en una cámara metálica con diversos compartimientos conteniendo una esponja compuesta por rebabas de óxido férrico y virutas de madera dura.

6.3 UTILIZACION DE SEDIMENTOS

Las pruebas hechas por investigadores en la materia, sugieren que para muchas plantas acuáticas y terrestres, el amonio puede resultar más valioso como fuente de nitrógeno que el nitrógeno oxidado; en el suelo, tiene muchas menos probabilidades de lixivarse⁵⁹ y es el más capaz de fijarse a las partículas de intercambio (arcilla y humus). De manera similar, hay ciertas algas acuáticas importantes que parecen capaces de utilizar el amonio con mayor facilidad que los nitratos.⁶⁰ En general esto constituye una inversión de la creencia anterior de los científicos en fertilizantes, en el sentido de que el nitrógeno oxidado representaba siempre la forma más asequible de nitrógeno para las plantas. Debido a todo esto, se ha sugerido que los sedimentos líquidos digeridos producen un incremento de nitrógeno comparable al de los fertilizantes inorgánicos en cantidades equivalentes.⁶¹

Casi toda la información que muestra el poco valor de los sedimentos como fertilizantes, se ha basado en residuos de aguas negras municipales. Constituye una mala medida del valor de fertilización de los sedimentos digeridos en general. (En los tratamientos municipales se deslavan todos los afluentes líquidos ricos en fertilizantes). En un caso,⁶² se descubrió que los sedimentos digeridos de aguas negras contenían solo aproximadamente la mitad del

59 Tratar una sustancia compleja por el disolvente adecuado para obtener la parte soluble de ella.

60 Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Nitrogen and Soil Organic Matter (Londres: National Agriculture Advisory Service, Her Majesty's Stationery Office, 1964).

61 E. Coker, "The Value of Liquid Digested Sludge", Journal of Agricultural Science 67 (1966) p.p. 91-97.

62 K. Imhoff y G. Fair, Sewage Treatment (Nueva York, John Wiley & Sons, Inc., 1956).

nitrógeno de las aguas negras frescas, mientras que en otro punto⁶³, se descubrió que el estiércol digerido de cerdo tenía 1.4 veces más nitrógeno que el estiércol fresco de cerdo. Se han obtenido resultados similares, utilizando estiércol digerido de pollo.

Todos los sedimentos del digestor se pueden reciclar en una gran variedad de formas, tanto en tierra, como en el agua y los cultivos de estanques.

Utilización de sedimentos a suelos.

La aplicación de sedimentos digeridos a los cultivos sirve básicamente para dos fines, puesto que actúa tanto como fertilizante como acondicionador del suelo. El humus de sedimentos, además de proporcionar nutrientes a las plantas, beneficia al suelo, al incrementar su capacidad de retención de agua y mejorar su estructura.

En la aplicación de los sedimentos al suelo, debemos tomar en consideración: 1) Los sedimentos digeridos frescos, sobre todo de estiércol, contienen grandes cantidades de amoníaco y, en ese estado, pueden actuar como fertilizante químico, obligando a las plantas a tomar grandes cantidades de nitrógeno e incrementando la acumulación de compuestos de nitrógeno tóxicos.^{64,65} No hay pruebas directas de esto; pero existe la posibilidad. Por esta razón, quizá sea mejor dejar que los sedimentos "envejeczan" unas cuantas semanas al aire libre (en barriles de petróleo, albercas de plástico, etc. etc.), o bien, en un recipiente cerrado, durante unos cuantos meses, antes de utilizarlo en los cultivos. Cuanto más fresco sea, tanto más conveniente será que lo diluya en --

⁶³ E.P. Taiganides, "Characteristics and Treatment of Wastes from a Confinement Hog Production Unit", Ph. D. dissertation, Iowa State University Science and Technology, Agricultural Engineering, 1963. Disponible de University Microfilm, Inc., Ann Arbor, Michigan, No. 63-5200, 177 páginas.

⁶⁴ A. Wolff y A. Wasserman, "Nitrates, Nitrites, and Nitrosamines", Science 177 (1972) p.p. 15-18.

⁶⁵ H. Walters, "Nitrate in Soil, Plants, and Animals", Journal of the Soil Association 16 (1970) p.p. 1-22.

agua, antes de su aplicación. 2) El uso continuo de sedimentos digeridos en una zona tiende a hacer que los suelos se vuelvan ácidos. Quizá sea conveniente agregar un poco de piedra caliza o dolomita, a intervalos regulares, a las parcelas fertilizadas con sedimentos digeridos, permitiendo al menos que pase un intervalo de dos semanas entre aplicaciones para evitar las pérdidas excesivas de nitrógeno. Desgraciadamente la piedra caliza tiende a hacer que se evapore amoníaco, de modo que se puede experimentar una pérdida temporal de nitrógeno, al aplicarlo en las parcelas abonadas con sedimentos. 3) A diferencia de los sedimentos municipales digeridos, los procedentes de desechos agrícolas no contienen grandes cantidades de sales o metales pesados, por lo que existe poco peligro de aplicarlos en exceso a lo largo de un período.

No obstante, es preciso tomar en consideración la estructura del suelo. Si contiene una gran cantidad de arcilla, los sedimentos tenderán a acumularse y presentarán probablemente problemas en la zona de las raíces de las plantas. En general, al principio se debe tener cuidado con las parcelas abonadas con sedimentos hasta que se familiarice con el comportamiento de los sedimentos.

En resumen, el sedimento digerido tiene varias características que lo hacen más conveniente como fertilizante que el estiércol fresco. La mejor ventaja es la cantidad mayor de nitrógeno que se estabiliza y se pone a disposición de la tierra mediante el proceso de digestión anaeróbica. La lechada de biogás es una fuente magnífica de humus y, por ende, un buen material para el mejoramiento de suelos. Otra ventaja adicional de este fertilizante es que la lechada digerida, a diferencia del estiércol fresco original, no tiene olor desagradable, ni contiene bacterias patógenas o semillas de malas hierbas, puesto que la digestión en la planta las elimina por completo.

Utilización de sedimentos en estanques.

Básicamente encontramos tres maneras de utilizar los cultivos en estanques: a) Cultivos hidropónicos b) Cultivos de peces, algas-sedimentos y c) Sistemas de metano-algas-sedimentos.

a).- Cultivo hidropónicos con sedimentos. Hidroponía es el proceso de cultivar plantas directamente en una solución nutritiva, en lugar de hacerlo en la tierra. Los nutrientes pueden consistir en sales solubles (o sea, fertilizantes químicos), o bien, en desechos orgánicos líquidos, tales como los afluentes y los sedimentos digeridos. Las plantas cultivadas hidropónicamente en soluciones enriquecidas con sedimentos digeridos, pueden servir para muchos fines en las operaciones de los digestores orgánicos: 1. Pueden eliminar el costo y la energía del transporte de fertilizantes líquidos a las tierras de cultivo, puesto que es posible tener los cultivos cerca de los digestores. 2. Tienden a ser más productivos que los cultivos acostumbrados en tierra, por lo que pueden servir como fuentes de alto rendimiento de forrajes, abono compost, abono superficial y ensilaje. 3. Pueden servir como fuentes convenientes de alto rendimiento de materias primas, para el digestor propiamente dicho.

Toda la información sobre la utilización de los sedimentos para fertilizar plantas acuáticas procede de proyectos para el tratamiento de aguas de desecho en las zonas de escurrimientos o "lagunas de aguas negras"^{66,67}. Algunas plantas por ejemplo, los jacintos acuáticos, *Ipomoea repens*, y algunos pastos de la tempo-

⁶⁶ James P. Law, "Nutrient Removal from Enriched Waste Effluent by the Hydroponic Culture of Cool Season Grasses", Federal Waste Quality Administration, Dept. of Interior, 1969.

⁶⁷ H. Iby, "Evaluation Adaptability of Pasture Grasses to Act as Chemical Filters", Farm Animal Wastes, Simposium mayo 5-7 de 1966, Beltsville, Maryland.

rada fría, tales como el centeno, la cañuela y el alpiste, tienen la capacidad de crecer bien en aguas de desecho y absorber eficientemente grandes cantidades de nutrientes, contribuyendo en esa forma al control de las aguas contaminadas. Esos cultivos tienen la ventaja adicional de que son fáciles de cosechar para la alimentación del ganado; de esta manera los nutrientes de los sedimentos se convierten en proteínas animales.

Por lo general, las plantas crecen en estanques poco profundos, llenos de una solución de sedimentos diluidos. El proceso consiste en agregar lentamente sedimentos bajo un lecho de grava que recubre el estanque y cubrirlos con una capa de arena fina. Sobre la arena germinan plantas en recipientes que flotan en el afluente que se filtra a través de las capas de grava y arena. Después de su germinación, los pastos pueden enraizarse y anclarse en la arena y la grava.

b).- Peces-algas-sedimentos. La esencia del sistema de "cultivo acuoso" de peces-algas-sedimentos, consiste en poner sedimento en estanques y estimular el crecimiento de algas. Después, las algas se utilizan para la alimentación de pequeños invertebrados o peces que crecen en el estanque. Esto se realiza en sistemas orientales de cultivos, particularmente en China. Se pueden realizar métodos de cultivo de peces en pequeña escala con fertilizantes orgánicos y cultivos alimenticios de peces invertebrados.^{68,69}

⁶⁸ William McLarney, "The Backyard Fish Farm", Organic Gardening and Farming's Reader's Research Project No. 1, 1973.

⁶⁹ William McLarney, "Aquaculture: Toward and Ecological Approach", en Radical Agriculture, redactado por Richard Merrill (Nueva York: Harper & Row, en prensa.

c).- Metano-algas-sedimentos. En el sistema de metano-algas-sedimentos se cultivan algas verdes en sedimentos diluidos; luego se cosechan, se desecan y se digieren para producir metano para la energía y sedimentos para reciclarlos. Este procedimiento de transformación de la energía solar y los nutrientes de los sedimentos en la energía química del metano, constituye potencialmente un proceso biológico muy rápido y eficiente: 1) Es un sistema nutritivo cerrado, y 2) El índice de giro es extremadamente alto; las materias orgánicas se descomponen con una rapidez relativamente grande, gracias a las bacterias anaeróbicas del estanque y se convierten rápidamente en algas verdes. El sistema completo de metano-algas-sedimentos abarca toda una serie de procesos. Las principales características del sistema son la integración de los cultivos de algas con el gas, de tal modo que los nutrientes y el agua se reciclan de un proceso al otro. (ver figura 20)

La mayor parte de la información relacionada con este sistema se ha desarrollado en la Universidad de California, en Berkeley, de tal modo que ofrece un potencial real para las propiedades agrícolas en pequeña escala o las granjas pequeñas.^{70,71}

En la figura 21 y 22 se puede apreciar un esquema de utilización de biogás y sedimentos.

⁷⁰ John, Fry, "Manure Smell Furnishes Farmstead's Power Needs", National Hog Farmer 6 (1961) p.3

⁷¹ Clarence G. Golueke y William J. Oswald, "Harvesting and Processing Sewage - Grown Planktonic Algae", Journal of the Water Pollution Control Federation, 1965.

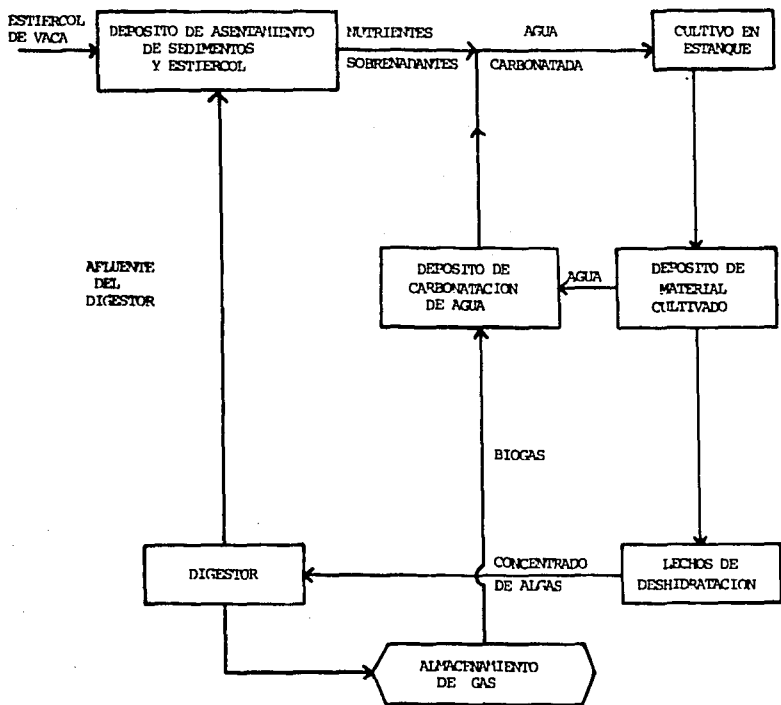


FIG. 20. SISTEMA DE CONVERSION DE METANO - ALGAS - SEDIMENTOS

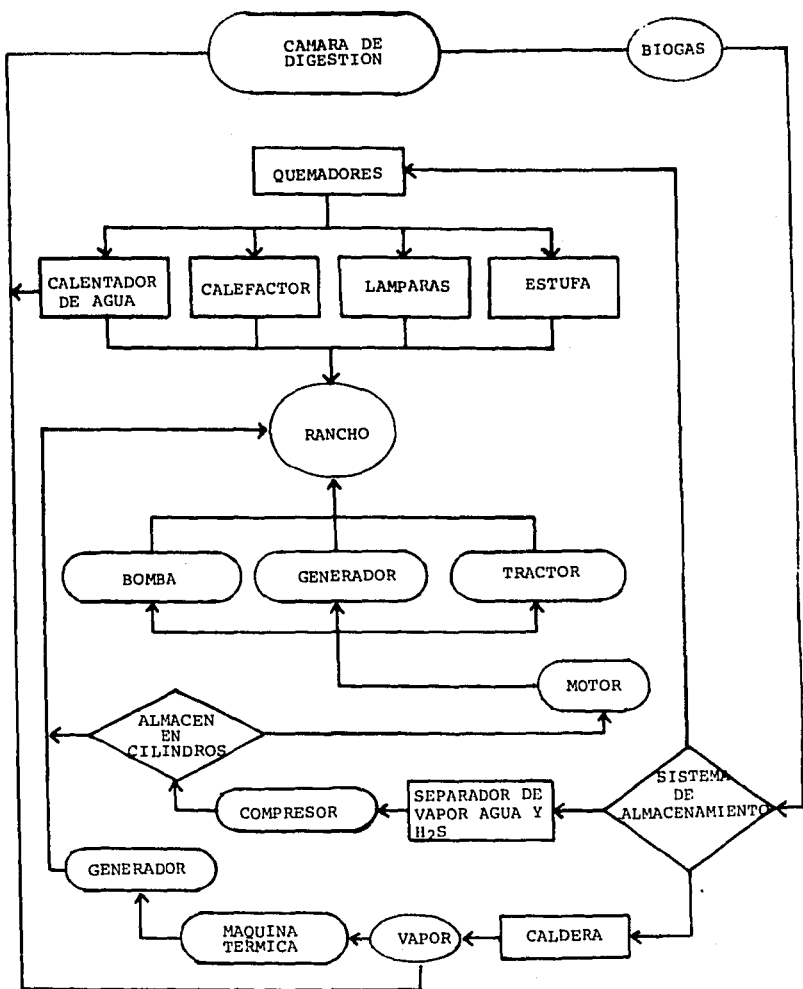


FIG. 21 UTILIZACION DE BIOGAS.

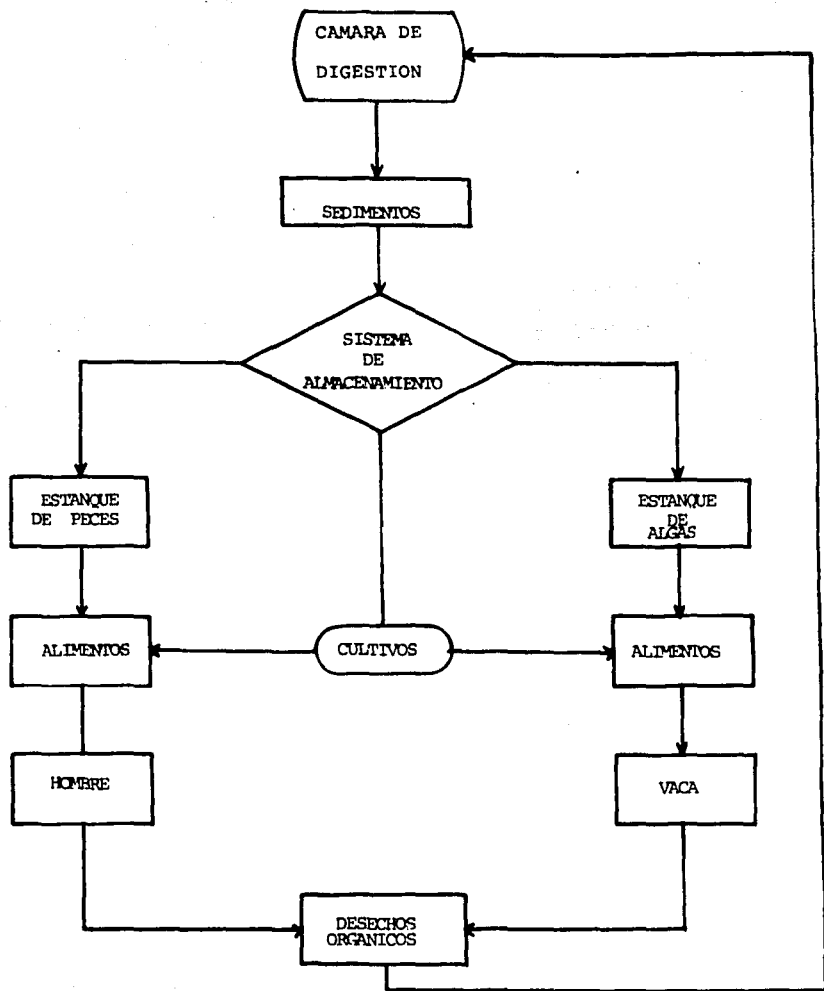


FIG. 22. UTILIZACION DE SEDIMENTOS.

CONCLUSION

En la mayoría de los casos, todos los desperdicios orgánicos acumulados y abandonados al aire libre, representan focos de infección que son causa de intensa proliferación de organismos que transmiten enfermedades; además, el proceso de descomposición es fuente de contaminación ambiental provocando malestares por el aire respirado.

Pero lo anterior se elimina cuando todas las materias orgánicas frescas se digieren en un recipiente hermético al aire, las bacterias anaeróbicas las descomponen en sustancias simples y químicamente estables. Entre los productos finales se incluyen el gas metano y un excelente fertilizante. De esta manera, se mejoran las condiciones sanitarias, de tal forma, que se reducen las enfermedades provocadas por los excrementos animales expuestos al aire libre.

Se ha querido con el presente trabajo, dar una introducción general al conocimiento de cómo se puede utilizar el estiércol de vaca de manera más provechosa. Es bien sabido que existen complejos agropecuarios en el país, que presentan problemas graves de recolección, almacenamiento y utilización del estiércol. Por otro lado, las zonas rurales tienen a su alcance un combustible y un fertilizante.

El aspecto fundamental de lo presentado en este trabajo, es la disponibilidad de energía con materias disponibles localmente.

En ningún momento, el estiércol de vaca utilizado como energético, sustituye a las fuentes energéticas convencionales; tan sólo contribuye a la independencia parcial de combustibles y fertilizantes cada vez más costosos.

Es sabido que, en las zonas urbanas no hay problema de disponibilidad energética, pero en las zonas rurales sí existen. La energía en las zonas rurales es destinada principalmente para riego, molienda y mezclado, bombeo de agua doméstica, iluminación y aparatos de baja potencia, refrigeración, calefacción, calentamiento de agua, cocina, cultivo y terrenos.

Se espera que a través de la exposición hecha, se motive a nuevos grupos de trabajo interesados en investigar alternativas energéticas.

Queda abierto un campo no muy explorado en México, sobre el estudio del aprovechamiento de desechos orgánicos (basura): estiércoles, residuos animales, aguas negras frescas y desechos vegetales. Además, un campo aún menos analizado, como el de la utilización de los materiales digeridos en alimentos para ganado.

BIBLIOGRAFIA

Mandujano, M.I.; Martínez, A.M. "Comportamiento del Estiércol Porcino en la Obtención de Biogás por Fermentación Anaeróbica". Boletín IIE/FE-A2/8. Instituto de Investigaciones Eléctricas Noviembre, 1978.

Mandujano, Alvarez Ma. Isabel. "Evaluación de Mezclas de Estiércol de Bovino y Esquilmos Vegetales para Obtención de Biogás por Fermentación Anaeróbica". Boletín IIE/FE-A2/12. Instituto de Investigaciones Eléctricas Junio, 1979.

Sánchez, S; Félix, A; Martínez, A.M. "Construcción y Costos del Digestor Familiar de Desechos Orgánicos". Boletín IIE/FE-A2/5. Instituto de Investigaciones Eléctricas Diciembre, 1977.

Mandujano, M.I.; Martínez, A.M.; Félix, A.; Sánchez, S. "Informe Final Sobre Operación del Digestor Familiar" Boletín - IIE/FE-A2/11. Instituto de Investigaciones Eléctricas. Abril, 1979.

Santander, F.; Mandujano, Ma. Isabel; Félix, A.; Martínez, - Ana Ma. "Diseño, Construcción y Operación del Digestor Comunal de Desechos Orgánicos". Boletín IIE/FE-A2/13. Instituto de Investigaciones Eléctricas. Agosto, 1979.

Wong, A.; Sánchez, S.; Félix, A.; Martínez, A.M.; Mandujano, M.I. "Evaluación de la Influencia de la Temperatura en la Digestión de Desechos Orgánicos". Boletín IIE/FE-A2/10. Instituto de Investigaciones Eléctricas. Mayo, 1979.

Boletín IIE (Instituto de Investigaciones Eléctricas) Vol.3, Núm.3, Art."Digestores", por Alfonso Félix Almada y Ma. Isabel Mandujano y Art. "En operación un prototipo de digestor comunal", por Felipe Santander. Marzo, 1979.

Boletín IIE (Instituto de Investigaciones Eléctricas) Vol.2, No. 6 (número especial). Art. "La biomasa como energético", por Gustavo Viniegra y Alfonso Félix. Junio, 1978.

Huppig, Carol Stoner, ed. "Como usar las fuentes de energía natural". ED. DIANA. Primera edición, agosto de 1978, 413 pags.

Buswell, A.M. "Industrial Fermentations", ED. L.A. Underkofler and R.J. Hickey, Chemical Publishing. 1970.

Pacific Flush Tank Co. "Waste Treatment Equipment", General Catalog. Chicago, Illinois. 1968.

Gramms, W., Proctor, D.E. Feasibility of Dairy Manure Stabilization by Anaerobic Digestion. Water and Sewage Works. September pas. 361-364. 1967.

Taiganides E.P., Bauman, E.R., Johnson, H.P. and Hazen, T.E. Anaerobic Digestion of Hog Wastes. J. Agric. Eng. Res. 8 pags. 327-333. 1963.

Meynell, P.J. Methane: Planning a Digester Prism Press, Great Britain, 1976.

Amaya, Roberto Morelos. Manual de procedimientos para el Cálculo, Diseño y Operación de Digestores de Desechos Orgánicos a partir de Estiércol Porcino. Instituto de Investigaciones Metalúrgicas Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 1968.

McCarty, P.L. Kinetics of Waste Assimilation in Anaerobic Treatment In Industrial Microbiology. American Inst. of Biological Science, Washington, D.C. 7 pag. 144. 1967.

WANG Y. FONG. Methane Product-on From High Rate Anaerobic Digestion of Hog and Dairy Cattle Manure. Tesis Maestría. University of Manitoba, Canadá. 1973.

Fry, L. John. Practical Building of Methane Power Plants for Rural Energy Independence. Printed in Great Britain. 1975.

Santander, Felipe H. Velázquez. Obtención de Biogás a partir de Desechos Orgánicos dentro del proyecto "Sistemas Energéticos Integrados" en Comunidades Rurales. Tesis Profesional. México, D.F., 1978.

Acharya, C. Preparation of Fuel Gas and Manure by Anaerobic Fermentation of Organic Materials. ICAR Research Series, No. 15 (Nueva Delhi, India: Indian Council of Agricultural Research, 1952).

Imhoff, K y Fair, G. Sewage Treatment. Nueva York, John Wiley & Sons, Inc., 1956.

Patel, J. Digestion of Waste Organic Matter and Organic Fertilizer and a New Economic Apparatus for Small Scale Digestion. Poona Agricultural College Magazine, India, 1951, pags. 150-159.

Rosenberg, G., Methane Production from Farm Wastes as a Source of Tractor Fuel. Journal of the Ministry of Agriculture. In - glaterra, 1952. 58, pags. 487-494.

Law, James P., Nutrient Removal from Enriched Waste Effluent by the Hydroponic Culture of Cool Season Grasses. Federal Waste Quality Administration, Dept. of Interior. 1969.