

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

FACULTAD DE MEDICINA Y VETERINARIA

REVISION BIBLIOGRAFICA DE LOS DIGESTORES SUS TIPOS,  
FUNCIONAMIENTO Y UTILIZACION PARA EL DESARROLLO AGROPECUARIO

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

MEDICO VETERINARIO Y ZOOTECNISTA

RODOLFO GONZALEZ ZERMEÑO

ASESOR: M.V.Z. MARIA DEL CONSUELO ARANA FLORES

## C O N T E N I D O

	página
1.- INTRODUCCION	3
2.- OBJETIVOS	30
3.- MATERIAL Y METODOS	33
4.- RESULTADOS	98
5.- DISCUSION	103
6.- CONCLUSIONES	106
7.- RESUMEN	110
8.- DIBUJOS Y ESQUEMAS	118
9.- SIMBOLOS Y UNIDADES	138
10.- ASPECTOS ECONOMICOS	140
11.- BIBLIOGRAFIA	143

## INTRODUCCION

- 1.1 ANTECEDENTES
- 1.2 PROBLEMATICA DEL PAIS
- 1.3 DESCRIPCION DEL DIGESTOR
  - 1.3.1 EVOLUCION DE LOS DIGESTORES
  - 1.3.2 FUNCIONAMIENTO
  - 1.3.3 USOS.

## INTRODUCCION

En la Industria Agropecuaria, la rama de la ganadería es una de las más importantes en el país, lo cual ha logrado diferentes niveles de desarrollo y tecnificación.

Esto ha ocasionado actualmente que sus excretas crearan un problema de gran importancia en el desarrollo ecológico.

Desde el punto de vista técnico y agropecuario han hecho que estas excretas, por su mal uso o el conocimiento inadecuado que se tiene sobre los desechos inorgánicos (excremento) no se tengan medidas de sanidad para el control sobre ellas. (1)

Es así como por un lado, tenemos un alto porcentaje de criadores de ganado bovino, ovino, caprino, suino y avícola, donde a nivel familiar son criados y engordados unos cuantos animales en pequeños terrenos rurales y semiurbanos; y por otro lado en algunas regiones de nuestro país, como en el caso de los estados de Jalisco, México, Michoacán, Sinaloa, Sonora, Tabasco y Veracruz, que son los estados de mayor producción ganadera (1,9,13)

Por consiguiente, hemos de mencionar que en el año de 1985 la producción ganadera en el Estado de Jalisco fue la siguiente:

ESPECIE DOMESTICA	CANTIDAD
BOVINOS CARNE.....	2 156 922
BOVINOS LECHE.....	749 935
BOVINOS DE TRABAJO.....	43 308
PORCINOS.....	2 557 684
OVINOS.....	62 433
CAPRINOS.....	282 500
AVES CARNE.....	12 872 353
AVES POSTURA.....	24 313 739

Además que existen grandes concentraciones que albergan gran cantidad de animales alojados en instalaciones apropiadas y altamente tecnificadas con un fuerte adelanto en los sistemas de limpieza, alimentación y confinamiento (7,24)

Estas altas concentraciones de ganado en áreas relativamente pequeñas nos provocan fuertes problemas ambientales que nos ocasionan un foco de insalubridad general que incomoda y produce diversos trastornos sanitarios a los grupos humanos establecidos en las cercanías de estas zonas ganaderas. (9).

Históricamente el problema ambiental ocasionado por las grandes cantidades de desechos ganadero país se agudizó con la instalación desordenada de

meras granjas y ranchos o explotaciones agropecuarias que ha ido creciendo debido a la falta de planeación, ubicación y distribución.

Así mismo el problema creció y se fortaleció - debido a la casi nula aplicación del Código Sanitario y al desconocimiento de los detalles técnico-científico para establecer las descargas orgánicas así como el empleo de alternativas tecnológicas para el tratamiento y disposición de las excretas (1,2,14).

Esto nos trae como consecuencia una contaminación excesiva de los agentes patógenos como bacterias, parásitos, virus, etc, que contienen las descargas orgánicas del ganado, que por lo general contaminan las aguas - tanto de los rios como de los arroyos, riachuelos, mar, lagos, lagunas y manantiales; esta agua contaminada nos provoca un foco de insalubridad bastante marcado en la actualidad que se transmite al hombre y al ganado.

Con el fin de lograr un tratamiento eficaz y adecuado de las excretas del ganado y estando de acuerdo con los intereses económicos y posibilidades de inversión de los ganaderos. La tecnología a aplicar debe ser sencilla, fácil de operación, eficiente, durable, de poco mantenimiento, redituable y de bajo costo (18,24)

El análisis realizado sobre la situación

del tratamiento de los residuos de las zonas ganaderas de México se hace presente que la solución a este tipo de problema, es un conjunto de alternativas a desarrollar en pequeña, mediana y sobre todo a gran escala que serían:

- Lagunas Aerobias
- Lagunas Anaeróbicas
- Digestores
- Separadores Electro-Mecánicos

Por lo cual la más importante es la de los Digestores. (4,7,9,17,18,24)

Los desechos son los residuos orgánicos últimos de producción y consumo que no han sido utilizados, reciclados o recuperados. Constituyen un subproducto cuyo valor económico de su contenido en materia y energía es menor al costo de su elaboración y transformación para su utilización y por lo tanto son eliminados como desechos que siempre han sido considerados como subproductos inevitables de la actividad agropecuaria, se han limitado a un tratamiento mínimo, e indispensable para su elaboración (4,7,18,24).

Cuando las excretas pueden ser utilizadas en bien de la actividad del hombre, dejan de constituir desechos y se transforman en recursos nuevos potencialmente. La preocupación actual por incrementar la produ

alimenticia, como las políticas para abatir la contaminación ambiental exigen que se busquen soluciones o alternativas a la concepción del manejo tradicional de los desechos orgánicos del ganado, de manera que su valor sea recuperado y así poder ser empleado con beneficio y acorde a las demandas ecológicas con la ayuda de la Fermentación Anaerobia (Digestor). (1,4,7,12,18)

Al proceso de Fermentación Anaerobia puede lograrse mediante la utilización de un sistema herméticamente cerrado y dentro del cual se coloca el material orgánico a fermentar mezclado con agua. Existe un grupo de microorganismos metano bacteriáceos (familia Metanobacteria ce), que al actuar sobre los desechos orgánicos sean vegetales o animales producen una mezcla de gases que en conjunto han recibido el nombre de Biogas. Dichos organismos son anaeróbicos estrictos, es decir, solamente pueden vivir y proliferar en un medio exento de aire y por lo tanto de oxígeno (que se le llama fermentación anaeróbica).

Al ocurrir la fermentación, en ausencia de aire se libera metano, hidrógeno, nitrógeno, bióxido de carbono, monóxido de carbono, oxígeno y trazas de ácido sulfhídrico, de los cuales el metano se presenta en una proporción que va desde un 55 a un 70%. Esta concentración de metano permite que el Biogas que se desprende sea sumamente eficiente, si se utiliza como combustible (5,8,13,17,22)

Por otro lado, los residuos de la fermentación (efluentes) contienen una alta concentración de nutrimentos y de materia orgánica, lo cual los hace susceptibles de ser utilizados como un excelente fertilizante que puede ser aplicado en fresco, ya que el proceso de la "Digestión Anaerobia" elimina los malos olores y la proliferación de moscas. Al respecto Arias Chávez (1978) menciona que contienen no solamente los llamados nutrientes mayores (N,P,K) sino también los menores, grandes concentraciones de vitaminas y hormonas para el crecimiento vegetal y animal. (1,5,13,17,22).

Por otra parte es de hacerse notar que los estudios de la Academia de Ciencias de Schezuan (China), demuestran que la digestión anaeróbica elimina el 95% de los huevecillos viables, por lo que se espera que este sistema contribuya eficazmente a racionalizar la utilización rural de las materias fecales en el medio campesino y contribuya a disminuir el serio problema de parásitos humanos causados por la contaminación ambiental.

En general son bastantes y muy variables los beneficios que se pueden obtener del uso adecuado de los digestores y éstos son los siguientes:

- a).- Producción de Biogas
- b).- Efluentes Fermentados como material de abono (fertilizante)

- c).- Utilización como complemento alimenticio para aves de corral, peces, etc.
- d).- Reciclaje alimenticio para el mismo ganado.
- e).- Restringen la diseminación de parásitos intestinales.

## ANTECEDENTES

Históricamente el problema ambiental se ha marcado bastante en este tiempo, por las descargas orgánicas de los animales que son en gran cantidad, y además por la incoordinación de la adecuada planeación de ranchos y granjas actuales en el País.

Y tomando también en cuenta la casi nula aplicación del Código Sanitario y al desconocimiento Técnico-Científico. Para establecer una norma sanitaria para racionalizar y controlar las descargas orgánicas; así como para el empleo de tecnologías y alternativas para el tratamiento y disposición de los mismos.

Todos estos aspectos se han agravado por la poca disposición de algunos ganaderos para invertir en instalaciones para el tratamiento del estiércol que, en muchos de los casos, para ellos, son instalaciones improductivas según su tradicional forma de operación; sin embargo no toman en cuenta que el hecho de disminuir la cantidad de insectos portadores de enfermedades entre el ganado, el uso inmediato de los residuos como abonos orgánicos, la facilidad en las operaciones de limpieza, etc. -- (que son aspectos que se logran al instalar un sistema de tratamiento del estiércol), justifican una instalación -- adecuada de tratamiento capaz de amortizarse a mediano o largo plazo.

El análisis realizado sobre la situación actual del tratamiento de los residuos en las zonas ganaderas de México hace pensar que la solución a este tipo de problemas es la de desarrollar en pequeña, mediana y, sobre todo a gran escala la instalación del Digestor. Que deberán ser capaces de adaptarse a diferentes condiciones, ya que la situación geográfica y operacional de las explotaciones ganaderas son muy variables.

Otra de las características de esta situación, es que las únicas fuentes de asesoría y asistencia técnica para los ganaderos en cuanto a manejo de estiércol, -- son las empresas extranjeras fabricantes de aereadores, -- separadores de sólidos y otros equipos (algunos fabricantes en el país y otros de importación), los cuales muchas veces no están al alcance de los ganaderos, o bien no son usados por representar inversiones no productivas que --- además causan, a la larga, una dependencia en servicios -- de refacciones y mantenimiento.

Por lo tanto, para el manejo de estiércol se -- usan tecnologías muy precarias, diseñadas y construídas, -- en la mayoría de los casos en forma empírica y en ocasiones instaladas para resolver las necesidades básicas de -- desalojo de los desechos o bien para cumplir con los re-- quisitos establecidos por la Legislación y Reglamentación Sanitaria Locales. Parte muy importante de esta solución -- es la alternativa tecnológica y los servicios de extensio

nismo al alcance de los ganaderos con el uso del Digestor.

El proceso fermentativo es básicamente por bacterias. Las partes básicas de un Digestor serías las siguientes:

- Pileta de carga
- Cámara de Fermentación o Reactor
- Pileta de Descarga
- Gasómetro
- Licor Mixto. Compuesto básicamente por la comunidad bacteriana y el sustrato. (2,4,6, 7,8,10,11,13,19,22,25).

## PROBLEMATICA DEL PAIS

La problemática ambiental del país podemos resumirla en lo siguiente:

La densidad ganadera de algunas regiones de -- México es muy alta. Algunas zonas tienen granjas que en -- conjunto reúnen en total una gran cantidad de millones de ganado, lo cual representa un potencial orgánico residual bastante marcado. A parte que muchas granjas están situadas dentro o en las cercanías de lo centros poblacionales.

En la mayor parte de los casos la disposición de los desechos es inadecuada, pues por lo general éstos son arrojados a terrenos de secado al aire libre o bien a los ríos, arroyos, etc. Esto ocasiona que a varios kilómetros a la redonda, con respecto a las zonas porcícolas se dispersen los fuertes olores ocasionados por el estiércol es estado de putrefacción. Esto nos ocasiona la proliferación excesiva de insectos cuya peligrosidad es la de transmitir enfermedades (a otros animales y al hombre). (7)

Lo increíble es la situación encontrada en las regiones o explotaciones precuarias que, en general, las granjas no disponen de un sistema de tratamiento efectivo para el control de las excretas, así como la contaminación que nos producen éstas.

Es difícil estimar la problemática sobre la destrucción ecológica de las aguas de los ríos y lo que repercute a las diferentes comunidades como las grandes ciudades, pueblos, rancherías, etc. por donde pasa el cauce de los ríos, por ejemplo la propagación de enfermedades, el desequilibrio de la fauna animal y vegetal (7).

Se han efectuado reuniones generales de diferentes representaciones como: Ganaderos, Autoridades Sanitarias, personal de Instituciones Tecnológicas; abarcando el problema de la contaminación presente en cada región, quedando todas las partes de acuerdo en que se necesita y además es de urgencia tomar las medidas necesarias y en el menor tiempo posible para instalar dispositivos que nos permita dar un tratamiento adecuado a los desechos orgánicos producidos.

En principio se hizo alusión de dos métodos de tratamiento viables para aplicarse en las zonas con mayor jerarquía del problema y éstos son: el tratamiento aerobio(lagunas) y anaerobios (digestores) (16).

Las principales reuniones y de las conclusiones fueron: La Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA) reiteró su interés de hacer valer el reglamento sanitario a fin de lograr el uso de algún sistema de tratamiento para los desechos sólidos y líquidos provenientes de las granjas.

En especial se reiteró en el problema de la --  
eliminación de los olores característicos de los dese----  
chos, evitar al máximo la proliferación de los agentes pa  
tógenos, vectores y el crecimiento de moscas y mosquitos.  
Además de no arrojar los desechos orgánicos contaminan---  
tes al río, arroyo, etc. o al menos que sean tratados an  
tes de arrojarlos para evitar la contaminación ecológica\_  
y su desequilibrio.

Además también las instituciones gubernamenta-  
les tanto las Federales, Estatales y particulares, Secre-  
taría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, SEDUE, CONAYT  
Unión de Porcicultores, Unión de Ganaderos, Unión de Avicul  
tores, INIREB, reiteran con los acuerdos antes mencionados  
(1,7,10,14).

## DESCRIPCION DEL DIGESTOR

Un Digestor de Fésechos orgánicos consta de un sistema -- cerrado herméticamente, dentro del cual se coloca el material orgánico a fermentar, mezclado con agua.

Puede estar equipado con un dispositivo para - captar y almacenar el Biogas y otro para cargar y descar- gar la materia prima. En sí es la forma más simple del -- Digestor, pero puede incavirse otro equipo para controlar mejor el proceso, como ejemplo, gasómetros, termómetros, \_ calentadores, termostatos, etc. que se utilizan según las necesidades (fig. 1)

Como se mencionó anteriormente las partes constituyentes básicas de un digestor son:

- Pileta de Carga
- Cámara de Fermentación o Reactor
- Pileta de Descarga
- Gasómetro
- Licor Mixto

Mediante este proceso, el estiércol es sometido a la acción de comunidades bacterianas depuradoras que degradan las grandes moléculas constituyentes del estiércol y las convierten en gases bióxido de carbono  $\text{CO}_2$ , Metano  $\text{CH}_4$ , y biomasa activa.

El estiércol es llevado hacia una pileta de carga donde se diluye y homogeniza con agua posteriormente es introducido al digestor, donde es un medio aeróbico y ocurre la fermentación metánica, que es el proceso biológico básico que permite el tratamiento y estabilización del residuo. Una vez fermentado anaerobicamente el residuo pasa a un sedimentador y una fosa de estabilización - después de los cuales puede ser empleado con fines que se requieran (2,6,8,15).

## EVOLUCION. DE LOS DIGESTORES

El hombre ha tenido por siglos el gas. Gradualmente, los químicos hallaron uso para este gas, que es el resultado de la descomposición orgánica y de la carbonización del Carbón, denominado gas metano, y puede ser útil en determinado proceso de síntesis química.

Investigadores y experimentadores han jugado con máquinas de gas metano por más de un siglo, y se construyeron en realidad y se hicieron funcionar algunos modelos. Antes de la Segunda Guerra Mundial, Japón construyó un gran número de digestores de gas, pero los abandonaron en los años de la postguerra a medida que se disponía más fácilmente de suministros de petróleo baratos. (6).

El incremento de los métodos agrícolas de composteo fue otra área de experimentación por parte de los científicos agrónomos. Se sabía desde hace mucho tiempo que se obtenía un rico fertilizante mezclando estiércoles vegetación en descomposición y desechos de paja, rastrojo, y malas hierbas.

Con la crisis de energía, se han unido estas dos técnicas para crear una enorme fuente potencial de energía. Hoy se llama "Biogas", pero es el mismo viejo gas de los pantanos.

Las técnicas para transformar los desechos humanos, animales y vegetales en gas y fertilizantes son -- sorprendentemente sencillas.

La industria del biogas dió un gran paso adelante en Asia. Un informe especial de una misión de seis naciones informó a la Comisión Económica y Social para -- Asia y el Pacífico (ESCAP) que el enfoque integrado a la planificación de biogas podría producir verdaderos resultados.

Se celebró una reunión de trabajo en Nueva Delhi en el verano de 1975 para fomentar el conocimiento del biogas, y determinar como podrían las naciones iniciar y desarrollar esta fuente de fertilizante y combustible. Al mismo tiempo China convocó a una conferencia nacional sobre el metano.

Lo que es más importante, varios Gobierno nacionales han realizado ahora programas de biogas, como -- Asia, Corea del Sur, India, Estados Unidos, Japón, Singapur, Tailandia, y mucho más avances en China.

China fue el primer país en aprovechar esta -- tecnología, su crecimiento fue dramático y tuvo lugar en la provincia de Szechuan en la China Central, lo que sorprende, pues tambien tienen los mayores pozos de gas natural del País. Para fines de 1974 la provincia tenía -----

100 000 técnicos básicos preparados en la construcción de Digestores y tanques y estuvieron ocupados en la instalación de sistemas de metano a ritmo extraordinario.

Para fines de 1983, decía un informe, que el número nuevos Digestores eran del 200% más elevado que en 1974. En un condado de Szechuan, Mienvang, se dice que -- hay 100 000 tanques Digestores y que el 76% de la población usa metano para cocinar y alumbrar.

Anteriormente 37 de las 46 comunidades del condado carecían de energía (6,21).

Para Szechuan, Smill (1976) cita que el número de Digestores y tanques de fermentación ha ido evolucionando de la siguiente forma:

- En 1972 hubo 800
- En 1973 hubo 300 000
- En 1974 hubo 209 000
- En 1975 hubo 480 000

-- Y para toda china, el mismo autor (Smill -- 1977) informa de 3 a 4 millones de Digestores en operación en el verano de 1977. (6.21).

En la Academia de ciencias de Szechuan, China, demostraron que la digestión anaeróbica elimina el 95% de los huevecillos viables de esquistomas (Smill 1977) (6,21)

En la India el problema del estiércol del ganado es muy fuerte, por esta razón el Instituto de Investigación de Agricultura de la India, comenzaron a desarrollar una planta de Biogas para el aprovechamiento de fertilizante como combustible para el uso doméstico.

Actualmente en México, esta tecnología comienza a adquirir la importancia necesaria debido a la crisis energética y sobre todo al interés de las autoridades estatales y federales en atacar los problemas de contaminación (pecuaria y de agroindustria).

Son diversas las instituciones que se han dedicado al estudio de la digestión anaeróbica, pero la mayor parte de las plantas piloto estuvieron confinadas al área de los propios Institutos y Universidades. En general, -- existe muy poca bibliografía científica generada por Instituciones de nuestro país.

Una de las instalaciones más adelantadas en este proceso es el Instituto Nacional de Investigación de Recursos Bióticos (INIREB) que desde el año de 1978 ha -- trabajado sobre la digestión anaeróbica y poco a poco ha perfeccionado los tipos de Digestores, construyendo en pequeña y grande escala, a nivel de comunidades o granjas -- integradas para aprovechar al máximo las ventajas y beneficios que nos presenta esta nueva tecnología en México. (6,14).

## FUNCIONAMIENTO

Mediante este proceso el estiércol es sometido a la acción de comunidades bacterianas depuradoras que degradan las grandes moléculas constituyentes del estiércol y las convierten en gases: bióxido de carbono y metano  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$  y biomasa activa.

El estiércol es llevado por drenaje o carretillas hacia la pileta de carga donde se diluye y homogeniza con agua. Esta pileta tiene una compuerta que divide para la entrada del digestor, la cual se abre hasta recolectar todos los efluentes diarios de la granja y para pasarlos posteriormente al digestor, donde en un medio anaeróbico ocurre la fermentación metánica, que es el proceso biológico básico que permite el tratamiento y estabilización del residuo. Una vez fermentado anaeróticamente, el residuo pasa a la pileta de descarga y de ahí por un sedimentador y una fosa de estabilización, después de los cuales puede ser empleado para los fines que se requieran.

Durante este proceso se obtiene biogas con un 55 - 60% de metano, que puede ser empleado como energético en diversas actividades. (20,25,26).

Siendo su tiempo de residencia del Digestor de más o menos en 30 días.

## FERMENTACION ANAEROBICA

Podríamos describir la "Digestión Anaeróbica" como el proceso de estabilización de la materia orgánica en un medio sin oxígeno, principalmente a partir de bacterias.

Este proceso involucra siempre a dos grupos de bacterias que actúan simultánea y equilibradamente y que son las bacterias acidificantes y las metanógenas. El accionar específico de ambos grupos, nos permite describir el proceso de fermentación anaeróbica que se presenta y al cual podemos separar en tres etapas: (fig. 2)

- a).- Licuación de la Materia Orgánica
- b).- Formación de Acidos Volátiles
- c).- Formación de Metano.

LICUACION DE LA MATERIA ORGANICA.- En la primera etapa de licuación, la materia orgánica que generalmente está en estado sólido o semisólido (en macromoléculas) es descompuesta por las bacterias en partículas simples - (micromoléculas) asimilables. Este proceso se realiza por la segregación de enzimas producidas por ellas y a otros fenómenos, principalmente por la hidrólisis de las grandes partículas solubles en agua. La rapidez del proceso es directamente proporcional a la capacidad de dilución de la materia orgánica en el agua.

FORMACION DE ACIDOS VOLATILES.- La Segunda etapa es la formación de ácidos. En esta fase estas mismas bacterias aeróbicas o anaeróbicas producen los ácidos acético, propionico y butírico, principalmente, de los cuales este último se presente en menor cantidad que el primero. Estos ácidos son los que pasan a ser alimento de las bacterias metanógenas. Otra función de este grupo de bacterias acidificantes es la de eliminar el oxígeno del medio (interior del Digestor), condición esencial para la vida de las bacterias metanógenas que son anaeróbicas.

FORMACION DE METANO.- Esta etapa se caracteriza por la acción de las bacterias metanógenas las que, alimentándose por los desechos de las bacterias acidificantes, fabrican gases (entre ellos el metano). De ahí la denominación de Biogas, pues es producido a partir de una acción biológica.

Es importante hacer notar la extrema interdependencia que existe entre ambos grupos de bacterias, pues mientras los productores de ácidos suprimen el oxígeno y producen alimento que permite la vida de las bacterias metanógenas, éstas últimas eliminan los desechos ácidos y evitan que el medio se vuelva muy ácido e impiden así la sobrevivencia del primer grupo de bacterias. La producción de metano sólo es posible si existe un equilibrio entre estos dos poblaciones ( fig.2 )

El biogas, como hemos dicho, es la mezcla de gases que se produce durante la fermentación anaeróbica y está compuesta por metano, hidrógeno, nitrógeno, bióxido de carbono, monóxido de carbono, oxígeno y trazas de ácido sulfhídrico. De ellos el metano se presenta en una concentración que va desde un 55 a un 70%. (tabla 3).

Lo óptimo sería que esta mezcla fuera purificada en forma sucesiva con el fin de eliminar el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{H}_2\text{S}$ , principalmente. Al extraer el  $\text{CO}_2$  se prescinde de uno de los principales factores corrosivos que afectaría a las instalaciones del Digestor, tales como las líneas de captación, conducción y almacenamiento de gas que generalmente son metálicas.

Lo ideal sería obtener un gas carente de  $\text{CO}_2$  y de  $\text{H}_2\text{S}$ , pero con la concentración de metano cercana al 70%, ésto nos daría un poder calorífico aproximado de 5780-6230  $\text{Kcal/m}^3$ . A manera de referencia, se dá el poder calorífico del gas natural que es de 8900  $\text{Kcal/m}^3$ . (1,2,6,10,12,20,22).

TABLA 3

## COMPOSICION QUIMICA DEL BIOGAS

Metano-----	CH <sub>4</sub> -----	70 %
Anhídrido Carbónico-----	CO <sub>2</sub> -----	27 %
Nitrógeno-----	N <sub>2</sub> -----	0.5 %
Hidrógeno-----	H <sub>2</sub> -----	1 %
Monóxido de Carbono-----	CO -----	0.1 %
Oxígeno-----	O <sub>2</sub> -----	0.1 %
Acido Sulfhídrico-----	H <sub>2</sub> S -----	trazas

Tomado de Fry, L.J. 1973

## USOS

El uso del Digestor tiene varios fines que se pueden utilizar para los siguientes casos:

a).- Para el tratamiento del estiércol. Básicamente este punto es el de mayor importancia en el proyecto porque como ya anteriormente habíamos mencionado, para tratar el desecho orgánico del cerdo, para evitar la proliferación de agentes patógenos, etc.

b).- Usos para abono y fertilizante. De acuer-

do al buen porcentaje que se obtiene del estiércol ya pro  
cesado de Potasio, Fósforo, Nitrógeno y Sodio que resulta  
en una buena cantidad aceptable para su utilización como  
abono y fertilizante. Con el método de tratamiento de de-  
sechos orgánicos (digestor) nos permite conservar en su  
mayor parte los nutrientes, ya que el método aerobio nos  
produce la pérdida de la mayor parte del Nitrógeno.

c).- Riego Agrícola. El agua o estiércol semi-  
líquido se puede usar para fines agrícolas llevando un va  
lor de fertilizante adicional.

d).- Reciclaje Alimenticio. El excremento ya  
tratado en el Digestor, se puede utilizar como reciclaje  
para la alimentación de ganado vacuno, porcícola y ovica-  
prino.

Aquí en México, el reciclaje muy pocas granjas  
pecuarias lo utilizan.

e).- Utilización del Biogas. La utilización --  
del biogas para fines agropecuarios son los siguientes:

-- Para cocinar. La producción del gas metano  
nos sirve para una parrilla con un surtidor bien ajustado  
que nos dá una flama azul, exenta de humo que no ensucia  
los trastos o utensilios y alcanza temperaturas de 800 a  
850°C. Para poder prolongar el período de cocinar se le  
puede agregar un 30% de aire al gas.

-- Iluminación. Una lámpara que normalmente utiliza gas butano puede ser adaptada a biogas y dar un buen rendimiento. La luz que produce este tipo de lámparas adaptadas es de menor intensidad y brillantez, sin embargo es una iluminación aceptable.

-- Calor. La obtención de calor, se puede hacer directamente a partir de una forma de biogas incandescente.

(3,5,12,13,24)

## OBJETIVOS

Esta tesis tiene como principal objetivo analizar los --- criterios que tendrían que tomarse en cuenta para decidir la implantación de Digestores de desechos orgánicos, con el fin de obtener biogas y fertilizantes. También dicha tecnología pretende contribuir a la disminución o eliminación de las descargas de desechos contaminantes, que actualmente son descargados en el mar, rios, arroyos, lagos lagunas, etc. y tambien la eliminación de malos olores característicos, principalmente en la explotación de los cerdos.

Y por otro lado, la utilización de los residuos sólidos después del proceso para fines agrícolas. Utilizando elementos de construcción de obra civil y equipo de bombeo y asperción. Aparte la utilización del excremento ya tratado para el reciclaje alimenticio para las mismas explotaciones.

La idea central es que, a partir de las numerosas experiencias que se han desarrollado sobre esta técnica en diferentes partes del mundo, sea posible concebir teórica y prácticamente las condiciones necesarias para que un Digestor funcione y ofrezca los rendimientos óptimos.

La metodología aquí expuesta, hará posible la

participación colectiva de grupos de personas no especializadas en este tipo de tecnología. Esto conlleva un objetivo pedagógico; para que los ganaderos se compenetren colectivamente en la técnica y sus principios, posteriormente, ellos puedan adquirir una visión global de la secuencia técnica y metodológica y finalmente diseñar y construir un Digestor a partir del análisis de las condiciones y recursos existentes en un lugar concreto.

Por otra parte, se dan las características teóricas de algunos "sistemas ideales" de digestores, las cuales permitirán reconocer las limitaciones que impiden a los sistemas reales, prácticos, llegar a un óptimo.

Con esto podrá elegirse como solución a cualquier limitación o problema, y también al sistema que más se aproxima al deseado. (6,7,10,24)

Aparte, además se pretende que esta tecnología del uso del Digestor se utilice también en los siguientes fines:

- Realmente controle la contaminación
- Prácticamente eliminar las descargas orgánicas de los ríos, arroyos, mar, lagos, lagunas y mantos freáticos.
- Utilizar un mínimo de energía eléctrica
- Permitir la recirculación para la utilización

ción del estiércol (reciclaje alimenticio)

-- Requerir un mínimo de inversión para no reducir nuestra competitividad en el mercado.

-- Contribuir para el aprovechamiento del estiércol como fines para fertilizante agrícola.

También con la bibliografía citada se pretende recopilar, comparar, analizar, discutir y concluir la información de la Digestión Anaerobia "Digestor", sus tipos funcionamiento y utilización.

MATERIAL Y METODOS

## MATERIAL

El material de esta tesis en cuyo tema versa acerca de la Revisión Bibliográfica de la Importancia de los Digestores.

El material a utilizar es esencialmente sobre la metodología de la Recopilación, comparación, análisis, discusión y conclusión de libros, revistas, fascículos, folletos de todo lo relacionado sobre la Digestión Anaerobia.

Además de los servicios de información sobre las experiencias tanto en el extranjero como a nivel nacional han tenido, de la información sobre los digestores y de la construcción que han tenido de éstos, en diferentes partes de México el Instituto de Investigaciones sobre Recursos Bióticos (INIREB) que de una u otra forma han contribuido através de los años para moldear, planear y llevar a cabo los objetivos y metas de las experiencias que permitieron generar la información que se dá en la presente tesis.

## METODOS

Que es un Digestor y Cómo funciona.

Un Digestor (reactor donde se lleva a cabo una digestión o fermentación). Es un sistema cerrado cuyo interior es anaerobio y dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar. La anaerobiosis dentro del Digestor se va logrando automáticamente debido principalmente a los siguientes hechos:

a).- A medida que se efectúa el llenado del reactor la materia prima va desplazando el aire y con ello el oxígeno previamente contenido en el interior.

b).- Los procesos de oxidación de la materia orgánica consumen rápidamente el oxígeno del medio.

c).- Los gases que se producen, bióxido de carbono y metano, desplazan el aire del interior. Una vez que mediante estos procesos se logran las condiciones anaeróbicas deseadas, éstas se mantendrán a lo largo del tiempo siempre y cuando el Digestor no sea vaciado.

El proceso fermentativo del Digestor es llevado a cabo básicamente por bacterias. Cuando los sustratos son estiércoles animales, el inicio de su funcionamiento es espontáneo y en un tiempo relativamente corto. Los detalles para la puesta en marcha de un Digestor se verán posteriormente.

Las partes constituyentes de un Digestor son:

- Pileta de Carga
- Cámara de Fermentación o Reactor
- Pileta de Descarga
- Gasómetro
- Licor Mixto

El Licor Mixto está compuesto básicamente por la comunidad bacteriana y el sustrato. La siguiente figura nos muestra el diagrama de un Digestor y sus partes. - Los constituyentes del Digestor deben estar expuestos de tal manera que la carga y descarga se haga por gravedad y vasos comunicantes. (1,2,3,6,14,18,23) (fig. 3)

## TIPOS DE DIGESTORES

Una clasificación sencilla efectuada tomando en cuenta -- el diseño del Digestor (posición) y el tiempo del proceso empleado (continuidad en la alimentación), nos reporta va rios tipos de Digestores (clasificación de Baquedand, et - al 1979 modificada). (2)

Esta clasificación general puede ser aplicable a la mayoría de los digestores; pero es particularmente - adecuada para digestores rústicos y semirústicos, cuya ma teria prima sean las deyecciones o algunos residuos vege- tales semisólidos. Hay algunas excepciones particulares - como es el caso de los digestores esféricos desarroliados en China o en el caso de la clasificación especial de los reactores para sustratos muy diluidos. En este último ca- so, el nombre del Digestor está estrechamente relacionado con los aditamentos que posea, (filtro anaeróbico, lecho\_ fluidizado, etc.)

En general hay seis tipos de digestores. Esta\_ clasificación se hace en cuanto al diseño de construcción y en cuanto al tipo de proceso <sup>o</sup> empleado.

Atendiendo al diseño de construcción, los di-- gestores pueden ser horizontales o verticales.

Atendiendo al tipo de proceso empleado (parti-

cularmente en sistema de abastecimiento de materia prima)  
podemos encontrar tres tipos de digestores:

- 1) Los de Carga continua o continuos
- 2) Los de Carga semicontinua
- 3) Los de Carga discontinua, tambien llamados  
"BATCH"

LOS DE CARGA CONTINUA O CONTINUOS.- Son aquellos digestores técnicamente más avanzados cuyo flujo de alimentación es continuo, que son cargados y descargados en forma regular y periódica de tal manera que la producción de gas y fertilizantes (efluentes o material orgánico fermentado) es permanente.

LOS DE CARGA SEMICONTINUA.- Son aquellos reactores que se abastecen y descargan en lapsos de tiempo relativamente cortos (cada 12 o 24 horas).

LOS DE CARGA DISCONTINUA.- Son aquellos que son alimentados y descargados completamente o casi completamente en lapsos de tiempo relativamente largos (30-60 días). En estos reactores el ciclo de producción de gas y fertilizantes solo puede ser continuado o reiniciado una vez que la carga y descarga del total del contenido de materia prima del digestor haya ocurrido.

Con las características antes descritas, es po.

sible establecer una tipología que nos permita clasificar, en forma general, todos los digestores existentes en la actualidad. (fig. 4)

De esta figura se pueden deducir los siguientes tipos de digestores:

- 1.- Vertical Continuo
- 2.- Vertical Semicontinuo
- 3.- Vertical Discontinuo
- 4.- Horizontal Continuo
- 5.- Horizontal Semicontinuo
- 6.- Horizontal Discontinuo

Los Digestores semicontinuos tambien han sido llamados "Pistón" (del Inglés Plug Flow), ya que cuando son alimentados hacen alusión a la semejanza del movimiento de un pistón. Sin embargo, cabe aclarar que, lo que realmente ocurre dentro de este tipo de Digestores es un movimiento diferencial en capas y no realmente como un pistón.

Otra variante más la dá el gasómetro o almacenador de gas, es decir; si el digestor no lleva gasómetro o si lo lleva que esté o no integrado al digestor.

En general para los reactores semicontinuos se emplean sustratos cuyo contenido en sólidos totales va de

5.0 a 200 grs. por  $l^{-1}$ , más allá de esa concentración se emplea un digestor discontinuo y para menos de 5.0 grs.  $\times l^{-1}$  se requerirá un digestor de flujo continuo (filtro -- anaeróbico, lecho fluidizado). )1,2,6,9,14,21,23)

## GENERALIDADES DEL PROCESO BIOQUIMICO DE

### LA DIGESTION ANAEROBIA.

#### LA BIOMETANIZACION Y SUS ETAPAS

A fin de no dejar el digestor como una estructura o caja cerrada a la cual se le dá material orgánico y nos regresa biogas y residuos tratados, se dará un resumen del proceso bioquímico que ocurre dentro del digestor. Esto nos dará una idea que, aunque el exterior del reactor es una estructura inerte, dentro de él ocurre una serie de mecanismos biológicos interesantes.

La degradación anaeróbica de la materia orgánica pone en juego diferentes grupos de microorganismos - anaeróbicos facultativos o estrictos que preparan o realizan la fermentación metánica. Las bacterias se agrupan en un número elevado de especies que interactúan entre ellas en simbiosis, dando la eficacia del proceso.

Actualmente en conjunto de procesos constituido por tres etapas principales:

- Etapa de licuación fermentativa
- Etapa reductora obligada de protones
- Etapa metanógena

El mecanismo de la digestión anaerobia que --- conlleva a la producción de metano, es llevado a cabo básicamente por varios grupos de bacterias que interactúan simbióticamente.

Las bacterias metanogénicas (productoras de metano) pueden metabolizar solamente el metanol, el ácido acético, ácido fórmico, ácido carbónico y el hidrógeno, que son los sustratos derivados de la acción metabólica conjunta de otros grupos bacterianos sobre la materia orgánica.

ETAPA DE LA LICUACION FERMENTATIVA.- En esta etapa, la materia orgánica compleja, compuesta por grandes polímeros, al ser introducidos al digestor, es atacada por una comunidad bacteriana fermentativa de microorganismos que utilizan las enzimas extracelulares del tipo proteasa, oxidasa y lipasa. Producto de esta despolimeración quedan formados monómeros fácilmente fermentables. Posteriormente en el transcurso de una fermentación ácida se tendrá enseguida la formación de ácidos grasos volátiles de dos a cinco átomos de carbono ácidos, acético, propiónico, butírico, isobutírico, valérico, además bicarbonato de calcio  $\text{CaHCO}_3$  e hidrógeno  $\text{H}_2$  en pequeña cantidad.

ETAPA REDUCTORA DE PROTONES.- Esta etapa está íntimamente relacionada con la anterior. El papel de esta etapa es el de evitar la acumulación nociva de los ácidos grasos volátiles, y por la acción de las bacterias acetogénicas, entre ellas el ácido acético que es el principal sustrato de las bacterias metanogénicas. Durante esta fase los ácidos grasos que tienen más de dos átomos de carbono (propiónico, butírico) y otros aceptores de hidrógeno de la etapa precedente, son transformados en acetato, bicarbonato e hidrógeno.

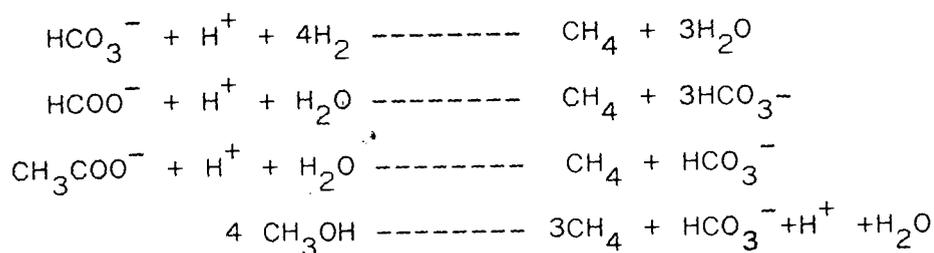
En esta fase el mantenimiento de una presión parcial, baja de hidrógeno en el medio, por la acción de las bacterias metanogénicas de la etapa siguiente es esencial para el crecimiento de la comunidad reductora de protones, pues una concentración elevada del hidrógeno, puede conducir a la acumulación excesiva de ácidos grasos volátiles.

También han sido descritas un grupo de bacterias homoacetogénicas que pueden sintetizar el acetato a partir de hidrógeno y del bicarbonato o del formato.

ETAPA DE LA METANOGENESIS.- Durante esta última etapa las bacterias metanogénicas producen el metano a partir del acetato o bicarbonato e hidrógeno, durante ellas se puede utilizar igualmente el metanol y el formato para tal fin.

Los sustratos esenciales en los digestores para realizar la metanogénesis, son el acetato y el bicarbonato-hidrógeno. Se han utilizado cálculos demostrando que entre un 73 a 80% del metano producido, proviene del grupo metil del acetato.

La formación de metano según las fuentes de energía y las bacterias se pueden expresar por las reacciones siguientes:



El excedente de los aniones de bicarbonato (es decir el contenido relativo de cationes que están ligados a:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ , etc.) producto de la etapa metanógena servirán para neutralizar los iones hidrógeno y liberar el anhídrido carbónico que se encuentra mezclado con el metano en la fase gaseosa.

Una característica de las bacterias metanogénicas, es de disponer de un transportador de electrones y protones, coenzima F420, aparte existen otras dos coenzimas bastante específicas: coenzima M y el factor B..

En general, durante todo el proceso microbiológico

gico ocurre una serie de reacciones enzimáticas que se ocupan de la materia orgánica a fermentar, una parte de esta materia orgánica oxida a  $\text{CO}_2$  y otra se reduce a  $\text{CH}_4$  de lo cual resulta como subproducto el biogas compuesto básicamente por estos dos residuos gaseosos en proporción de 55-70% de metano y 25-30% de dióxido de carbono.

#### PARAMETROS DE LA DIGESTION METANOGENICA O BIOMETANIZACION

Existen varios parámetros que influyen la digestión metánica y la biodegradabilidad, siendo los principales los siguientes:

**TIEMPO PROMEDIO DE DIGESTION HIDRAULICA (RESIDENCIA).**.- El tiempo medio de retención hidráulica expresado en días, representa la duración media de la retención del líquido en el Digestor, éste se obtiene por la relación del volumen útil del líquido cambiado cotidianamente.

De los digestores semicontínuos sin mezclado, aunque el tiempo de residencia de los materiales sólidos no es idéntico al tiempo de residencia de líquidos, por fines prácticos se toma como si lo fueran. El tiempo de residencia es el período de tiempo que el material orgánico a fermentar debe permanecer dentro del digestor. Es uno de los parámetros que determinan el volumen útil del digestor, a mayor tiempo de residencia se requerirá un ma

yor volúmen de digestor y por lo contrario a menor tiempo de residencia el digestor será más pequeño.

El tiempo de residencia no debe ser tan largo de tal manera que, inutilmente, se mantenga dentro del digestor material orgánico ya tratado, y que además, requiera una instalación sobredimensionada y costosa. Por otra parte, el tiempo de residencia tampoco deberá ser demasiado corto, de tal manera que ocurra una evacuación de las bacterias originando un tratamiento deficiente del sustrato debido a una corta exposición con la comunidad biológica anaerobia depuradora.

En la práctica, en los digestores cuya temperatura mesofílica no es controlada, el tiempo de residencia se sitúan entre los 20 a 25 días. Es el caso de las instalaciones aplicables a nuestro país.

#### TEMPERATURA

la gama de temperaturas y el rango dentro de las cuales se puede realizar la metanogénesis es bastante amplio.

El proceso puede realizarse entre 5° y 65°C. - este proceso se puede realizar en dos zonas de temperatura que se conocen como Mesofílica y Termofílica.

La zona mesofílica a temperaturas media y su

óptimo está localizado hacia 35°C.

La zona termofílica con un óptimo localizado es muy cerca de 60°C.

Generalmente se observa una velocidad más grande de reacción a una temperatura elevada (zona termófila). Aunque a mayores temperaturas, las velocidades de reacción son máximas, con lo cual se podría disminuir el tiempo de residencia es preferible trabajar en el rango mesofílico ya que a temperaturas de digestión altas, los rendimientos energéticos son más bajos debido a las necesidades caloríficas para mantener el digester a 60°C, esto a pesar de las cantidades apreciables de metano producido.

En buena parte de México, y durante la mayor parte del año, es posible trabajar a temperaturas ambientales de entre 22 y 33°C, temperaturas oscilantes a las cuales el proceso aunque no es óptimo, es eficiente..

#### EL pH

El pH es uno de las más importantes parámetros a seguir, ya que controla estrictamente la digestión metánica. El óptimo está localizado cerca de la neutralidad o ligeramente alcalino. En la práctica un pH de 7.3 o más sin sobrepasar el pH 8 es indicio de un buen proceso. Si el pH se sale extremadamente de estos valores, ocurri-

rá una baja en la producción de biogas y su porcentaje de metano, con lo cual podrá dejar de ser combustible. Por otra parte, los efluentes del digestor estarían semitratados por lo que representarían olores típicos a putrefacción ocasionados por la acumulación de ácidos orgánicos.

El principal sistema químico de control de pH es el equilibrio dióxido de carbono-bicarbonato donde la concentración del ácido carbónico está ligada al porcentaje del ácido carbónico y a la concentración del ión bicarbonato, que constituyen la alcalinidad total del sistema.

cuando los ácidos grasos aumentan en el digestor éstos son neutralizados por los iones bicarbonato y el medio no se acidifica. Pero si el medio está mal tampnado debido a una deficiencia de los iones bicarbonato, el aumento de los ácidos grasos hace que se descienda el pH y que el medio se acidifique, y en consencuencia la inhibición de las bacterias productoras de metano.

En general, los digestores funcionando con deyecciones animales no representan problema de pH.

Las mediciones del pH pueden realizarse fácilmente con un potenciómetro manual o de laboratorio o en papel indicador de rango corto.

## LA ALCALINIDAD

La alcalinidad del sistema es muy importante para mantener la estabilización de los digestores, así como para mantener el pH dentro de los límites adecuados, la cual está directamente vinculado a la concentración de iones hidrógeno-carbono ( $\text{HCO}^{-3}$ ) y en anhídrido carbónico en el medio.

Junto con el pH, la alcalinidad es el parámetro más importante para detectar problemas en el funcionamiento de un digestor.

La alcalinidad determina la capacidad del digestor de poder neutralizar un aumento eventual de ácidos grasos en el medio. Con una alcalinidad baja, un pequeño aumento de ácidos provoca una disminución significativa del pH.

Los valores mínimos de alcalinidad expresada en  $\text{meg} \times 1^{-1}$  de  $\text{HCO}^{-3}$ , son del orden de  $40 \text{ meg} \times 1^{-1}$ ; y los rangos normales son: pH de 6.7 porcentaje de  $\text{CO}_2$  está entre 30-40%. La alcalinidad está situada entre 2.5-5 grs. de  $\text{CaCO}_3$  y litro ( $50-100 \text{ meg} \text{ HCO}^{-3} \times 1^{-1}$ ) concentración que asegura un buen poder tampón para el tratamiento de un residuo.

La medición de la alcalinidad es simple, ya que se efectúa por medio de la titulación ácido-base.

**REPORTE DE ANOMALIAS**

**CUCBA**

**A LA TESIS:**

**LCUCBA01499**

**Autor:**

**Gonzalez Zermeño Rodolfo**

**Tipo de Anomalía:**

**Errores de Origen: Falta Folio No. 49 - 50 y 60  
Folio Repetido No. 51 con diferente informacion**

deben estar presentes en trazas tales como: S, K, Na, Ca, Mg, Fe.

Normalmente los residuos a fermentar (excepto algunos de origen vegetal) poseen todos estos elementos. Las deyecciones animales casi no provocan problemas de deficiencias elementarias.

#### INHIBIDORES DE LA DIGESTION ANAEROBIA

Los inhibidores pueden actuar debido a su presencia o a su elevada concentración. Algunos alcalinotérreos y nitrógeno amoniacal en elevadas concentraciones, alcoholes, fenoles, antibióticos (contenidos en los residuos), sulfuros detergentes, etc. pueden inhibir el proceso..

#### LA RELACION CARBONO-NITROGENO (C/N)

El carbono y el nitrógeno son dos de los principales elementos requeridos por el organismo, y deben estar presentes en una relación adecuada. Si hay poco nitrógeno las bacterias no pueden producir las enzimas necesarias para utilizar el carbono y si por el contrario, hay demasiado nitrógeno (amoniacal) se puede inducir una inhibición.

El valor óptimo de la relación C/N está situado entre los 20/1 y 30/1.

Aunque la determinación del nitrógeno es relativamente fácil, realizar el análisis del carbono total es caro y requiere de equipo especializado. Afortunadamente, los sustratos más comunes como son los estiércoles -- animales, no presentan problemas con respecto a este parámetro.

#### AGITACION

La agitación dentro de un digestor tiene como función la de homogenizar los nutrientes con el fin de asegurar su utilización adecuada; así mismo la agitación permite reducir al mínimo la formación de costra en la superficie del líquido en el digestor. Esta se puede efectuar por sistema mecánico o por recirculación de biogas producido.

#### CARGA VOLUMICA (Bv)

Está determinada la cantidad de materia sólida volátil -- (materia orgánica) a introducir por día y por unidad de volumen útil, en conexión con el tiempo de retención, la carga volúmica determina la contracción máxima a la entrada del digestor.

En relación con el tiempo de residencia, determina la concentración máxima que entrará al digestor. En la práctica, la carga volúmica se sitúa alrededor de 10% de materias secas, puesto que una mayor concentración ---

vuelve más difícil la homogenización, y, disminuye la actividad microbiana.

Un valor práctico para digestores a temperatura ambiental es del orden del 1-3 grs. VSo x 1 ml<sup>-1</sup> x d<sup>-1</sup>.

### SISTEMAS DE LIMPIEZA Y RECOLECCION

1.- LIMPIEZA POR PALEO.- En este caso, el estiércol de los establos, zahurdas y de los hatos ganaderos en semiconfinamiento y confinamiento es paleado y barrido a fin de concentrarlo en un punto del suelo, y posteriormente transportarlo en carretilla hasta algún terreno adjunto donde el estiércol permanecerá por espacio de seis meses a dos años secándose por la acción del sol. Es evidente la emanación generalizada de malos olores en los estercoleros de este tipo. En este caso es el sistema más usual entre los ganaderos. Aquí el estiércol que sale de las granjas está muy concentrado, pudiendo tener hasta un 75% de humedad y 250 grs. VS x KG<sup>-1</sup>.

2.- ARRASTRE CON AGUA.- Para este caso, el estiércol es barrido con agua y conducido a tuberías que llevan a arroyos, ríos o lagunas creando grandes problemas de anoxia y putrefacción de estas aguas. Mediante este sistema se gastan al orden de 6-15 lts. de agua por ani-

mal con lo cual el residuo que se obtiene está fuertemen-  
te diluido.

### 3.- COMBINACION PALEO MAS ARRASTRE CON AGUA.--

Las granjas que emplean este sistema mixto de limpieza, - hacen una limpieza con pala y posteriormente terminan de lavar el suelo con agua. En éstos casos se puede obtener un estiércol semi-diluido con un 80-90% de humedad y 100-150 grs. VS  $\times \text{KG}^{-1}$ .

Este es, tal vez, el sistema de limpieza más usual, y en cuya cantidad de agua empleada puede ser del orden de 4 a 8 lts. por animal.

### 4.- CHARQUITO.-

Para este caso, es muy usual - en cerdos; la zahurda se diseña de tal manera en que una área determinada del piso de ésta, se acumula una cantidad de agua considerable, formando un charco, por instinto el cerdo acude periódicamente a defecar.

Los residuos obtenidos están completamente líquidos con muy bajos niveles de sólidos totales. La forma típica en deshacerse de estos líquidos es enviarlos a los arroyos o ríos. En casos muy contados, algunas granjas emplean lagunas anaerobias para el tratamiento de estos líquidos.

### 5.- LIMPIEZA POR TANQUE VOLTEADOR O GOLPE DE AGUA.-

La limpieza mediante este método se efectúa de la

siguiente manera: Existe un flujo continuo de agua sobre un reservorio cilíndrico horizontal cuyo punto de gravedad no está colocado en el centro; una vez que este recipiente llega a determinado nivel de agua, se voltea automáticamente dejando caer más o menos  $1 \text{ m}^3$  de agua (según el tamaño de la granja) que al correr por el piso inclinado, va limpiándolo de estiércol. Esta operación se repite varias veces al día. El residuo obtenido es bastante líquido y normalmente es arrojado a los arroyos o ríos.

En general los métodos de limpieza más empleados son: limpieza por paleo, arrastre con agua y combinación paleo más arrastre con agua.

El charquito y tanque volteador son métodos menos empleados, pero constituyen sistemas de limpieza que poco a poco adquieren popularidad.

## SELECCION, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LOS DIGESTORES.

## IMPORTANCIA DEL DIGESTOR DENTRO DEL ESQUEMA

## GENERAL DE LAS GRANJAS

La unidad del digestor y manejo de biogas puede llegar a constituirse como la parte central del esquema básico de la granja.

El papel y la importancia del digestor en sistemas de producción animal, queda resumido a los siguientes aspectos:

## a) SANEAMIENTO Y MANEJO DE DESECHOS ORGANICOS.

La unidad de producción animal hace que haya una producción periódica de estiércoles los cuales, si no son manejados, tratados y dispuestos de alguna forma, pueden ocasionar problemas ambientales y sanitarios localizados.

En general, un estiércol "verde" o fresco no es empleado inmediatamente en actividades agrícolas y menos aún si se trata de cerdos. Esto es debido a los fuertes olores que despiden que provoca la proliferación de moscas y principalmente que quemar las plantas. Por los fuertes olores, atraen una gran cantidad de insectos, los cuales en determinados momentos actúan como vectores para la transmisión de enfermedades al hombre y a los animales (y a los animales entre sí)

Otro aspecto más es que para deshacerse de los estiércoles, generalmente, los granjeros optan por expan-

derlos en algún terreno o verterlos directamente a los rios, arroyos o lagunas, con lo cual contribuyen de manera eficaz a la degradación de las aguas naturales, ya que pueden llegar a disminuir drásticamente sus niveles de oxígeno.

En cambio el hecho de efectuar un tratamiento anaerobio de los estiércoles, introduciéndolos a un digestor, nos elimina las series de problemas anteriormente mencionadas.

Por otro lado se puntualiza que la disminución de materia orgánica en el sustrato no demerita su calidad para fines agronómicos, ya que los nutrientes minerales quedan prácticamente intactos e incluso más disponibles.

En general, se hace evidente la importancia de un digestor dentro del contexto general de la granja. Una granja sin digestor, tiene la presencia de fuertes olores desagradables, exceso de moscas (sobre todo en épocas de calor) y sobre todo no emplea al estiércol en actividades agropecuarias, lo cual viene a ser un desperdicio de recursos naturales. Por otra parte, la estancia en la zona de la granja, y las tareas laborales de la misma, se hacen más agradables en un ambiente de limpieza.

b) PRODUCCION DE ENERGIA.- Como resultado de la biodegradación de la materia orgánica por medio de organismos anaerobios matenogénicos, se produce el combustible gaseoso llamado biogas, cuyo contenido en metano puede ser en el orden de 55-70% con un poder calorífico de más o menos  $6000 \text{ Kcal/m}^3$  ( $25000 \text{ Kj/m}^3$ ) y con una temperatura de flama alrededor de  $800^\circ\text{C}$ .

Las cantidades gas producido son variables según el número y el tipo de animales con que se cuente. Como un dato indicativo en la práctica, un cerdo de tamaño mediano representa un potencial energético de 50 Lts. de biogas por día y una vaca de pastoreo alrededor de 300 - Lts. de biogas por día.

En realidad, la producción de energía viene a ser una ganancia secundaria, comparada con los efectos benéficos de saneamiento que provoca el digester en la granja.

c) PRODUCCION DE FERTILIZANTES ORGANICOS ESTABILIZADOS.- La ventaja básica del digester en cuanto al manejo y uso de los estiércoles, es que el proceso de digestión estabiliza el desecho en un período corto de 20 a 40 días, permitiendo su empleo inmediato; esto sin su detrimento de los nutrimentos contenidos en el sustrato ya que la mayor parte de los componentes quedan intactos durante el proceso.

Una vez estabilizados, los estiércoles así procesados pueden ser empleados directamente como abono orgánico para hortalizas u otros cultivos o para fertilizar estanques de piscicultura.

d) ELABORACION DE COMPOSTAS Y COMPLEMENTOS ALIMENTICIOS.- Aunque ésta es una área poco estudiada, es de bastante interés ya que, en caso, de un uso intensivo, podría llegar a ser un posible complemento alimenticio para otros animales.

En algunos lugares del país, por ejemplo, se emplea continuamente el estiércol del cerdo de una manera directa para complementar la dieta alimenticia para otros animales o para ellos mismos.

Se ha mencionado incluso que el material digerido, contiene otras propiedades, proteína digerible y -- una considerable cantidad de vitamina B12 que es un factor del crecimiento de los animales.

CARACTERISTICAS DE LOS DIGESTORES  
SELECCION DEL TIPO DE DIGESTOR

Los aspectos básicos que hay que tomar en cuenta para seleccionar el tipo de digestor requerido son los siguientes:

a).- TIPO DE TERRENO.- Si es blando, duro, con piedras, con o sin declive, profundidad del manto freático etc.

b).- CLIMA.- Ambiente frío, cálido, cielo soleado o nublado.

c).- TIPO DE SUSTRATO.- Estiércol de: Vaca, cerdo, humano, desechos vegetales, etc.

d).- DISPONIBILIDAD DE MATERIALES DE CONSTRUCCION.-

e).- GRADO DE DISPONIBILIDAD DE MANO DE OBRA ESPECIALIZADA.

f).- USO DEL BIOGAS Y DEL EFLUENTE FERMENTADO.

Estos aspectos en relación con las ventajas y desventajas de cada uno de los digestores, podrán ayudarnos a decidir el tipo de digestor a utilizar.

En base a la característica de la clasificación

ño cilíndrico, aunque no es complicado en extremo, limita la autoconstrucción, ya que se requiere experiencia constructiva para lograr la forma cilíndrica requerida, la hechura de la campana metálica o gasómetro, que deberá estar construido con lámina lisa de zinc galvanizada, puede llegar a constituir un problema en la autoconstrucción, pues requiere de mano de obra especializada, puede haber acumulación excesiva de biomasa activa en el reactor, en el caso en que el sustrato contenga muchas partículas flotantes la solución es agrandar el orificio de descarga, no se puede construir en terrenos pedregosos o de tierra dura como el tepetate, pues requiere una excavación mínima de 1.5-2.0 Mts., el gas no se puede emplear a distancias grandes.

Aparte se requiere de un terreno donde básicamente se pueda excavar, es decir ausente de piedras o tepetate, no requiere de desniveles en el terreno ya que la altura necesaria puede lograrse aumentando el desnivel de la pileta de carga. Su construcción en climas menos cálidos, ya que al ir interrado se logra un buen aislamiento térmico. Tambien es efectivo en climas cálidos.

El uso del gas debe hacerse en distancias cortas (20-40 Mts.) sobre todo para la coeción de los alimentos, ya que para hacer funcionar las lámparas, puede carecer de la presión necesaria.

Su construcción requiere de un mínimo de conocimientos de albañilería y soldadura.

Los sustratos a emplear son estiércoles animales (incluso de los humanos).

en general desde el punto de vista físico y -- biológico, las ventajas superan a las desventajas en este tipo de digester, la cual le dá buenas posibilidades de -- aplicación.

DIGESTOR HORIZONTAL SEMICONTINUO CON GASOMETRO INTEGRADO.- Digester tipo INIREB (Instituto Nacional de -- Investigaciones sobre Recursos Bióticos). Este digester -- ha sido desarrollado por el INIREB y es el resultado de -- la adaptación de la tecnología de la digestión anaerobia\_ a diferentes condiciones geográficas. Su representación -- se ve en las figuras 6 y 7.

Ventajas y Desventajas del Digester Horizontal Semicontínuo con Gasómetro Integrado. Ventajas.- Su es--- tructura de paralelogramo hace que su construcción sea su mamente sencilla, el gasómetro integrado hace que sus -- costos disminuyan, la campana rectangular o cuadrada es -- de fácil construcción. Puede construirse enterrado o so-- bre la superficie del terreno.

Sus índices de rendimiento son buenos debido a sus forma alargada que hace que el sustrato pase através\_

de todo el reactor que permite una mayor captación del calor proveniente de la energía solar, es de fácil funcionamiento y de amplio acceso al interior del digestor (retirando el gasómetro).

Desventajas.- La estructura rectangular es menos sólida, la cual le dá cierto grado de debilidad al gasómetro, la forma rectangular provoca espacios muertos en las esquinas (problema sin gran importancia).

Puede construirse prácticamente en cualquier tipo de terreno ya que no requiere de excavaciones profundas.

Su instalación se prefiere en climas cálidos con alta insolación, aunque también funciona en climas más o menos fríos.

el uso del biogas debe o puede hacerse en distancias cortas (20mts.) y sin mucha presión.

No requiere de conocimiento importante de albañilería pero sí un mínimo de experiencia en soldadura.

Los sustratos a emplear son básicamente de estiércoles. Igualmente en este caso las ventajas superan a las desventajas, lo cual hace que este digestor sea de una aplicación versátil.

DIGESTOR HORIZONTAL SEMICONTINUO SIN GASOMETRO.  
TIPO CHINO MODIFICADO.- Este diseño es una modificación -  
de un digestor típico promocionado en China.(esférico).

Fue desarrollado con el fin de que pudiera ser  
instalado en terrenos duros o pedregosos, en los cuales -  
no se puede efectuar ninguna excavación. El esquema básico  
se aprecia en las figuras 8 y 9.

Ventajas y Desventajas del Digestor Horizontal  
Semicontínuo sin Gasómetro.

Ventajas.- La ventaja principal de este diseño  
es que no requiere gasómetro de lámina galvanizada con lo  
cual se reducen los costos de construcción. Puede cons---  
truirse sobre la superficie del suelo si es necesario. --  
Proporciona una poca de mayor presión en el biogas produ-  
cido, con el cual se mejoran las posibilidades del uso --  
del mismo. Su construcción es muy fuerte.

Desventajas.- La construcción tubular requiere  
de algo de especialización, lo cual disminuye las posibi-  
lidades de autoconstrucción. Puede presentar fugas de gas  
através del domo. Indices de rendimiento bajos através --  
del flujo y reflujo del sustrato en la cámara de fermenta-  
ción (reactor). Difícil acceso al interior del digestor -  
en caso de una reparación o algún servicio. Sistema de --  
descarga no automatizado (a veces requiere de una descar-

ga manual).

En este caso, evaluando la maniobrabilidad y funcionamiento, las ventajas de este tipo de digestor están bastante equilibradas. Una fuga de gas, un tubo mal colocado o un nivel mal situado nos va a echar a perder toda la construcción.

DIGESTOR TIPO CHINO ESFERICO.- Este es el diseño típico de China, ampliamente distribuido en aquel país. Y aparte en otros países como Korea, Taiwan, India, etc.. Su representación se muestra en la figura 10.

Ventajas y Desventajas del Digestor tipo Chino Esférico.- Aunque la transferencia tecnológica de este diseño a otros países (de Latinoamérica sobre todo) y de China misma, ha sido aún muy controvertida, las ventajas y desventajas son las mismas que en el del digestor anterior, con la sola excepción que este digestor, para ser construido, requiere de un terreno blando y sin piedras, ya que se necesitan grandes volúmenes de excavación de terreno.

Es ideal para zonas poco accesibles donde la disponibilidad de láminas y ángulo de fierro es escasa.

Será necesaria la presencia de albañilería de experiencia para dirigir su construcción.

Se prefiere en clima templado, se requiere de un poco de desnivel en el terreno.

El uso del gas es más adecuado pues fácilmente se puede generar una buena presión dentro del reactor.

DIGESTOR HORIZONTAL DISCONTINUO.- Este digestor puede ser empleado para sustratos vegetales poco disolubles o donde la disponibilidad de alguna sea mínima.

Se prefieren los digestores horizontales con respecto a los verticales, debido a que la posición "acostada" permite un acceso limpio y fácil al digestor, cosa que puede no ocurrir en el caso de los digestores "parados" (verticales), cuadrados y cilíndricos. (fig. 11)

Cuando se desee recuperar el biogas será necesario adecuar la instalación con un sistema hermético y de conducción y almacenamiento de gas; cuando no se desee hacer uso del biogas producido (en forma no constante o poco uniforme) se recomienda hacer zanjas rústicas donde vaya colocándose el material a fermentar, de preferencia inoculando con estiércol previamente digerido.

Este digestor requiere de terrenos blandos pues una pequeña excavación ayuda a su manejo. Se prefiere en zonas donde hay poca disponibilidad de agua. Se recomienda la recuperación del biogas no desea hacerse en forma continua.

No requiere de conocimientos de albañilería. Puede construirse en suelos no recubiertos.

DIGESTOR CONTINUO VERTICAL.- Este tipo de digester ha sido desarrollado principalmente en las zonas rurales de la India; de ahí que los aspectos dominantes de su tecnología sean especialmente adecuados para regiones con recursos y necesidades similares a las existentes en aquellas regiones. (fig. 12 y 13)

Para este tipo de digester deberán utilizarse preferentemente excrementos animales frescos como materia prima (excrementos de bovinos, porcinos y aves).

Ventajas y Desventajas del Digestor Continuo Vertical.-

Ventajas.- La necesidad de una alimentación continua, hace que este tipo de digestores sean particularmente aptos para la obtención de gas y biofertilizantes en forma continua.

Desventajas.- Este tipo de digester es altamente sensible a los cambios de temperatura ambiental, lo cual hace que haya una alta oscilación en los rendimientos totales.

Además si el terreno lo permite debe de construirse enterrado, bajo la superficie del suelo.

En general, este tipo de digestor es apropiado para regiones tropicales o semitropicales. Para el caso - de regiones con climas más templados el ciclo de fermentación es más largo, con lo que el rendimiento baja.

DIGESTOR DISCONTINUO VERTICAL.- Es tipo de digestor ha desarrollado principalmente en Francia. Como el medio agrícola francés se caracteriza por sus cultivos, - más que por la crianza de animales, este digestor está generalmente adaptado para el tratamiento de desechos vegetales. (fig. 14 y 15)

Como primer paso, es necesario realizar un proceso de fermentación aerobia, con el fin de elevar la temperatura de la masa a 50° - 60° C.-Después se sumerge esta masa en el líquido de fermentación anaeróbica. Toda esta operación debe de hacerse en una forma muy breve, para en un dado caso se prevenga la pérdida de calor.

En este tipo de digestores nos permite utilizar cualquier tipo de residuos o basuras, aún siendo estos - de gruesa contextura sin riesgo de obstruir la instalación, ya que la masa orgánica debe de ser reemplazada una sola vez y en su totalidad luego de cada ciclo de fermentación (una sola carga en cada ciclo), pues este tipo de digestor no hay recargas diarias.

Los fertilizantes obtenidos mediante este procedimiento son excelentes, pues contienen de 2 a 3 veces más Nitrógeno, Fosforo y Potasio. Este sistema es el que mejor se presta para producir fertilizantes naturales.

Ventajas y Desventajas del Digestor Vertical -  
Discontinuo.

Ventajas.- Una vez realizada la carga, este tipo de digestor no requiere atención alguna, sino hasta el final del ciclo. Además no es necesario controlar la temperatura, ya que la fermentación asegura una temperatura elevada; siempre y cuando el digestor tenga un buen aislamiento.

Desventajas.- La principal desventaja es la de la irregularidad en la producción de biogas.

NOTA.- Las características del Digestor Horizontal Continuo que no se incluye en el presente estudio son, en general parecidas a la de los Digestores Verticales. (fig.16)

## ELECCION DE UN DETERMINADO TIPO DE DIGESTOR

En las páginas anteriores se ha dado una breve reseña de los sistemas actuales de fermentación anaeróbica. De la misma forma, también se ha informado sobre los principales elementos que caracterizan a un sistema ideal de producción; todo esto con el objeto de mostrar una idea conjunta de los procedimientos que faciliten el proceso de las tomas de decisiones.

En esta parte se tratará de entregar la metodología aproximada a seguir, para seleccionar un proceso concreto de producción apropiada a una realidad determinada. Seguramente la elección va a resultar distinta al sistema ideal; esto no debe de ser materia de preocupación, sino todo lo contrario, puesto que en esta diferencia reside la posibilidad de innovación constante provocada por el deseo de arribar a las condiciones óptimas del proceso.

Esencialmente esta metodología para orientar la decisión sobre la elección de un sistema de producción adecuado a una situación concreta, contempla las siguientes etapas:

PRIMERA.- Determinación de la función principal.

SEGUNDA.- Selección del sistema ideal guía.

TERCERA.- Presentación del sistema real de producción.

CUARTA.- Determinación y descripción de las li  
mitaciones principales resultante de\_  
la comparación entre el sistema ideal  
guía y el sistema real probable.

QUINTA.- Elección y descripción del sistema de  
producción real adoptado como solución

#### DETERMINACION DE LA FUNCION PRINCIPAL DEL DIGESTOR

La primera cuestión que se debe considerar para seleccio-  
nar un digester de desechos orgánicos es determinar cual\_  
será la función principal que tendrá éste. A esto se res-  
ponde la forma básica con la pregunta. ¿ Qué necesitamos\_  
producir?

En la práctica solamente existen las siguientes  
opciones o alternativas:

a).- Producción principal de biogas y en forma  
secundaria de fertilizantes.

b).- Producción principal de fertilizantes y -  
en forma secundaria de biogas.

c).- Una tercera posibilidad es producir simul-  
táneamente ambas cosas, donde ni el biogas ni el fertili-  
zante, se reproduzcan abundantemente a la vez.

Para contestar a esta pregunta inicial, hay --  
que analizar necesidades y escoger alternativas.

## SELECCION DEL SISTEMA IDEAL GUIA

En esta etapa se trata de elegir el sistema ideal guía que actuará como punto de referencia para realizar la evaluación. Los criterios ideales que permiten elegir el sistema ideal guía están dados por las siguientes preguntas:

¿ Qué tipos (s) de materia prima se encuentra en disponibilidad ?

¿ Qué cantidad de biogas o de biofertilizantes se necesita ?

¿ Qué tipo de digestor es necesario utilizar ?

Para evaluar la disponibilidad de la materia prima tenemos que conocer si ésta se puede obtener durante transcurso de todo el año o sólo por épocas; si existe en abundancia su probable grado de degradabilidad (que no esté muy fibrosa de preferencia), etc.

Por otra parte, es necesario hacer una evaluación aproximada para conocer qué cantidad de biogas o de fertilizante necesitamos diariamente o en cada determinado tiempo, etc.

## PRESENTACION DEL SISTEMA DE PRODUCCION REAL

En esta tercera etapa constituye la fase de recolección de datos. Por otro lado, el sistema real debe de tener como guía al sistema ideal guía y para ello se tomarán en -

cuenta los siguientes puntos (elementos del sistema real)

a).- Función del Sistema.- Se refiere a lo -- que necesitamos producir, ya sea biogas, o fertilizante\_ o ambas cosas a la vez. Y contribuir a la ayuda de la -- ecología.

b).- Materia Prima a Utilizar.- Es necesario\_ haber una evaluación acerca de la materia orgánica dispo\_ nible.

c).- Productos Obtenidos.- Como utilizar los\_ productos obtenidos, (el biogas, fertilizantes, por ejem\_ plo).

d).- Secuencia.- Secuencia de la cerca del di\_ gestor.

e).- Condiciones del medio.- Si el terreno es plano, con pendiente, duro; condiciones del clima, etc.

f).- Catalizadores Físicos, o sea el equipo - que en el transcurso del proceso juega en el papel del - agente o catalizador transformar la materia orgánica.

g).- Parámetros de control.- El pH, % sólidos etc.

DETERMINACION Y DESCRIPCION DE LAS LIMITACIONES  
PRINCIPALES, RESULTANTES DE LA COMPARACION ENTRE EL  
SISTEMA IDEAL GUIA Y EL SISTEMA REAL PROPUESTO

En esta etapa se procede a un análisis comparativo de --  
los dos sistemas, con el fin de identificar cuales son --  
las limitaciones presentes en el sistema real, para pro-  
ceder a un estudio minucioso de ellas.

Tal vez ésta sea la etapa más creativa de to-  
das y la más importante.

De lo que se trata es de elaborar nuevos sis-  
temas reales que contemplen en su formulación, la solu--  
ción de las limitaciones planteadas. Ya se ha elegido un  
sistema ideal guía, luego se ha construido un sistema de  
producción real habiendo establecido cuales eran sus li-  
mitaciones; nos queda ahora la búsqueda de soluciones pa-  
ra superar las limitaciones planteadas con el fin de me-  
jorar el sistema real.

En caso de que ninguna propuesta logre elimi-  
nar o disminuir las limitaciones, entonces habrá que cam-  
biar el sistema ideal guía y comenzar nuevamente el pro-  
ceso de evaluación.

ELECCION Y DESCRIPCION DEL SISTEMA DE PRODUCCION REAL  
ADOPTADO COMO SOLUCION

El criterio más importante de selección del sistema real adoptado como solución, debe ser su grado de proximidad al sistema ideal guía, es decir, se selecciona el sistema que en la práctica requiere las características más próximas al sistema ideal guía.

En general, en este proceso selectivo, las preguntas que normalmente surgen son las siguientes:

- a).- Qué producir ? biogas o Fertilizantes
- b).- Qué tipo de Digestor se utilizaría?
- c).- Cuáles serían las medidas del digestor?
- d).- Qué parámetros deben de controlarse?
- e).- Qué materia prima se podría utilizar?

Una vez construido el digestor las primeras interrogantes son:

- a).- Como utilizar el digestor. El biogas
- b).- Como utilizar el fertilizante

Todas estas preguntas deben de analizarse y resolverse según las condiciones y recursos de cada lugar,

## PAPEL DEL DIGESTOR EN LOS SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUCCION

Definiremos el sistema integrado de producción, como uno que tiende siempre al óptimo aprovechamiento de los recursos. Es decir, en él convergen una serie de tecnologías - que permiten un mejor aprovechamiento del agua, el suelo, la energía, la materia orgánica y de los nutrientes.

Para lograr lo anterior, es necesaria la acción del hombre sobre los medios terrestres y acuáticos, hasta lograr un círculo continuo de producción donde es mínima o nula la participación de agentes externos. (fertilizantes químicos por ejemplo). Estos sistemas tienen como objetivos:

a).- Conservar la tierra y el agua por medio de un manejo científico que refuerce el ciclo biológico de la naturaleza, que evite toda la contaminación y que a bajo costo, consiga una ración alimenticia equilibrada durante todo el año.

b).- Aislar y destruir a los agentes patógenos responsables de numerosas enfermedades.

c).- Producir fertilizantes naturales integrados a los cultivos intercalados y múltiples, de acuerdo con un control biológico.

d).- Obtener a nivel de poblado, fuente de energía que satisfaga las necesidades domésticas (alumbrado, - cocina, refrigeración, etc. )

La integración de todos los elementos es una práctica común en países Asiáticos; sin embargo, no existen en América y deben buscarse las formas de investigación y educación para su adaptación y difusión en el campo americano.

Para lograr una percepción de este conjunto, - analicemos el esquema en el que se ve con claridad los y elementos: ( fig. 17)

- 1.- Producción de Biogas.
- 2.- Crianza (cualquier tipo de animal)
- 3.- Digestores (Biogas, Fertilizantes, horticu- cultura, etc. )
- 4.- Vegetales
- 5.- Heces de Agua dulce.

Lo importante es percibir y estudiar las formas de relacionar y mejorar el uso de cada elemento; en efecto, en la agricultura moderna se realizan enormes gastos en comprar abonos o alimentos compuestos y se desperdician los estiércoles o los esquilmos de la producción vegetal. En nuestro caso, vemos que con el uso del digestor se recupera un fertilizante de excelente calidad, se-

produce gas y de este modo se aumenta la producción piscícola y hortícola.

La recirculación se introduce entonces, como una base de relación entre los productos y lo que es más importante, se logra una mayor satisfacción de las necesidades humanas básicas.

## LOCALIZACION DEL DIGESTOR. ENCUADRAMIENTO DE LA GRANJA

Aparte además de preocuparse por el proceso o por el seguimiento biológico del mismo, lo importante es instalar el digestor adaptándose al terreno que tengamos disponible.

El digestor deberá estar lo más cercano posible al lugar donde se va a emplear el sustrato digerido; debe de estar cerca al lugar donde defecan los animales o habitan.

Se debe de situar en un lugar donde no haya mucho movimiento de personas o de implementos agrícolas, con el fin de que no estorbe los accesos a terrenos o bodegas.

Debe de estar cercano al lugar donde se empleará el gas.

## DIMENSIONAMIENTO DEL DIGESTOR

El tamaño del digestor está dado básicamente por los siguientes parámetros:

a).- TEMPERATURA AMBIENTAL.- La temperatura nos determina el tiempo de residencia al que funcionará el digestor. En climas fríos el tiempo de residencia puede ser del orden de 30-35 días y en climas templados o cálidos el tiempo de residencia será de 25 días.

b).- TIPO DE SUSTRATO.- El tipo de sustrato determina la cantidad de agua necesaria para diluir el sustrato, antes de ser introducida al digestor. El estiércol de vaca requiere de 1.5 a 2.0 partes de agua por parte de estiércol. Y el de cerdo de 1.0 a 1.5 partes de agua por parte de estiércol. Y hay que tomar en cuenta también la cantidad de animales que se tengan y la cantidad de Kg. que excreta cada especie.

c).- CANTIDAD DE SUSTRATO DISPONIBLE DIARIAMENTE.- La cantidad de sustrato disponible más el agua de dilución, en conjunto con el tiempo de residencia, nos dan el volumen del digestor requerido para el procesamiento del sustrato.

Un ejemplo práctico de como dimensionar el di-

gestor sería el siguiente:

Se requiere instalar un digestor para procesar el estiércol de 50 cerdos adultos y cien cerdos pequeños o de talla mediana.

El clima sería cálido (25°C) lo cual nos permite trabajar a un tiempo de residencia (O) de 25 días.

¿ De que volúmen debe ser el digestor ?

¿ De que dimensiones ?

Tenemos los siguientes datos fijados previamente:

1 cerdo adulto produce 2 Kgs. de estiércol/día

1 cerdo mediano produce 1 Kg de estiércol/día.

ENTONCES

50 cerdos adultos producirán 100 Kg.estiércol/día

100 cerdos medianos producirán 100 Kg.estiércol/día

TOTAL            200 Kg. estiércol/día

Como ya mencionamos la dilución del estiércol debe de ser de 1 1.5 partes de agua por partes de estiércol.

200 Kgs. de estiércol

300 Kgs.(lts.) de agua

500 lts. de mezcla (volúmen total diario)

Multiplicando el volúmen total de la mezcla, -  
agua-estiércol, por el tiempo de residencia, nos dá el vo  
lúmen requerido del digestor.

Vol. total de mezcla x tiempo de residencia (0)

= Volúmen útil requerido del digestor

500 (lts. + x 25 dias

= 12 500 lts. = 12.50 m<sup>3</sup>

Las dimensiones internas del digestor (horizontal o vertical) (semicontínuo, contínuo), deberán de ser más o menos las siguientes:

DIGESTOR HORIZONTAL		DIGESTOR VERTICAL	
Altura	1.00 mts.	Altura	2.5 mts;
Ancho	2.00 mts.	Diamétre	5,5 mts.
Largo	7.00 mts.		
Capacidad total	14.00 mts. <sup>3</sup>	Capacidad total	13.75 mts. <sup>3</sup>
Capacidad util	12.50 mts. <sup>3</sup>	Capacidad útil	12.50 mts. <sup>3</sup>
Capacidad Sop.	1.5 mts. <sup>3</sup>	Capacidad sop.	1.5 mts. <sup>3</sup>

La capacidad de soporte sirve para controlar el nivel del digestor y para evitar el derrame del digestor por los lados ( fig. 18)

En el caso en que el digestor vaya a ser instalado en una región fría, (menor de 25° C la mayor parte del año), el tiempo de residencia deberá de ser de 30 a 35 días.

Es muy fácil determinar si se está trabajando a un tiempo de residencia adecuado, si el tiempo del digestor de residencia no está bien calculado, cuando el estiércol que sale del digestor huele mal, y si cuando toca

mos con la mano, persiste el olor aún después de agitar - la mano y lavarla con agua limpia. Si no persiste ningún olor desagradable y fuerte, el tiempo de residencia está bien calculado.

De preferencia se debe de emplear el mínimo de agua en la dilución ( una parte de agua por una parte de estiércol, a menudo es suficiente).

Y el menor tiempo de residencia que se le pueda al digestor es preferible; ya que con estas reducciones se disminuye la capacidad útil del digestor requerido y con ello los costos de construcción y mano de obra.

## DETALLES CONSTRUCTIVOS

A continuación se mencionan algunos detalles técnicos que hay que tomar en cuenta al momento de la construcción del digestor.

a).- PILETA DE CARGA.- La capacidad total de la piletta de carga debe de ser 20% mayor al volúmen total de la mezcla agua-estiércol que se introduzcan diariamente al digestor, es decir, si por ejemplo, el digestor es alimentado con 100 lts. de mezcla diariamente la piletta de carga deberá tener un volúmen total de 120 lts.

Este aumento del volúmen es con el fin de facilitar la actividad del mezclado y homogenización del estiércol y del agua, así evitando derrames y desperdicios.

El piso de la piletta de carga deberá estar colocado a unos 15 a 30 cms. encima del nivel de líquidos o licor mixto que existe en la cámara de fermentación (fig. 19).

Este nivel propicia que la carga del estiércol se efectúe convenientemente por gravedad.

Por último cabe mencionar que el piso de la piletta de carga deberá ir dirigido hacia la boca del tubo -

de carga. Excepto si el estiércol lleva muchos cuerpos sólidos sedimentables (piedras, arenas, etc. ) el piso de la pileta deberá construirse con pendiente contraria al tubo de carga, a fin de evitar la entrada y acumulación de estos cuerpos en la cámara de fermentación.

b).- CAMARA DE FERMENTACION.- La cámara de fermentación debe de llevar un declive de entre 4 a 6% hacia el tubo u orificio de descarga. Si por causas del terreno la cámara de fermentación se construye demasiado corta, se le puede colocar una pared deflectora en el primer tercio del piso de la cámara de fermentación; ésto es con el fin de evitar la pronta salida del estiércol a fermentar. Las dimensiones de la cámara de fermentación deberán seguir pequeñas reglas como éstas:

- Deberá de ser 2 a 4 veces más largo que ancho.
- La altura puede variar, pero de preferencia deberá tener un mínimo de un metro.
- Cuando la cámara de fermentación sea cilíndrica lo alto deberá ser también 2 a 4 veces mayor que el diámetro.
- Para digestores pequeños de menos de 1.0 m<sup>3</sup> de capacidad, será preferible construir un diseño vertical semicontínuo.

Como ya se mencionó anteriormente, la cámara de fermentación tendrá una capacidad de soporte que evite derrames de estiércol por los lados.

Aparte se menciona que, sobre las paredes de la cámara de fermentación, se pueden construir 3 (diseño vertical) o 4 (diseño horizontal) "muros guía" que nos sirven de guía al gasómetro.

c).- TUBO U ORIFICIO DE DESCARGA.- Cuando el diseño es horizontal y el sustrato, estiércol de cerdo, este tubo debe de tener unos 30 cms de diámetro si es circular, o de ancho si es cuadrado. Se deberá colocar en el primer tercio (contando del piso hacia arriba) de la pared que comunica con la pileta de descarga.

Cuando se trate de estiércol de vaca, es conveniente colocarlo hacia la mitad y en el centro de dicha pared. Cuidando que no interrumpa el paso a través del tubo, con el gasómetro que sube y baja.

cuando el diseño es vertical, el orificio de descarga estará hacia la parte superior controlando el nivel de líquidos.

d).- PILETA DE DESCARGA.- Esta pileta sirve solamente para hacer una acumulación primaria del efluente.

El tamaño de su boca deberá de ser de más o menos  $45 \text{ cms}^2$ .

e).- PILETA DE ALMACENAMIENTO DEL EFLUENTE.- -

Esta pileta deberá ser lo más grande posible, a fin de que pueda acumular estiércol tratado durante varios días, --- aproximadamente 30 días, se recomienda hacerle una profundidad no mayor de 50 cms. A fin de evitar accidentes debido a la caída de animales o personas y para favorecer la evaporación del agua.

En general es igualmente a una fosa abierta en el suelo sin ningún tipo de recubrimiento.

Tambien tiene la función para el almacenamiento de líquidos y sedimentador. Estos líquidos deben usarse para el lavado de las instalaciones (zahurdas, etc.) y para la fertilización de los terrenos agrícolas por medio del bombeo o aplicando la gravedad.

f).- GASOMETRO.- El gasómetro deberá ser construido con lámina lisa de zinc galvanizada.

Deberá tener un juego y holgura de más o menos 5 cms. con las paredes de la cámara de fermentación. Tendrá que ser impermeabilizada con asfalto derretido, sobre todo en la unión entre dos láminas.

g).- MATERIAS PRIMAS Y SUSTRATOS.- Los sustra-

tos.

Los sustratos que más comunmente son empleados para alimentar los digestores son los estiércoles animales.

A continuación se dan las principales características de los estiércoles más comunes. (figura No. 20).

En base a estas características se puede hacer un control técnico más exacto de la alimentación al digestor pues hasta ahora solamente se han mencionado recetas técnicas, ya que no nos sirven al momento en que deseamos hacer una evaluación de las eficacias o rendimiento del funcionamiento de la instalación. (figura No. 20).

El factor que nos da la cantidad de materia orgánica (sólidos volátiles: SV), que es introducida, y por unidad de volumen, es la carga volúmica. (Bv = g VSO x  $1_{ml}^{-1}$  x  $d^{-1}$ ). Y que la carga volúmica que se maneja a nivel práctico es del orden de 1-3 gVSOx  $1_{ml}^{-1}$ x $d^{-1}$ .

La siguiente relación nos puede dar la cantidad exacta de estiércol que hay que agregar a un digestor para que este funcione a una carga volúmica deseada.

$$\frac{1000}{gVSO} \times V_D \times B_v \times d .$$

1000 = Factor de Dilución.  
 gVSo = Sólidos Volátiles del sustrato.  
 $V_D$  = Carga Volúmica.  
 d = Días.

Ejemplo: Tenemos un digestor de 10 000 lts. --  
 (10 mt 3). al cual queremos alimentar a una carga volúmi-  
 ca de :  $B_V = 3 \text{ gVSo} \times 1 \text{ m}^3 \times \text{d}^{-1}$ . El estiércol sustra-  
 to es de cedro y contiene  $200 \text{ gVSo} \times \text{Kg}^{-1}$ .  
 ¿Cuánto estiércol hay que alimentar por día? .

$$V_0 = 10\,000 \text{ lts (10 m}^3\text{)}.$$

$$B_V = 3 \text{ gVSo} \times 1 \text{ m}^3 \times \text{d}^{-1}$$

$$\text{SV del sustrato} = 200 \text{ gVSo} \times \text{Kg}^{-1}$$

$$\text{días} = 1 \text{ día.}$$

$$\frac{1000}{200} \times 10\,000 \times 3 \times 1 = 150\,000 \text{ gxd}^{-1} \\ = 150 \text{ kg} \times \text{d}^{-1}$$

Hay que alimentar con 150 kg de estiércol dia-  
 rios y el resto de agua (225 a 300 lts. de agua, si el -  
 tiempo de residencia fuera de 25 días).

h) Inicio de funcionamiento del digestor.

Para iniciar el funcionamiento de un digestor hay 3 meto-  
 dos cuya eficacia ha sido comprobada en la práctica. La -  
 aplicación de cada método depende de la disponibilidad de  
 recursos.

#### h.1).- Inoculación con estiércol digerido.

Lo único que hay que hacer, hay que llenar el digestor - construido hasta más o menos un 30 a 50% de la capacidad total, con estiércol previamente fermentado en otro digestor, o proveniente de alguna fosa o estercolero antiguo. Posteriormente el nuevo digestor será llenado progresivamente con la carga normal. El biogas empezará a producirse el día siguiente.

#### h.2).- Inoculación con estiércol de Vaca.

Consiste en iniciar el funcionamiento del nuevo digestor llenándolo con estiércol de bovino muy diluído (una parte de estiércol por 5 de agua). El estiércol de vaca con tiene la flora bacteriana metanogénica necesaria para -- iniciar el proceso. La fuerte dilución con agua es con el fin de evitar la presencia de una fuerte concentración de ácidos orgánicos que retracen el funcionamiento. El inicio del proceso puede tardar de 1 a 6 semanas.

#### h.3).- Estabilización con Cal.

Se emplea sobre todo para el estiércol de cerdo, y en los casos en que no se disponga de estiércol fermentado inoculante, o estiércol de vaca.

El estiércol debe agregarse muy diluído, y complementarse con 1.5 - 2.0 grms. de cal por litro de mezcla agua - estiércol. El proceso se inicia después de 4 a 8 semanas.

i).- Parámetros prácticos de control y funcionamiento de los Digestores. Anteriormente ya se vieron los parámetros técnicos y científicos más importantes para hacer el seguimiento y evaluación del funcionamiento de un digestor. Complementando a estos parámetros y ampliando la información, se dan los parámetros prácticos que regulan el proceso desde el punto de vista práctico:

1).- Olor.

Un estiércol bien fermentado carece de olores fuertes fétidos. Esto es indicio de que el proceso no ha sufrido desequilibrio. Incluso, con un poco de práctica, es posible en base al olor, distinguir un estiércol fermentado. Al introducir la mano al afluyente del digestor, y aerearla y lavarla con agua limpia, no deberá permanecer ningún olor en la mano.

2).- Combustibilidad.

Si el gas que se produce no enciende o no sostiene la flama, existe un desequilibrio biológico que impide la producción adecuada del metano. Este gas, producido en mayor porcentaje, es el  $CO_2$ , lo cual es indicio de inhibición de las bacterias metanogénicas.

3).- Producción del Gas.

Una vez iniciado el funcionamiento de un digestor, después de 1.5 meses de trabajo, se regularizará la produc-

ción de gas también es indicio de desequilibrio.

4).- el P H.

Repetimos este parámetro ya que es sumamente fácil de medir. Es muy exacto. Un P.H. de entre 7.2 a 7.4 es perfecto. Por debajo o arriba de estos valores es un proceso - tendiente al desequilibrio.

Cabe informar que un digestor funcionando con estiércol de cerdo o de vaca, casi nunca presenta problemas biológicos graves de funcionamiento.

Los problemas más comunes son físicos, tales - como la fuga de gas, crecimiento de natas y costras, taponamientos, agrietamientos, etc.

## Empleo de productos del Digestor.

### Usos del Efluente.

El estiércol fermentado ha sido ampliamente utilizado sobre todo en actividades agrícolas y piscícolas. Cabe mencionar que el estiércol estabilizado líquido o seco es de fácil aplicación y con nutrientes fácilmente asimilables; las plantas o estanques abonados jamás, presentan problemas de intoxicación. En fin, en la práctica el proceso permite hacer un uso adecuado e inmediato de los estiércoles.

Con respecto a la fertilización de los estanques piscícolas, es necesario remarcar que la cantidad de estiércol fermentado que hay que aplicar, depende sobre todo, de los niveles de oxígeno de las aguas. Debe de ser una cantidad de estiércol dada, tal que provoque una buena producción de fitoplancton (aguas verdes), pero que evite una anoxia de las aguas y una eventual eutroficación excesiva.

El bioabono (efluente del digestor), puede aplicarse directamente a los campos de cultivo, el volumen de bioabono producido diariamente es igual a de la carga diaria.

El color de bioabono generalmente es un poco más oscuro -- que el material que se ingresa por la pileta de carga,

en algunos casos en que se emplea una importante porción de desechos vegetales, el color es casi negro.

En cualquiera de los casos, el efluente carece de mal olor y no atrae moscas, y la mayor parte de los - micro-organismos patógenos han sido eliminados.

Aparte es usado en el reciclaje alimenticio.

### .- Usos del Biogas.

El Biogas producido se ha empleado básicamente para cocción de alimentos en hornillos convencionales de gas butano modificados.

También se ha empleado en menor escala para iluminación y calefacción de cerditos y pollitos.

Según una serie de mediciones efectuadas, una familia de 6 miembros requiere de 1.0 a 1.5 m<sup>3</sup> de Biogas para la preparación de sus alimentos.

(Algunos datos base se dan en la fig. 21) .

Una hornilla consume entre 2 y 4 litros de Biogas por minuto, y una lámpara Coleman modificada, de 1.5 a 3.0 lts./min.

La hornilla de un calefactor para pollitos puede consumir entre 8 y 10 lts/min.

Para usar el Biogas en la cocina, si no se dispone de una estufa de gas propano, puede construirse una de barro y fabricar para ella un quemador de metal, y dos quemadores más pequeños de barro.

Para usar el Biogas en el alumbrado, pueden emplearse lámparas comerciales de camisa o bien puede

fabricarse una especial. El gas que demanda una lámpara\_ debe de estar a mayor presión que el que se usa en una - estufa, y la luminosidad que se logra está en relación - directa con la presión aplicada. Puede llegar a obtenerse luminosidades equivalentes a las que se producen en las bombillas incandescentes de 50 wats.

Para usar el biogas de combustión interna, deberá hacerse una sencilla adaptación al brazo que sostiene el filtro de aire; por éste entrará el biogas, y la - proporción de la mezcla aire-biogas se regulará mediante una válvula colocada en la tubería del biogas.

Una vez que ya se ha logrado que el motor funcione bien puede emplearse para generar electricidad para extraer agua mediante bombeo, para impulsar agua para riego o cualquier otra aplicación adecuada para motor de gasolina o diesel.

---

CONSUMO APROX. DE BIOGAS SEGUN LA FORMA COMO SE UTILIZA

---

COCINA (POR PERSONA AL DIA)	0.35 - 0.45 m <sup>3</sup>
PARA OPERAR LAMPARAS DE GAS	1.1 luz/hora
PARA OPERAR MOTORES DE GASOLINA	0.45 m <sup>3</sup> /BHP/hora
PARA PRODUCIR ELECTRICIDAD	0.6/1Kw hr. de elec:
EN LUGAR DE GASOLINA	1.7m <sup>3</sup> /lt.

---

Tomado de Handbook of appropriate technology of the Canadian Munger Foundation (1977). Traducción CEMAT.

## RESULTADOS

El objeto de este capítulo es dar los resultados óptimos esperados y los resultados prácticos obtenidos. Estos resultados se hicieron bajo la práctica del Instituto de Investigaciones sobre Recursos Bióticos.

Los resultados óptimos fueron obtenidos en el laboratorio bajo condiciones controladas (35°C; O= 20 -- días; Bv = estable). La importancia de estos resultados es que nos sirven de referencia para medir la eficacia real con la que se trabaje en la práctica. Son un patrón de referencia indiscutible.

### RESUMEN DE RESULTADOS OPTIMOS ESPERADOS

Como ya se mencionó, estos resultados fueron obtenidos en el laboratorio bajo condiciones de fermentación controlada; la siguiente figura 22 dá la relación de cada uno de los sustratos más comunes y los principales resultados obtenidos.

PARAMETRO	TIPOS DE ESTIERCOL		
	CERDO	BOVINO	CABALLO
Ve ( $1\text{gas} \times 1^{-1}\text{mlxd}^{-1}$ )	1.14	0.6-0.8	0.48
%CH <sub>4</sub>	70	60	68
Yec ( $1\text{CH}_4 \times \text{gVSo}^{-1}$ )	0.26	0.15 -0.20	0.13
Yconv ( $\text{gVSr} \times \text{GUSo}^{-1}$ )	0.40	0.30	0.24
pH	7.78	7.4	7.2
Alcalinidad	60	60.-70	22.15
N tot.	2.0	2.5	---
NH <sup>+</sup> 4	0.75	0.90	0.095

Fig. 22 resultados óptimos obtenidos en laboratorio.

#### RESULTADOS PRACTICOS OBTENIDOS

Estos resultados fueron obtenidos en el campo, bajo condiciones de digestión prácticamente no controladas.

( T°= variable; O= variable; Bv=variable).

PARAMETROS	TIPOS DE ESTIERCOL	
	CERDO	BOVINO
$V_e (1 \text{ gas} \times 1^{-1} \text{ ml} \times \text{d}^{-1})$	0.45	0.2 - 0.3
% CH <sub>4</sub>	60 - 65	55 - 60
$Y_{ec} (1 \text{ CH}_4 \times 1^{-1} \text{ ml} \times \text{d}^{-1})$	0.13	0.11
$Y_{corv} (\text{gV} \times \text{Sr} \times \text{gV} \times \text{So}^{-1})$	0.33	0.25 - 0.30
pH	7.5	7.4
Alcalinidad (meg/lt)	60 - 70	35
N tot (gr x Kg <sup>-1</sup> 0)	2.0	1.5
NH <sub>4</sub> (gr x Kg <sup>-1</sup> )	1.5	1.0

Fig. 23 Principales resultados obtenidos a nivel práctico en condiciones no controladas.

## INDICES DE EFICIENCIA Y RENDIMIENTO

Como se puede observar en las tablas anteriores, en la práctica se ha logrado trabajar con eficiencias volúmicas, de más o menos 40% con respecto a los valores óptimos; el Yec ha sido al orden de 50% y la conversación de 80%, también con respecto a los valores óptimos.

Tomando en cuenta que son instalaciones semirústicas sin agitación, ni calefacción, estos índices son bastantes aceptables y pueden servir de referencias para medir eficiencias y rendimientos obtenidos en varias zonas del país.

## RESULTADOS GENERALES

En sí como resultado se toma como consideración general, que el método biológico de tratamiento, es más económico requiere de menos mantenimiento y no consume energía, -- son igual o más eficaces que los métodos físico-químico\_ además la legislación sanitaria que nos regula las descargas de los animales a las aguas naturales es clara y estricta.

Aparte que con este proceso son casi eliminados en su totalidad los agentes patógenos.

Además de usar los residuos sólidos (bioabono) para reciclaje alimenticio y como fertilizante. Y la uti lización del biogas para diferentes fines.

El costo de inversión del Digestor es benefico porque es hace a largo y mediano plazo.

## DISCUSION

El análisis realizado sobre la situación del papel de los digestores dentro del contexto general de las granjas, es muy importante para efectuar el manejo, tratamiento y reutilización de los residuos orgánicos.

Para nuestro país, la importancia de la digestión anaerobia en general, se soporta básicamente en los aspectos de la prevención y control de la contaminación y sobre el manejo de los residuos, y además el empleo de biogas.

Con el fin de lograr un tratamiento eficaz y adecuado del estiércol, la tecnología a aplicar es la descrita anteriormente, de fácil operación, eficiente, durable, de poco mantenimiento y bajo costo.

La integración de un sistema biológico de tratamiento de residuos animales dentro del esquema de las granjas agropecuarias es positivo, ya que si él nos lleva a la colonización intempestiva de pocos o muchos animales que generan focos infecciosos en algunas de las, ya de por sí, bastantes insalubres zonas ganaderas tanto locales como rurales. Esto desde el punto de vista sanitario es negativo pues se está promoviendo la proliferación de moscas, malos olores, dispersión de enfermedades, etc.

Por lo tanto, para el manejo del estiércol se usan tecnologías muy precarias, diseñadas y construídas, en la mayoría de los casos, en forma empírica y en ocasiones instaladas para resolver las necesidades básicas de desalojo de los desechos, o bien para cumplir con un mínimo de los requisitos establecidos por la Legislación y Reglamentación Sanitaria de cada región del País.

Recientemente, las autoridades sanitarias y municipales, están haciendo serios esfuerzos para establecer normas y reglamentación que permiten una solución -- real a estos problemas. Parte muy importante de esta solución es la alternativa tecnológica que se propone.

Es importante señalar que en el transcurso del presente estudio se ha enmarcado la importancia de promover la reutilización de los efluentes tratados, que en realidad ésta es la única alternativa viable para deshacerse de los residuos tratados ya que las cantidades producidas de estos pueden ser bastante considerables. -- en sus descargas a las aguas naturales (rios, arroyos, -- etc.). Estas descargas deben ser prohibidas pues en general, no pueden cumplir con las normas mínimas sanitarias para poder ser enviadas al medio acuático.

Las ventajas de los Digestores son las siguientes:

- Bajos Costos.
- Fácil Manejo
- No requiere equipo electromecánico
- Prácticamente no necesita gasto de mantenimiento.
- No consume electricidad
- Produce energía adicional en forma de biogás.
- Permite el reuso del estiércol para actividades agropecuarias.
- Sirve el efluente como reciclaje alimenticio.
- Eficiente como proceso del tratamiento del estiércol animal y vegetal.
- Inversión amortizable
- No hay pérdida de nutrientes
- Puede construirse en zonas periféricas o zonas urbanas, pues elimina el proceso de olores por ser herméticamente cerrado.

en fin, puede considerarse que la digestión anaerobia en general, tiene gran futuro tanto desde el punto de vista ecológico como energético. Esto se corrobora al analizar las actuales circunstancias tan críticas en nuestro país.

## CONCLUSIONES

La ganadería es una de las actividades pecuarias más importantes de México y ocupada entre los 10 lugares de la ganadería mundial.

La gran zona agropecuaria del país, tiene problemas ambientales locales y regionales ocasionados por las grandes cantidades de estiércol producido, que no es tratado y dispuesto de una manera adecuada.

Los problemas ambientales han persistido y tienden a agravarse, debido a los aspectos básicos.

1.- La falta de criterios bien definidos en la aplicación de los reglamentos sanitarios.

2.- Falta de Asistencia Científica Tecnología (bajo número técnicos especializados) para dar alternativas de solución de los problemas.

Se requiere de una sistematización en la elaboración de diagnósticos regionales que sirvan de apoyo a los programas locales de prevención y control de la contaminación ambiental; tecnologías usadas, aspectos epidemiológicos, población porcícola, evaluación del impacto ambiental de los desechos.

Se debe realizar un extensionismo tecnológico que promueva el tratamiento de los desechos orgánicos -- animales a fin de lograr su reutilización pues el potencial económico de estos residuos son apreciables si son empleados con fines agrícolas, reciclaje alimenticio y la utilización del biogas,

La digestión anaerobia es un proceso biológico rápido y efectivo de la mayoría de los residuos orgánicos biodegradables, dejándolos aptos para su posterior reutilización en actividades agropecuarias diversas.

El método biológico de tratamiento (digestor) son igual o más eficaces que los métodos químicos.

Los métodos biológicos de tratamientos son más efectivos, más económicos, requieren de menos mantenimiento y no consume energía, en comparación con los métodos químicos o físico-mecánicos.

La legislación sanitaria que regula las descargas de las aguas naturales es clara y estricta, en general, sin embargo, es difícil de cumplirlo.

Un sistema adecuado para evitar descargas a las aguas naturales es el empleo de los efluentes tratados en actividades agropecuarias es el riego agrícola que --

con los efluentes es efectivo.

Como ya se mencionó en apartados anteriores, el proceso de la digestión anaerobia adquiere cada vez más importancia ya que no solo funciona para el tratamiento de desechos contaminantes sino que es una de las fuentes que nos proporcionan energía.

De hecho es un propósito que con este estudio de tesis sirva para fomentar su uso, en el proceso de desechos agroindustriales.

Aparte también se sabe que funciona a gran escala en otros países.

Así mismo se espera que sea utilizada esta tecnología en otras zonas, tanto en Jalisco como en todo el país, donde realmente hace falta, pues es imposible que en estos tiempos la contaminación por desechos orgánicos se presente o encuentre en forma tan impresionante.

El empleo de digestores en las granjas pecuarias permite captar el potencial energético de los residuos contenidos bajo la forma de biogas. Este potencial energético puede ser importante ( $0.4-0.5 \text{ m}^3 \text{ gasxm}^{-3-1} \text{ mlxd}^{-1}$ ).

Es importante dar una buena localización al di

gestor dentro de la Granja a fin de evitar acarreos innecesarios de estiércol o efluentes para uso de abonos, que no ocurran estorbos en el camino de acceso, que el lugar del uso del biogas esté cercano, etc.

En general, los diseños de digestores que se mencionan en esta tesis, han sido probados con éxito, y pueden ser reproducibles entre otras zonas.

El futuro de la tecnología es amplio, debido a la inmediata aplicación en nuestro país dentro del área de tratamiento y reutilización de residuos vegetales y animales, tan abundantes en México.

La tendencia actual al alza de los combustibles permite predecir la importancia a corto tiempo del uso del biogas en diversas actividades.

NOTA: Los números de la Revisión Bibliográfica no descritos en la mayoría de la metodología, material y métodos, resultados, discusión y conclusión, es porque se trata de un conjunto de estos autores.

## RESUMEN

En la industria agropecuaria una de las de mas importancia es la Ganadera.

A causa de las altas concentraciones de animales, nos producen problemas ambientales por las descargas orgánicas y ocasionando una contaminación muy marcada en el país.

El análisis realizado de esta situación del tratamiento de los residuos, se hace presente a la solución del uso del digestor (fermentación anaerobia).

El proceso de la fermentación anaerobia se logra utilizando un sistema herméticamente cerrado, donde se coloca el material orgánico a fermentar, mezclado con el agua.

Con el uso del digestor se obtienen los siguientes beneficios:

- a).- Producción de biogas
- b).- Efluente fermentado para uso de abono o riego agrícola.
- c).- Complemento alimenticio
- d).- Restricción de la disminución de agentes patógenos.

Históricamente el problema ambiental se ha marcado bastante gracias a las descargas orgánicas, por la incoordinación, planeación y ubicación de las granjas. Aparte la casi nula aplicación del Código Sanitario, además del desconocimiento Técnico-Científico.

El problema del país a la densidad ganadera de algunas regiones bastante altas y además granjas instaladas en el centro o periferia de las zonas poblacionales.

#### DESCRIPCION DEL DIGESTOR

El digestor consta de un sistema herméticamente cerrado, sus partes son:

- Pileta de carga
- Cámara de Fermentación o Reactor
- Gasómetro
- Licor Mixto.

En sí el hombre ha tenido por siglos el gas. Antes de la Segunda Guerra Mundial, Japon ya habia construido un gran número de digestores. Varios Gobiernos han realizado programas de bio-gas como Asia, Corea del Sur, china, Estados Unidos e India, Singapur, Tailandia, y el más avanzado china, siendo el primer país en prove

char esta tecnología. Actualmente en México los digestores empiezan a adquirir importancia.

La función de este proceso, es que el estiércol es sometido a la acción de un grupo de bacterias depurándolas que degradan las moléculas del estiércol, sin oxígeno y las convierten en gases, bióxido de carbono, metano y biomasa activa.

La digestión anaerobia se describe en 3 etapas:

- a).- Licuación de la materia orgánica
- b).- Formación de ácidos volátiles
- c).- Formación de Metano.

El objetivo de esta tesis como punto principal es que se analicen los criterios para la implantación de los digestores. También de contribuir a la disminución o eliminación de las descargas orgánicas contaminantes.

## TIPOS DE DIGESTORES

Se hace una clasificación de acuerdo al diseño (posición) y tipo de proceso empleado (continuidad a la alimentación).

En cuanto a su diseño los digestores son:

- a).- Horizontales
- b).- Verticales

En cuanto al proceso empleado hay tres clases:

- a).- Los de carga continua
- b).- Los de carga semicontinua
- c).- Los de carga discontinua.

De lo anterior se deducen seis tipos:

- 1.- Vertical Continuo
- 2.- Vertical Semicontinuo
- 3.- Vertical Discontinuo
- 4.- Horizontal continuo
- 5.- Horizontal Semicontinuo
- 6.- Horizontal Discontinuo

## GENERALIDADES DEL PROCESO BIOQUIMICO DE LA DIGESTION

Existen parámetros que influyen a la digestión mecánica y la biodegradación. Y éstos son los siguientes:

- 1.- Tiempo promedio de digestión hidráulica --  
(residencia)
- 2.- Temperatura
- 3.- pH
- 4.- Alcalinidad
- 5.- Acidos grasos volátiles
- 6.- Elementos nutritivos
- 7.- Inhibidores de la digestión anaerobia
- 8.- Relación carbono-nitrógeno
- 9.- Agitación
- 10.- Carga volúmica

## SELECCION, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LOS DIGESTORES

Aspectos básicos para seleccionar el digestor:

- a).- Tipo de terreno
- b).- Clima
- c).- Tipo de sustrato
- d).- Disponibilidad de materiales de construcción

e).- Grado del uso de mano de obra especializada.

f).- uso del biogas y efluente fermentado

#### ELECCION DE UN DETERMINADO TIPO DE DIGESTOR

Esencialmente para la decisión sobre la elección se describen las siguientes etapas:

- 1a. Determinación de la función principal
- 2a. Selección del sistema ideal guía
- 3a. Presentación del sistema real de producción
- 4a. Determinación y descripción resultante de la comparación entre el sistema ideal guía y el sistema real probable.
- 5a. Elección y descripción del sistema de producción real aportado como solución.

#### DIMENSIONAMIENTO DEL DIGESTOR

El tamaño del digestor está dado básicamente por lo siguiente:

- a).- Temperatura ambiental
- b).- Tipo de sustrato
- c).- Cantidad de sustrato disponible diariamente

## DETALLES CONSTRUCTIVOS

En los detalles constructivos se analiza cada parte de los componentes del digestor y éstos son:

- a).- Pileta de carga
- b).- Cámara de fermentación
- c).- Tubo u orificio de salida
- d).- Pileta de descarga
- e).- Pileta de almacenamiento del efluente
- f).- Gasómetro
- g).- Materias primas sustratos
- h).- Inicio del funcionamiento del digestor
- i).- Parámetros prácticos de control y funcionamiento del digestor.

## EMPLEO DE PRODUCTOS DEL DIGESTOR

-- Usos del efluente.- El estiércol fermentado se usa en actividades agrícolas y pìcìcolas. Como abono o riego, además de su uso como reciclaje alimenticio.

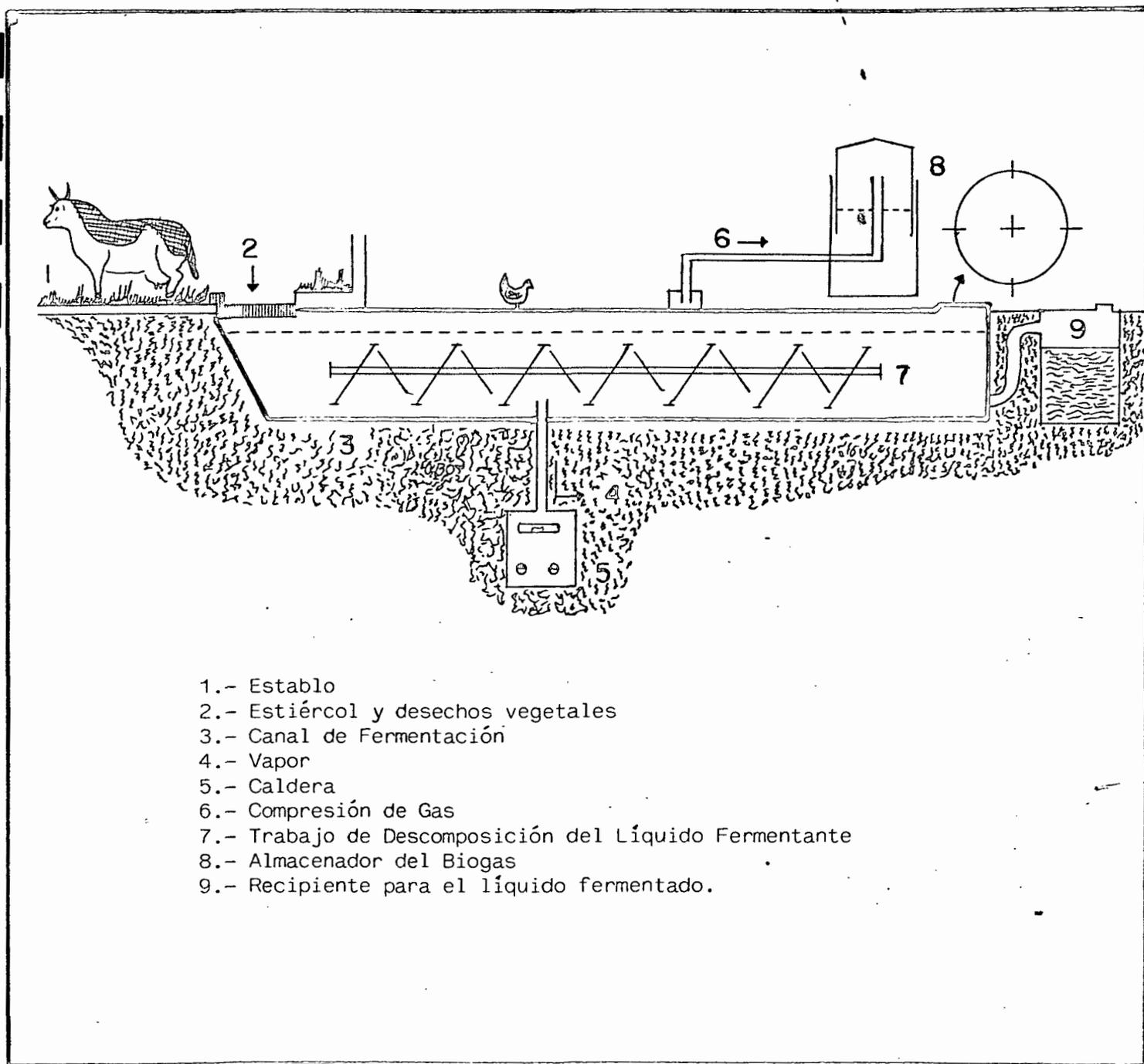
-- Uso del biogas.- El uso del biogas producido es empleado básicamente para la cocción de alimentos en hornillas convencionales de gas butano convencionales modificadas.

Tambien se han empleado para proporcionar cale-

facción e iluminación de las granjas. Uso del biogás para alumbrado. Para combustión interna.

FIGURAS Y ESQUEMAS

Figura 1 Principales componentes del Digestor.



- 1.- Establo
- 2.- Estiércol y desechos vegetales
- 3.- Canal de Fermentación
- 4.- Vapor
- 5.- Caldera
- 6.- Compresión de Gas
- 7.- Trabajo de Descomposición del Líquido Fermentante
- 8.- Almacenador del Biogas
- 9.- Recipiente para el líquido fermentado.

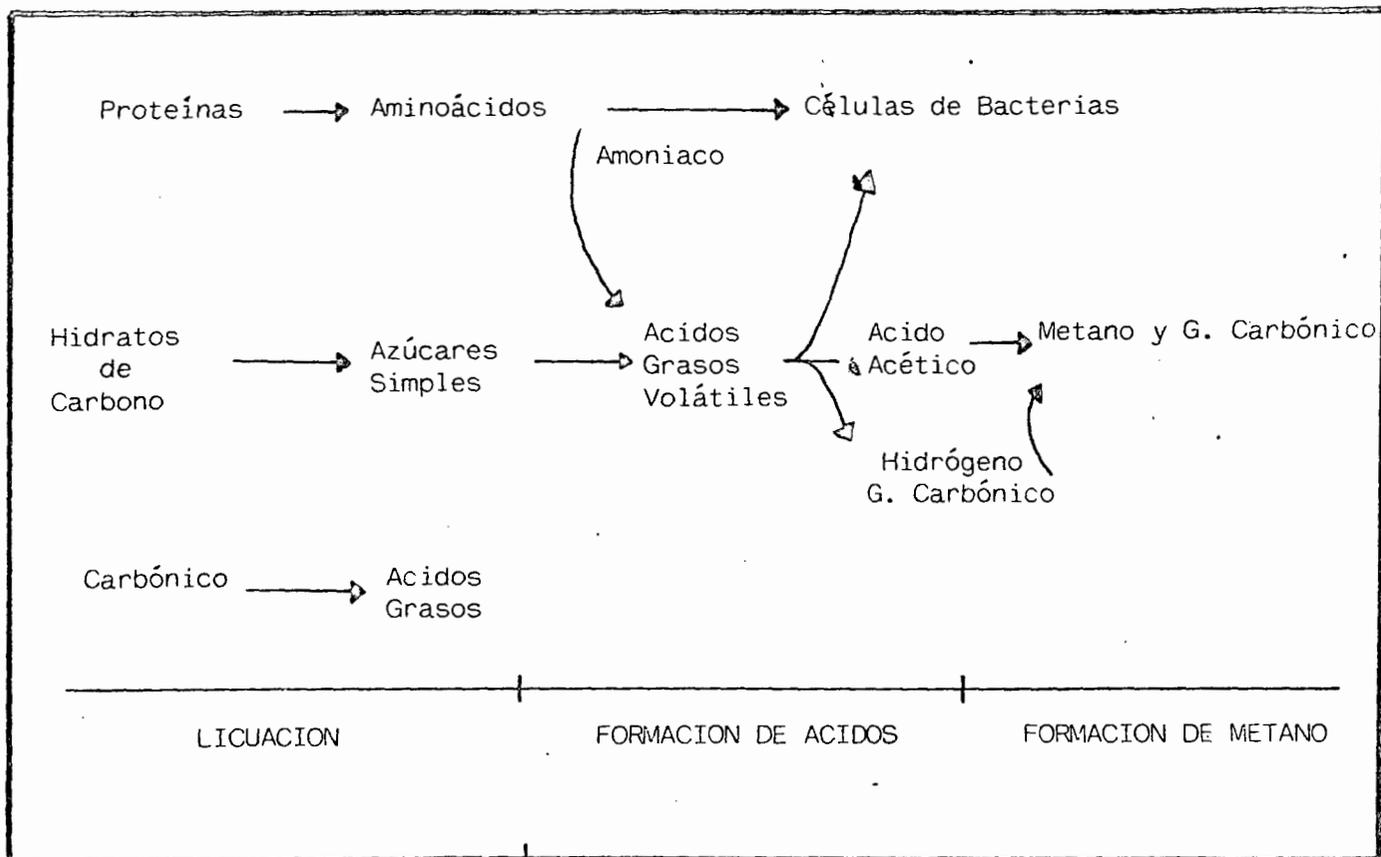
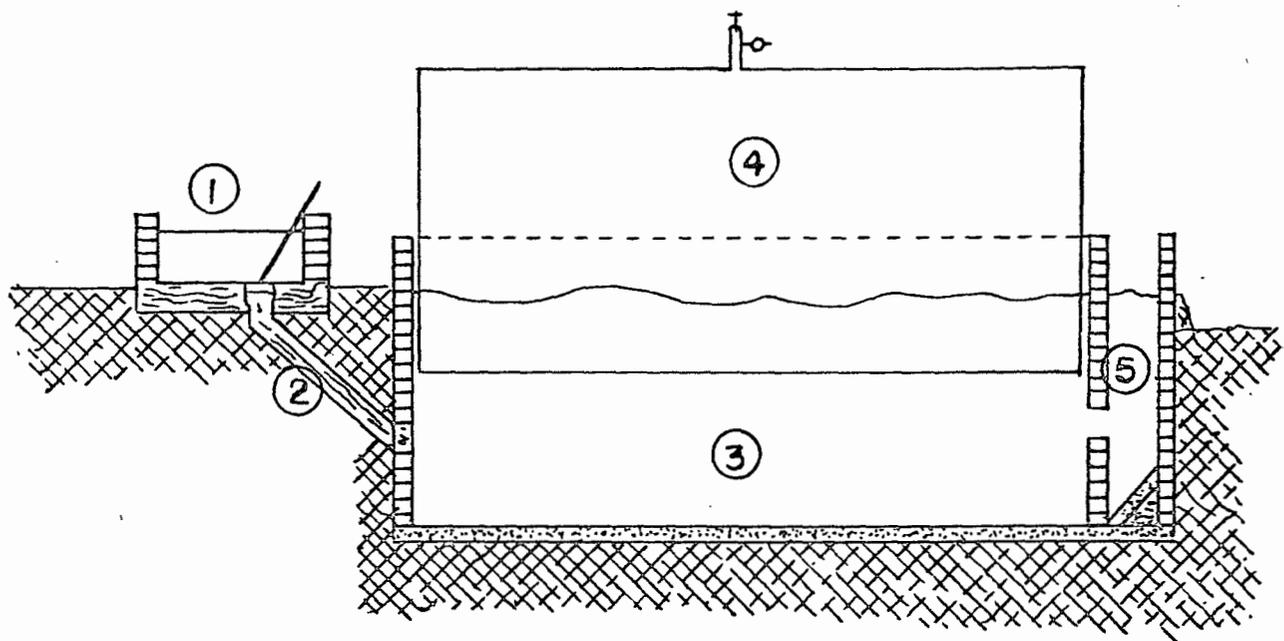


Figura 2. Etapas de la Fermentación

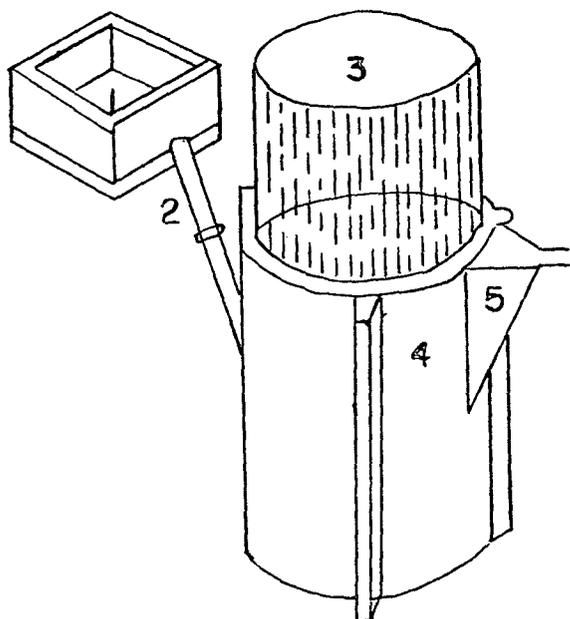


- 1.- Pileta de carga
- 2.- Tubo de Carga
- 3.- Cámara de Fermentación
- 4.- Gasómetro
- 5.- Pileta de Descarga

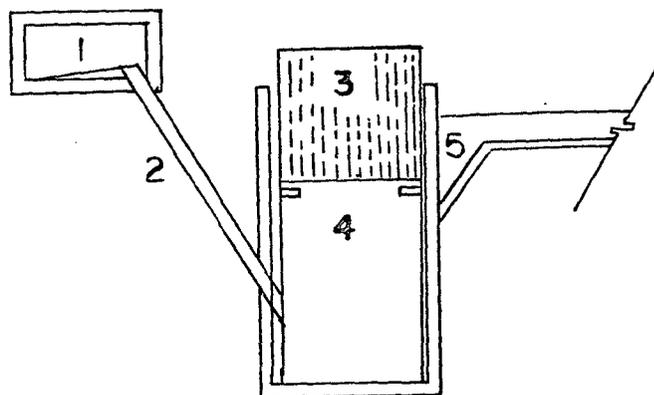
Figura 3 Componentes principales del Digestor.

		SEGUN PROCESO		
		CONTINUOS	SEMICONTINUOS	DISCONTINUOS
SEGUN DISEÑO	VERTICAL	CONTINUO VERTICAL	SEMICONTINUO VERTICAL	DISCONTINUO VERTICAL
	HORIZONTAL	CONTINUO HORIZONTAL	SEMICONTINUO HORIZONTAL	DISCONTINUO HORIZONTAL

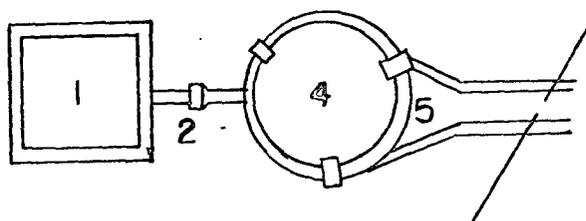
Figura 4 Tipos de Digestores según diseño y proceso empleado



CORTE HORIZONTAL

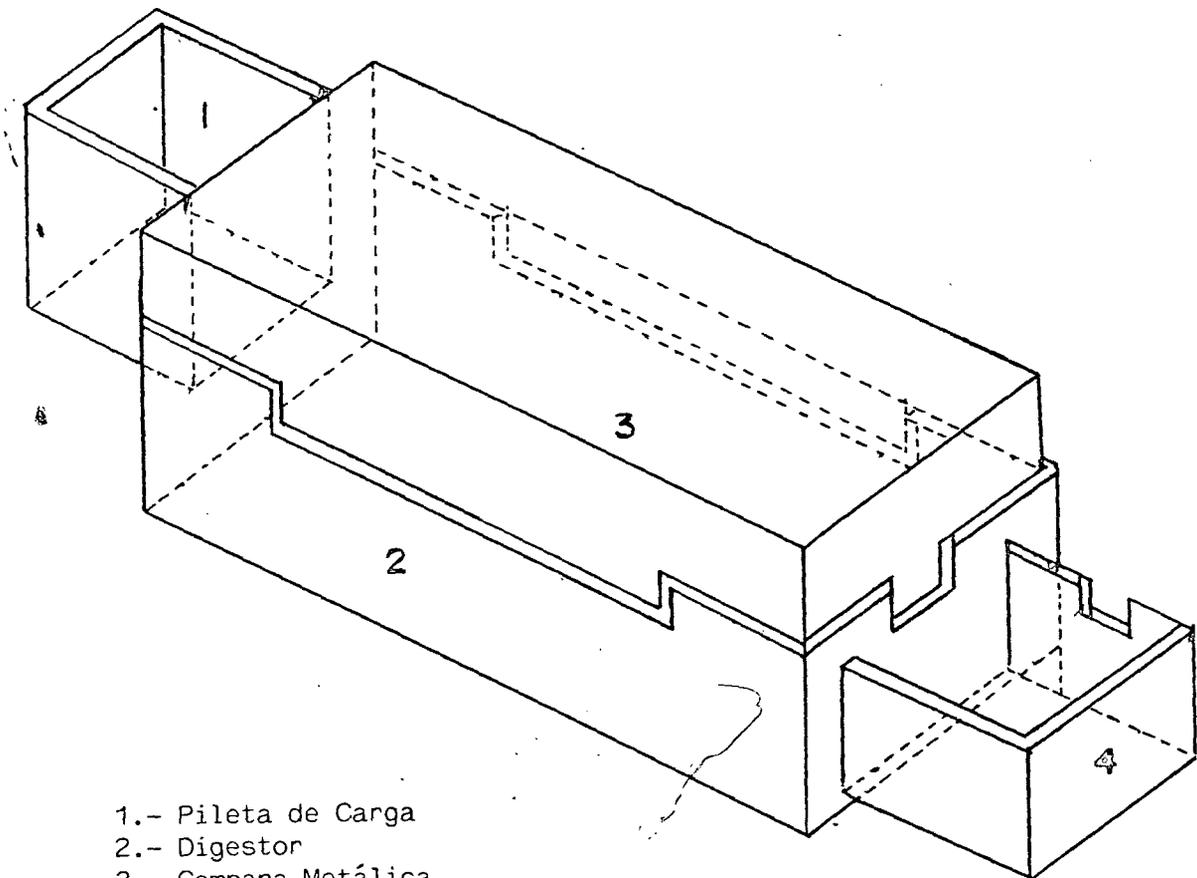


PLANTA



- 1.- Pileta de Carga
- 2.- Tubo de Alimentación
- 3.- Gasómetro
- 4.- Digestor
- 5.- Salida (ducto)

figuras 4 y 5 Perspectiva y cortes esquemáticos del Digestor Vertical Semicontínuo (Indú)



- 1.- Pileta de Carga
- 2.- Digestor
- 3.- Campana Metálica
- 4.- Pileta de Descarga

CORTE TRANSVERSAL

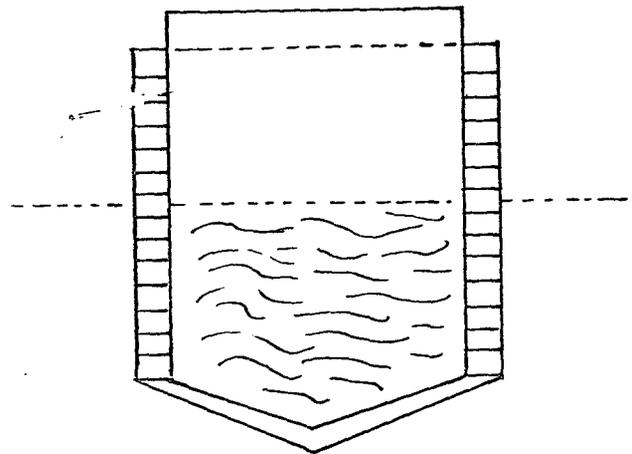
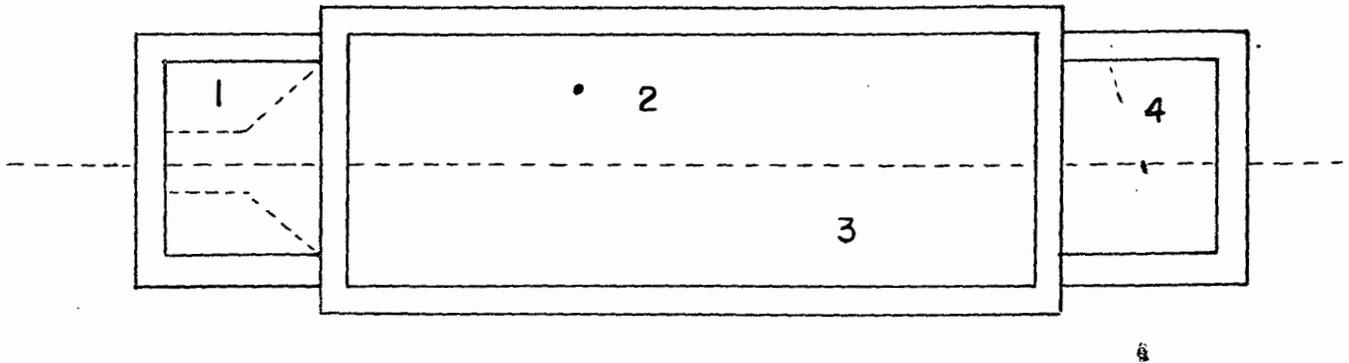
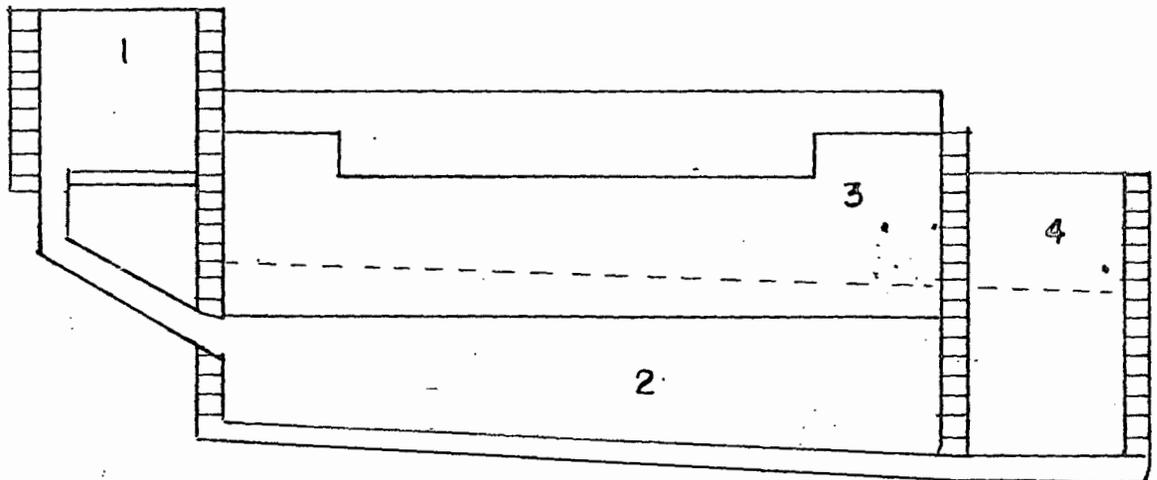


Figura 6 y 7 Perspectiva y cortes esquemáticos del Digestor Horizontal Semicontínuo (tipo INIREB)

## PLANTA



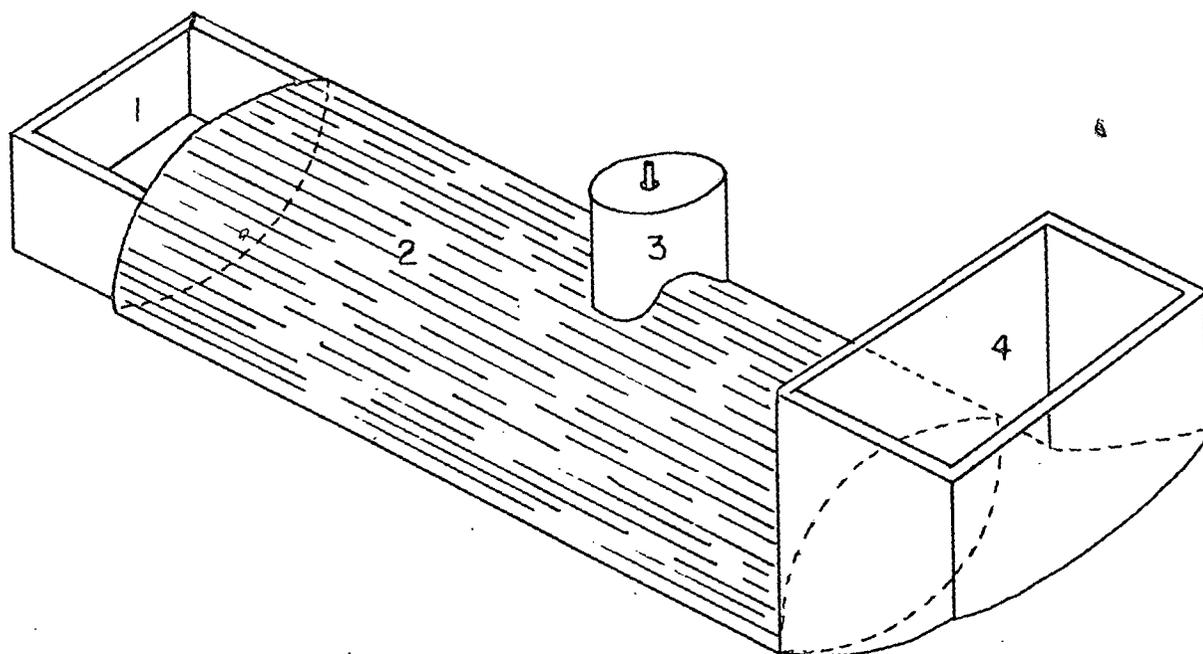
## CORTE LONGITUDINAL



- 1.- Pileta de Carga
- 2.- Digestor
- 3.- Cámara Metálica
- 4.- Pileta de Descarga

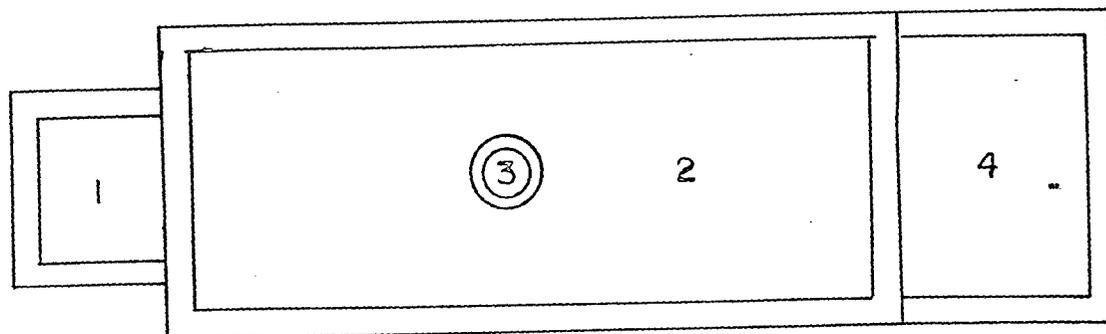
Figura 6 y 7 Perspectiva y cortes esquemáticos del Digestor Horizontal Semicontínuo (tipo INIREB)

PERSPECTIVA



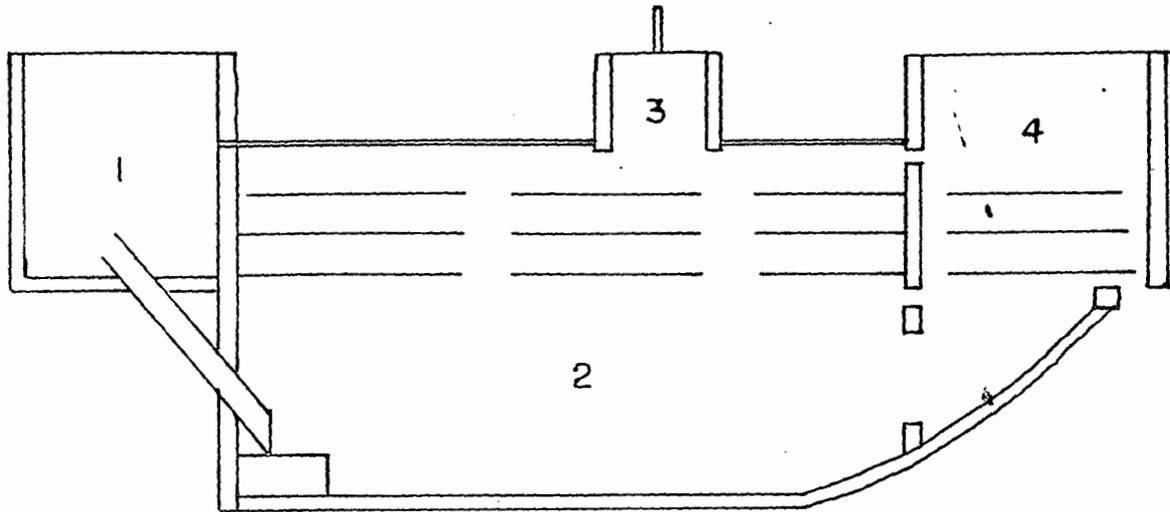
- 1.- Pileta de Carga
- 2.- Digestor
- 3.- Tubo de Gas
- 4.- Pileta de Descarga

PLANTA



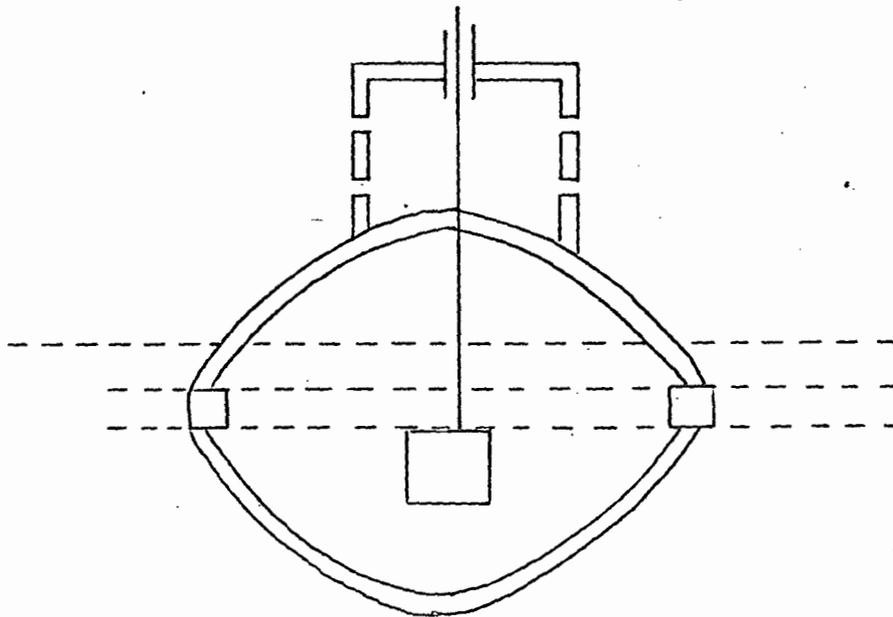
Figuras 8 y 9 Perspectiva y Cortes esquemáticos del Digestor Horizontal Semicontínuo sin Gasómetro.

## CORTE LONGITUDINAL



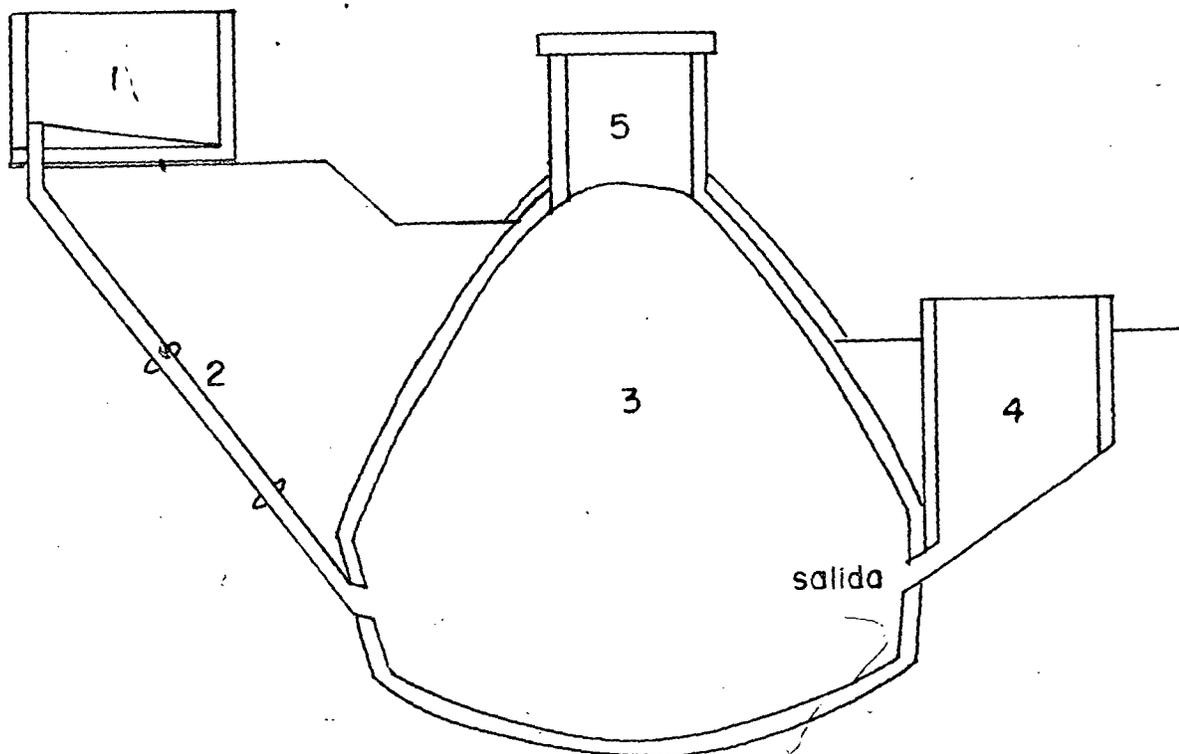
- 1.- Pileta de Carga
- 2.- Digestor
- 3.- Tubo de Gas
- 4.- Pileta de Descarga

## CORTE TRANSVERSAL



Figuras 8 y 9 Perspectiva y cortes esquemáticos del Digestor Horizontal Semicontínuo sin Gasómetro.

## CORTE LONGITUDINAL



- 1.- Pileta de Carga
- 2.- Tubo de Alimentación
- 3.- Digestor
- 4.- Pileta de Descarga
- 5.- Registro

## PLANTA

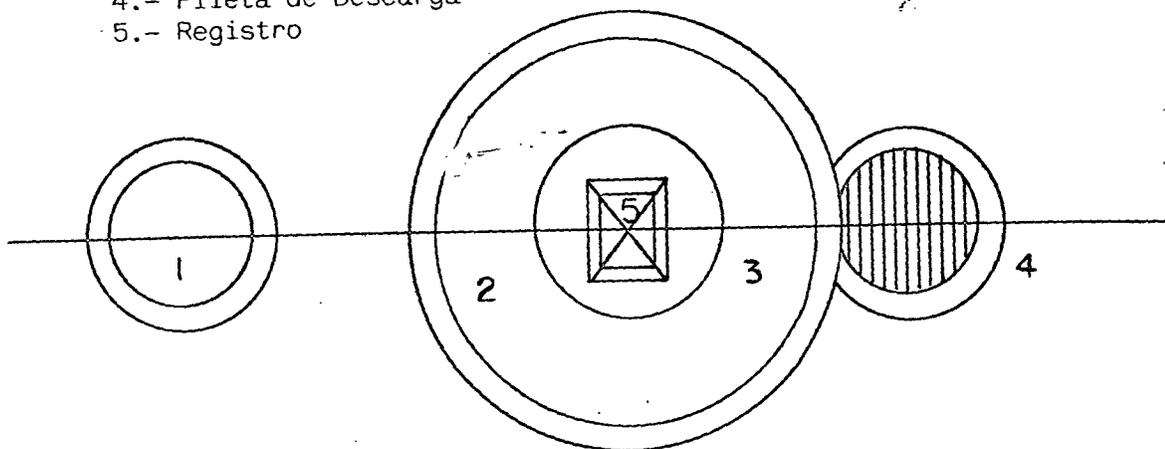
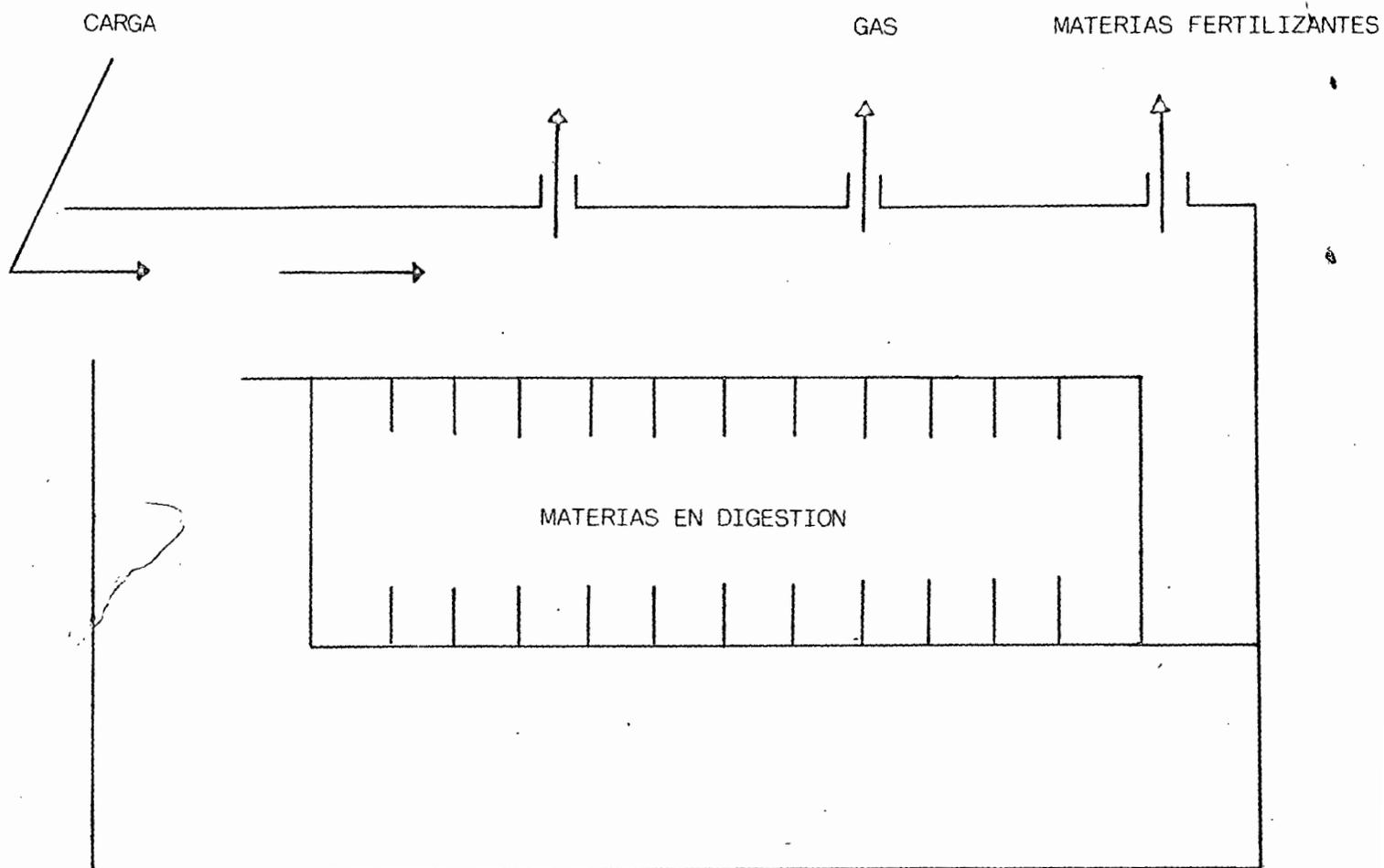
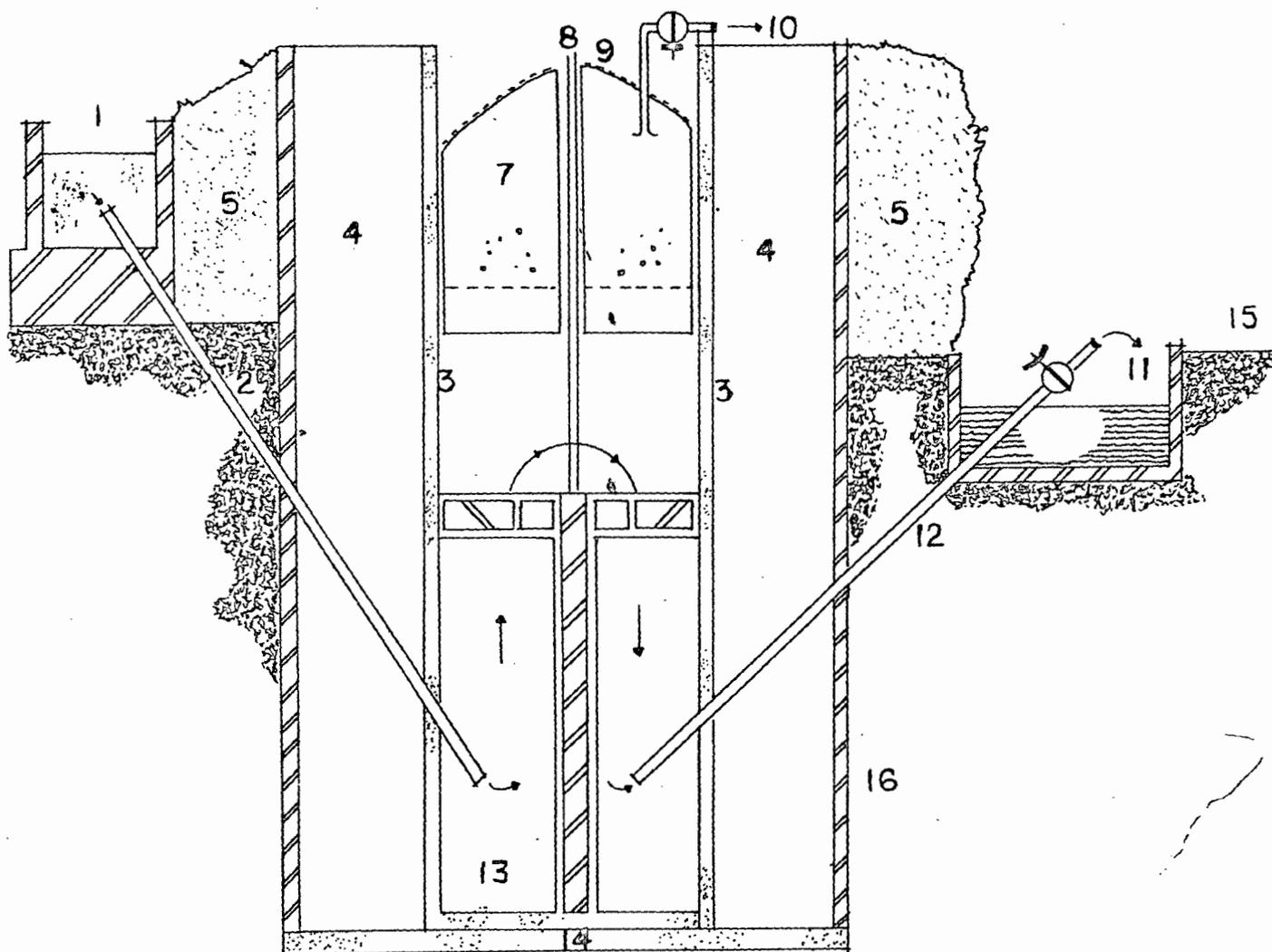


Figura 10 Cortes esquemáticos del Digestor Tipo Chino Esférico



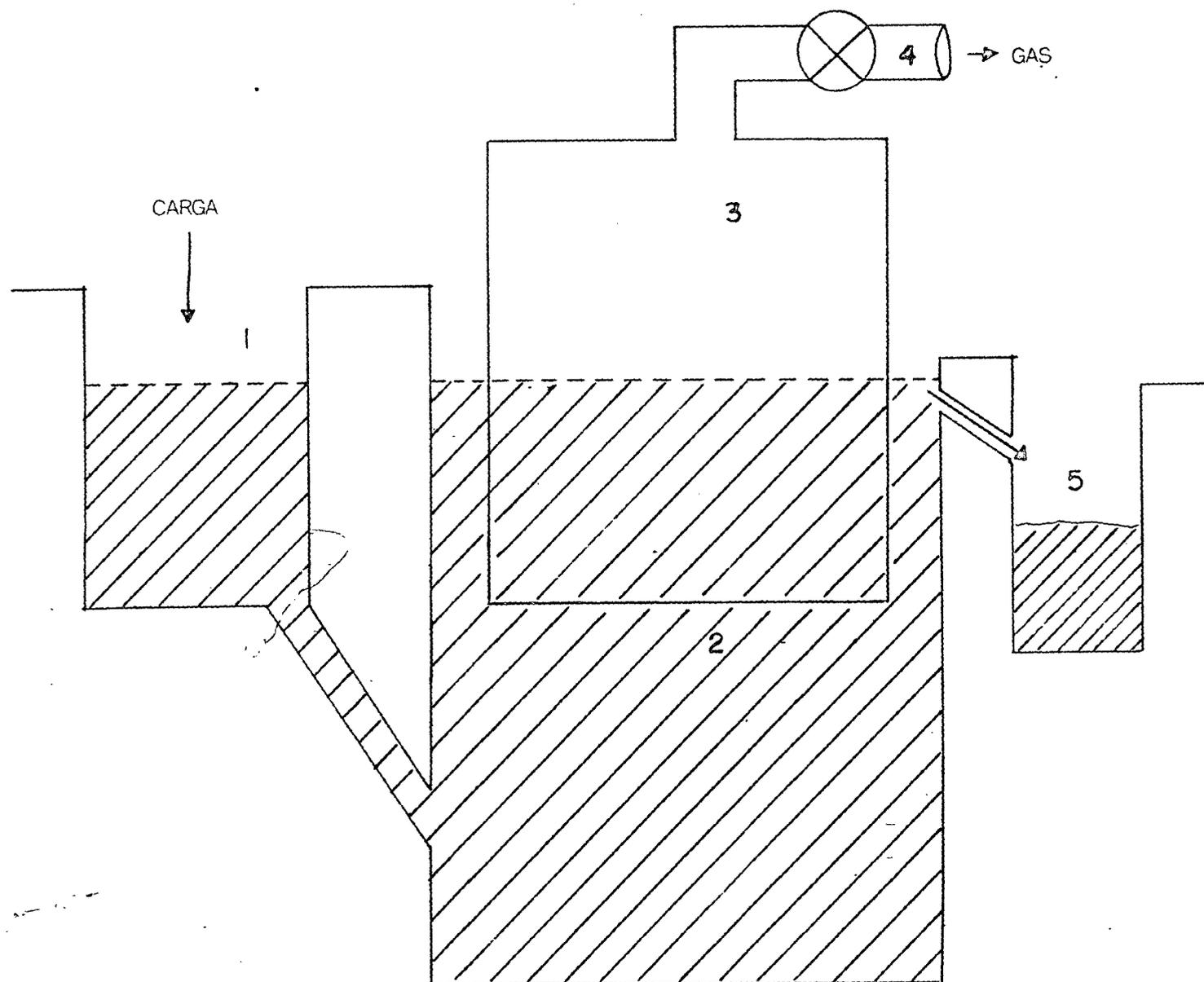
( Sección Longitudinal del Canal )

Figura 11 Dogestor Horizontal Discontínuo



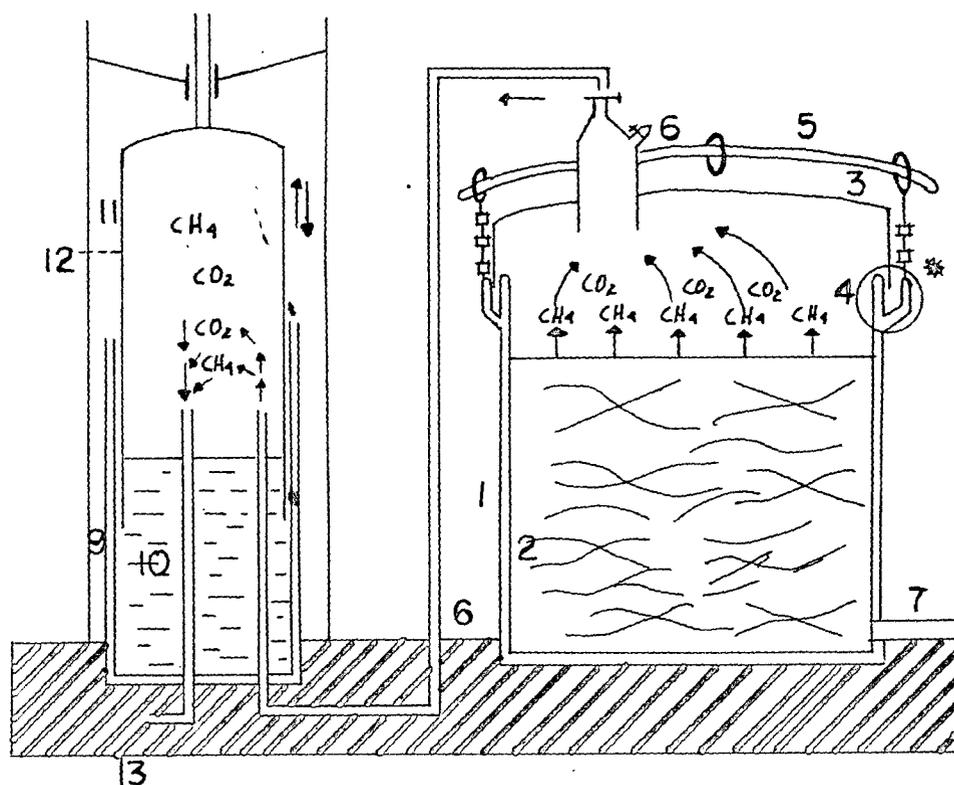
- |  |                                 |
|--|---------------------------------|
| 1.- Recipiente materia prima               | 9.- Campana                     |
| 2.- Conducto de aprovisionamiento          | 10.- Conducto de salida del gas |
| 3.- Pared de Generador                     | 11.- Recipiente de descarga     |
| 4.- Aislación (paja de trigo, etc.)        | 12.- Conducto de evacuación     |
| 5.- Aislación                              | 13.- Sub-base de hormigón       |
| 6.- Tabique dividiendo en dos el generador | 14.- Base de hormigón           |
| 7.- Gas biológico                          | 15.- Suelo                      |
| 8.- Guía metálica para la campana          | 16.- Pared externa              |

Figura 12 Digestor Vertical Continuo ( Singh 1972 )



- 1.- PILETA DE CARGA
- 2.- DIGESTOR
- 3.- CAMPANA
- 4.- CONDUCTO SALIDA DE GAS
- 5.- PILETA DE DESCARGA

Figura 13 Digestor Vertical Continuo



- 1.- Cuba de Cemento
- 2.- Materia Fermentable más 10% de agua
- 3.- Cubierta de Chapa resistente
- 4.- Juntura hidráulica
- 5.- Borra para cerrar a presión
- 6.- Conducto de ensayo
- 7.- Salida de materias fermentadas
- 8.- Tubo conducto de gas
- 9.- Cuba de Cemento del gasómetro
- 10.- Agua
- 11.- Campana de Chapa (metálica)
- 12.- Pilares para guiar la campana
- 13.- Gas para ser utilizado.

Figura Digestor Discontinuo Vertical  
 Procedimiento Ducellier-Isman (Devon y Thery D 1977)

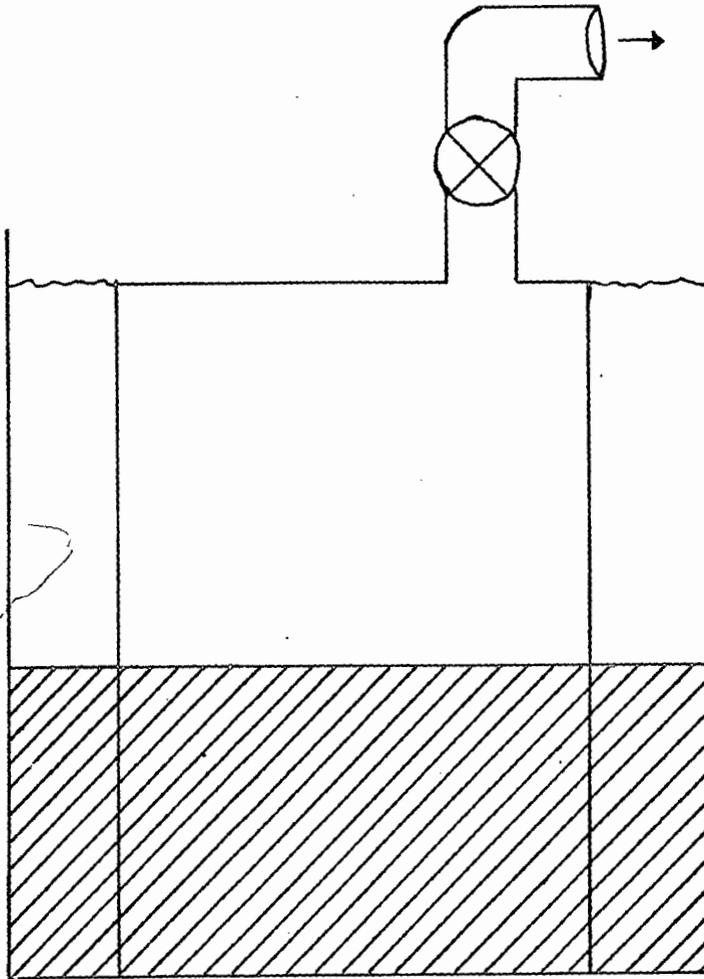
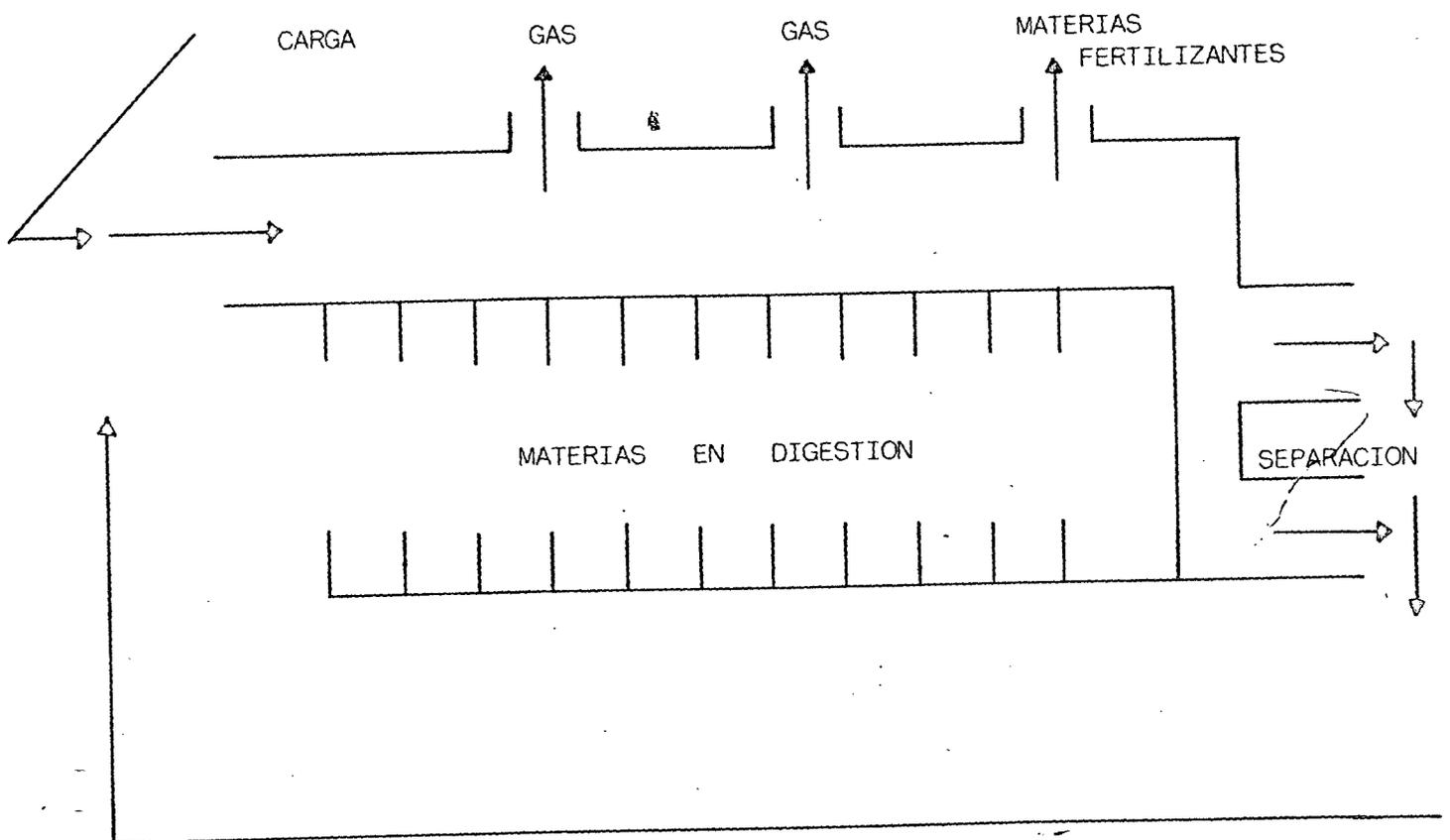


Figura 15 Digestor Vertical Discontinuo



( Sección Longitudinal del canal )

Figura 16 Digestor Horizontal Continuo

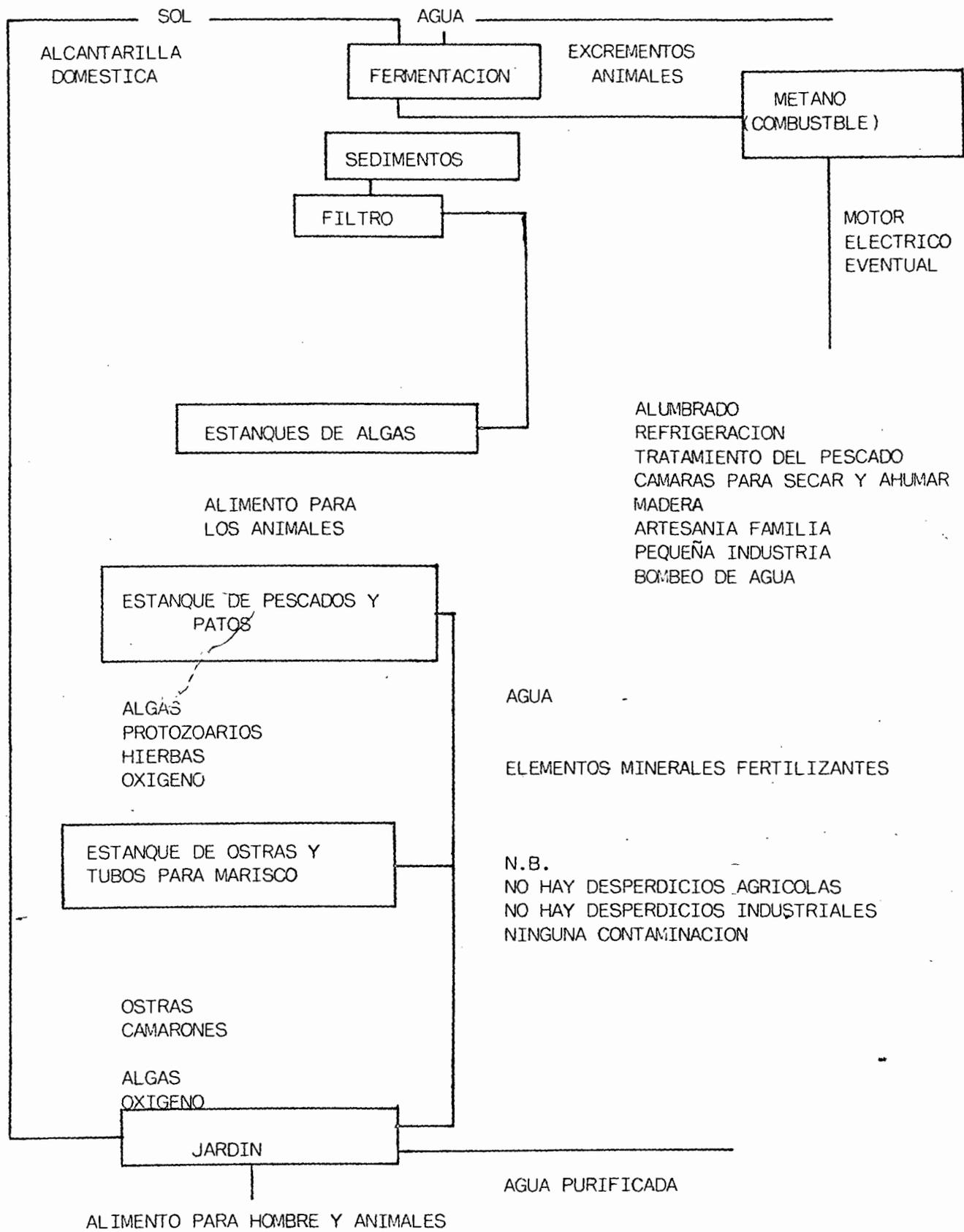
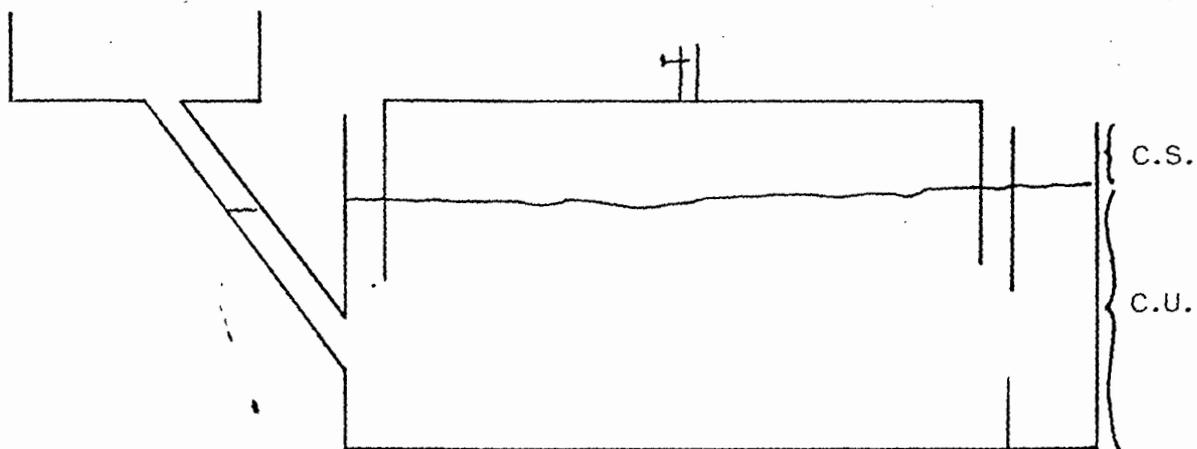


Figura 17 Unidad Integrada de Explotación Agrícola (Chan, 1972)



C.S. CAPACIDAD DE SOPORTE

C.U. CAPACIDAD UTIL

Figura 18 Esquema que marca la capacidad útil y la capacidad de soporte

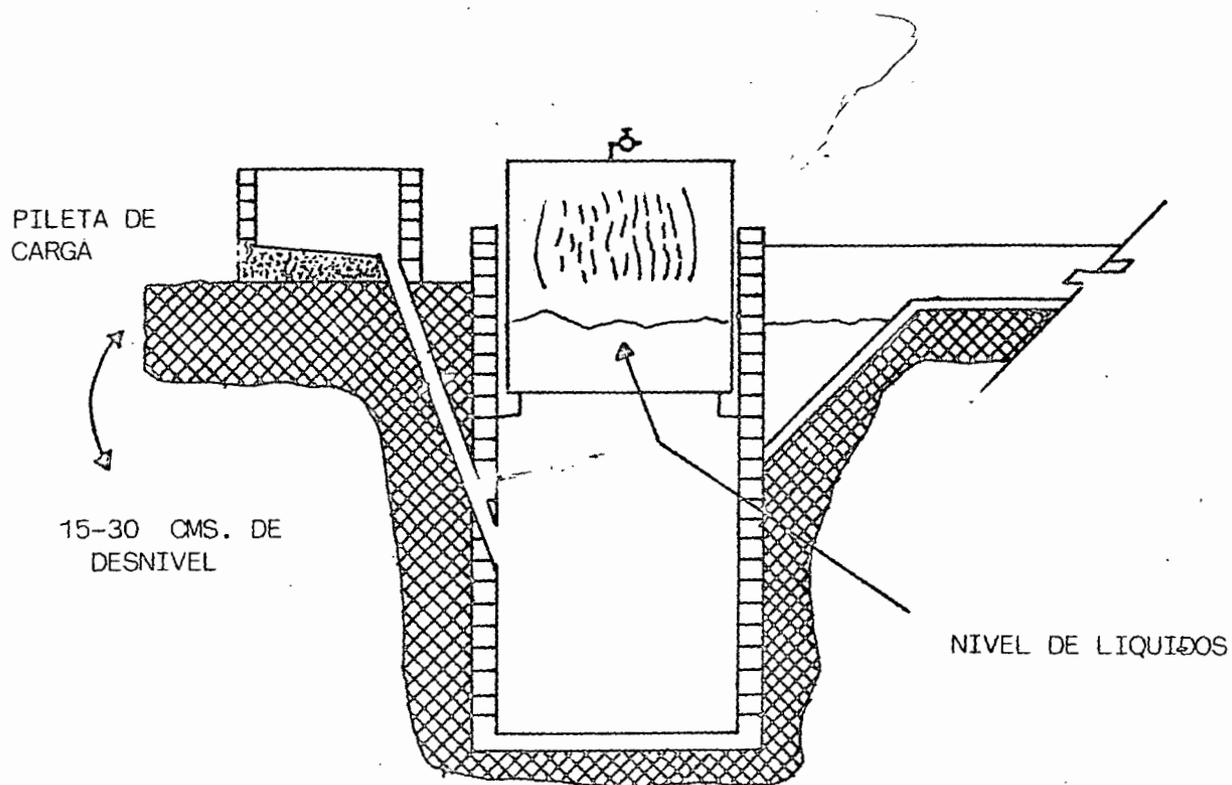


Figura 19 Colocación de la pileta de carga con respecto al nivel de líquidos.

E S T I E R C O L E S					
CARACTERISTICAS	VACA	CERDO	POLLO	CABALLO	CHIVO
S.T. (g x Kg <sup>-1</sup> )	150	300	418	309	337
S.V. (g x Kg <sup>-1</sup> )	125	200	328	258	263
p.H.	6.70	6.5	5.26	---	---
ALCALINIDAD	25	16.0	5.6	3	28
NTK	2.3	7	2.5	5	7.6
N H + 4	0.25	1.7	1.27	0.56	1.17

Figura 20 Caracterización Química de Algunos Estiercoles - Animales.

ALIMENTO	Tiempo de cocción en minutos	Biogas Consumido en litros	Lts. de gas-consumido x Min
2 HUEVOS	4 - 5	12 - 13	2.6 - 3.0
1/2 KG. FRIJOL	88	173	2.0
1/4 KG. ARROZ	55	103	1.9
1/2 KG. NIXTAMAL	31.3	58.3	1.9
200 G DE SOPA DE PASTA	43.6	85.2	1.95
2 LTS. DE AGUA EN EBULLICION	30	75.3	1.5

Figura 21 Consumo de Biogas en la producción de algunos alimentos típicos.  
(mediciones hechas a nivel del mar  $\pm$  30°C)

## SIMBOLOS Y UNIDADES

## INDICES:

- e = Residual (en el efluente)  
 o = Introducido  
 r = Eliminado

## OBREVIACIONES:

- Bv = Carga Volúmica  
 d = Días  
 $d^{-1}$  = Día  
 DBO = Demanda biológica de oxígeno  
 l = Litros  
 LM = Lector Mixto  
 TS = Materia en sólidos totales ( $g \times l^{-1}$ )  
 VS = Materia en sólidos volátiles ( $g \times l \cdot LM^{-1}$ )

## CONCENTRACIONES:

- $HCO_3$  = Alcalinidad (concentración de bicarbonato. ( $mg \times l^{-1}$ )  
 KgVSo = Sólidos volátiles en el sustrato  
 $NH_4$  = Concentración de Nitrógeno amoniacal - ( $g \times l \cdot LM^{-1}$ )  
 NTK = Concentración de Nitrógeno total Kjeldanal. ( $g \times l \cdot LM^{-1}$ )

$m^3_{LM-1}$  = Volúmen útil del Digestor

$S_e$  = Concentración en el efluente ( $g\ US_{eX} / LM^{-1}$ )

$S_o$  = Concentración a la entrada ( $g\ VSO \times 1 - LM^{-1}$ )

$S_o$  = Concentración eliminada ( $g\ US_r \times 1 LM^{-1}$ )

#### VELOCIDADES:

$VCH_4$  = Velocidad de producción de metano  
( $1\ CH_4 \times LM^{-1} \times d^{-1}$ )

$V_e$  = Velocidad de producción de biogas  
( $1\ gas \times 1\ LM^{-1} \times d^{-1}$ )

#### PARAMENTROS DE CONDUCCION:

$B_v$  = Carga volúmica ( $g\ U_{so} \times LM^{-1} \times d^{-1}$ )

$\theta$  = Tiempo hidráulico medio de retención(D)

$p_h$  = Potencial de hidrógeno

$T$  = Temperatura ( $^{\circ}C$ )

$t$  = Variable

## ASPECTOS ECONOMICOS

Aunque es bastante difícil establecer con exactitud un precio actualizado de construcción por m<sup>3</sup> de udedigestor tomando en cuenta LA COTIZACION DE PRECIOS en el mes de Octubre de 1986, su costo aproximado fluctúa entre ---- 40,000.00 a 45,000.00 M.N.

Estos costos se reparten más o menos de la siguiente manera: 60% en materiales de construcción y el 40% en la mano de obra.

A fin de que en cada región se pueda hacer un cálculo económico adecuado se da una lista de materiales más comunmente empleados en la construcción de un digestor.

## Aclaración acerca del costo:

Es necesario aclarar que los costos totales de un digestor están basados sobre precios actuales en el mes de Octubre del año de 1986. Y de acuerdo al incremento del país nos modificaría el costo de este estudio.

Este estudio estuvo basado en los siguientes costos unitarios de construcción.

<u>C O N C E P T O</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>C. UNITARIO</u>
Excavación a mano	M <sup>3</sup>	1,161.52
Acarreos	M <sup>3</sup>	2,008.85
Planta de concreto pobre	M <sup>2</sup>	1,108.74
Plantilla de concreto armado	M <sup>2</sup>	5,577.45
Dalas de concreto armado	M <sup>1</sup>	4,125.09
Castillos de concreto armado	M <sup>1</sup>	13,370.71
Muros de tabique (21 cms de espesor)	M <sup>2</sup>	3,648.36
Muros de Tabique (15 cms de espesor)	M <sup>2</sup>	2,368.78
Aplanados	M <sup>2</sup>	1,206.12
Cubierta de concreto armado	M <sup>2</sup> cimbra S/M <sup>2</sup>	2,616.24
	concreto S/M <sup>3</sup>	22,002.77
Cadena de concreto armado. (21x21)	M1	5,256.81
Castillo de concreto armado(21x21)	M1	5,460.00
Cadena de concreto armado (15x15)	M1	4,125.09
Castillo de concreto armado(15x15)	M1	4,651.00
Maestro Albañil	día	3,345.00
Peon	día	2,290.00
Hombre fierrero (soldador)	día	3,220.00
Carpintero Obras Negras	día	3,110.00

NOTA : En este estudio faltaría el costo de la  
Elaboración de proyecto y supervisión de construcción y evalua -  
ción técnica y científica.

## Bibliografía

- 1.- Arias Chavez, J. 1978 . Digestión Anaerobia de Deshechos Orgánicos. Reunión Nacional sobre Energía no Convencional. Palmira, Morelia, México.
- 2.- Baquedano. M.M. Young.M.A. Morales H.L. (1983). Los Digestores: Energía y Fertilización para el Desarrollo Rural.
- 3.- Braynt, M.P. 1974. Micobial Methane Production. Theoretical aspects. J. Animal Sei.. 48 (1) 198-201.
- 4.- Camacho. P., 1984. Evaluación de la Digestión Anaerobia del estiércol de cerdo. Experiencia a escala Laboratorio y escala Piloto (1984). Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Veracruzana.
- 5.- Couplet,P, et G: Albagnac, 1978, la Digestión Anaerobic Application aux Industries Agrolimentaires. ann.Thech.Agric.27:533-564.
- 6.- Energy Solution in China 1977. Eviroment 9 (7).Viniegra.et.al. 1978. Uso de la Digestión Anaerobia en la Ganadería Local. -- México.d.f. (13 P).

- 7.- F A O . 1978 China. Azolla Propagation and Smallscale Biogas Techonogy. FAO Soils. Belletin Roma. Italia.
- 8.- Fray J.J. 1973, Methane Digesters. For fuel, gas and fertilizer. Editors. Richard Merrill and Yedida Merrill (47 P).
- 9.- Gómez-Pompa.A. 1978. Viaje a China. Instituto de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. A.C. Xalapa, Veracruz. (159 P).
- 10.- Handboock af Apropiate Technology of the Canadian Munger Funda- tion 1977. Planta Biogas a Pequeña Escala en la India. Tra -- ducción hecha por el Centro Mesoamericano de Estudios sobre -- Tecnología aplicada. C E M A T. Guatemala. (20 P).
- 11.- Hsinhua Newa Agecy. 1978. Use of Methane Grows in Rural.China- No. 82304.
- 12.- Iannotti, E.L., Jr. Fisher, D.F.Siemers, 1982, Characterization of Bacteria from Swine Manure Digesters. APP. and. env. Mlc. - 43: 136 - 143.
- 13.- Kugelman, IJ.: P.L. MC. Carty. 1965. Cation Toxicity and Sti- mulation in Anaerobic Waste Treatment, J. Watpoll,Contr. Fed; 37: 97-116.

- 14.- Los digestores: Energía y Fertilizantes para el Desarrollo - Rural. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos - Bióticos, Xalapa, Veracruz, México.
- 15.- MC-Inerney, M, J, et. al : 1978 Anaerobic. Bacterium that Oxidizes fatty acids in syntrophic with  $H_2$ .
- 16.- Meynel. J.P. s/f Methane. Planning a Digester.
- 17.- Miller. C.A. 1979. Nuevo uso de una vieja Fuente de Energía. - Desarrollo Nacional. (4p).
- 18.- Rangel. S.J. 1980. Proyecto de estercoleros ejidales para la recolección procesamiento y distribución de 1,200 ton/día de estiércol Bovino del complejo agropecuario Industrial de Tizayuca, Hgo. Fideicomiso Prodel S.A.R.H.
- 19.- Singh, R.B. 1972. Biogas Plant, Generating Methane from Organic-Wastes. Cobar gas. Research Station. Ajitemal. Etawah. (V.P. -- India).
- 20.- Summers, R, et al 1980. A detailed Study of Piggery Waste Anaerobic Digestion Agricultural. Wastes. 2 (1980) 61-78 England.

- 21.- Smill. V. 1976. Intermediate Energy Technology in China. World Development. Oxford. 4 (10/11) (p-929-937).
- 22.- Van Velsen. Anaerobic Digestion of Piggery Waste. - Holland.
- 23.- Youg, M.A. 1983 Desarrollo Tecnológico a nivel Planta Piloto para Diseño, construcción y operación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en las granjas porcícolas de la Piedad Michoacan. Proyecto. INIREB México.
- 24.- Young. M.A. Camacho P. 1984. Tratamiento Anaerobio del estiércol de cerdo  
Potencial energético del Proceso  
VIII Reunión Nacional de Energía Solar. México.
- 25.- Zeikus, J.C. 1980. Microbial Populations in Anaerobic Digester, in D.A. Stanfford, B.1. Wheatley and D.E. Hughes (editors). Anaerobic Digestion. Applied Science Publisher, LTD. London 61-87
- 26.- Zeikus. J.C. 1977 The Biology of Methanogenic bacteria. Bacteriological rev. 4L 2; 514-541