

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL



“IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR EN UNIDADES PECUARIAS”

POR:

IRENE CONCEPCION CHAVARRIA NERI

MONOGRAFÍA

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO  
DE:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

JUNIO DE 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL



“IMPLEMENTACION DE UN BIODIGESTOR EN UNIDADES PECUARIAS”

POR:

C. IRENE CONCEPCIÓN CHAVARRIA NERI

MONOGRAFÍA

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO  
DE:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

JUNIO 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA

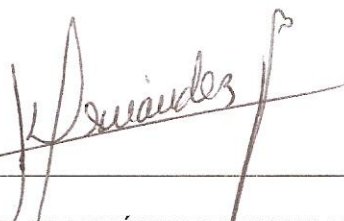
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

MONOGRAFÍA PRESENTADA POR:

C. IRENE CONCEPCIÓN CHAVARRÍA NERI

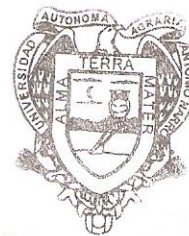
ELABORADA BAJO LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ  
PARTICULAR DE ASESORÍA COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL TÍTULO DE:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

  
\_\_\_\_\_  
PhD. JUAN DAVID HERNÁNDEZ BUSTAMANTE  
ASESOR PRINCIPAL

  
\_\_\_\_\_  
MC. RAMON ALFREDO DELGADO GONZÁLEZ

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL



Coordinación de la División  
Regional de Ciencia Animal

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

MONOGRAFÍA PRESENTADA POR:

C. IRENE CONCEPCION CHAVARRIA NERI

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO  
EXAMINADOR, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
TÍTULO DE:

MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

JURADO EXAMINADOR:

PRESIDENTE

  
PhD. JUAN DAVID HERNÁNDEZ BUSTAMANTE

VOCAL

  
M.V.Z. JESÚS GAETA COVARRUBIAS

VOCAL

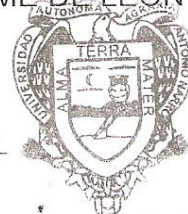
  
M.V.Z. FEDERICO ANTONIO HERNÁNDEZ TORRES

VOCAL SUPLENTE

  
DR. FERNANDO ULISES ADAME DE LEÓN

  
MC. RAMÓN ALFREDO DELGADO GONZÁLEZ

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL



Coordinación de la División  
Regional de Ciencia Animal

TORREÓN COAHUILA, MÉXICO

JUNIO 2014

## AGRADECIMIENTOS

*Le doy gracias a Dios, por haberme permitido llegar hasta aquí y terminar mi carrera.*

*A mis padres Salvador Chavarría Calderón y María Irene Nerí Galarza, mi hermana Denisse pues ellos hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, por haberme guiado por este camino, apoyarme incondicionalmente y estar presentes a pesar de la distancia, por brindarme su cariño y creer en mí y permitirme ser un profesionista. Gracias por todo su amor y cariño. LOS AMO MUCHO.*

*A tu paciencia y comprensión, preferiste sacrificar tu tiempo para que yo pudiera cumplir mi sueño. Por tu bondad y sacrificio me inspiraste a ser mejor, gracias por esta siempre a mi lado. M.V.Z. Jesús Mendoza Carreola. TE AMO*

*Al PhD. Juan David Hernández Bustamante por confiar en mí y ayudarme en realizar mi monografía. Gracias.*

*A los catedráticos Médicos Veterinarios Zootecnistas que en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida.*

## INDICE DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b>	<b>VI</b>
<b>I. INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>II. BIOMASA</b>	<b>2</b>
2.1 Materiales de origen animal	2
2,2 Material de origen vegetal	3
2.3 Procesos de la biomasa	3
<b>III. FERMENTACION DE LA BIOMASA PARA LA ELABORACION DE BIOGAS</b>	<b>4</b>
3.1 Proceso de biodigestion anaerobio	4
3.1.1. Etapa I: Hidrolisis	5
3.1.1.1. Bacterias presentes en la hidrolisis y acidogenesis	7
3.1.2. Etapa II: Acidogenesis	7
3.1.2.1. Fermentación de carbohidratos solubles	8
3.1.3. Etapa III: Metanogenica	8
<b>IV. CARACTERISITCAS DE LA FERMENTACION METANOGENICA</b>	<b>9</b>
4.1. Microorganismos productores de metano	9
<b>V. FACTORES A CONSIDERAR EN EL PROCESO METANOGENICO</b>	<b>10</b>
5.1. Material de carga para la fermentación	10
<b>VI. RELACION CARBONO-NITROGENO</b>	<b>11</b>
<b>VII. CONCENTRACION DE LA CARGA</b>	<b>11</b>
<b>VIII. TEMPERATURA</b>	<b>12</b>
8.1. Biodigestion sicrofílica	13
8.2. Biodigestion mesofílica	13

8.3. Biodigestion termofílica	13
IX. pH	14
X. PROCESOS DE DIGESTION PARA TRATAR LOS RESIDUOS ORGANICOS	15
10.1. Fermentación continua	16
10.2. Fermentación semicontinua	16
10.3. Fermentación por lotes	16
10.4. Por la temperatura	17
10.4.1 Fermentación termofílica	17
10.4.2. Fermentación mesofílica	17
10.4.3. Fermentación a temperatura ambiente	17
10.5. Fermentación por el número de etapas	18
10.5.1. Fermentación de una sola etapa	18
10.5.2. Fermentación en dos o más etapas	18
XI. TIEMPO DE RETENCION	18
XII. BIOGAS	19
XIII. USOS DEL BIOGAS	20
XIV. BIODIGESTORES	21
14.1. Componentes de un biodigestor	22
14.2. Características del biodigestor	22
XV. TIPOS DE BIODIGESTORES	23
15.1. Biodigestor de domo flotante	23
15.2. Biodigestor de domo fijo	24
15.3 Biodigestor de estructura flexible	25

<b>16.4 Otros tipos de biodigestores</b>	<b>27</b>
<b>XVI. USOS DE LA BIODIGESTION ANAEROBICA</b>	<b>29</b>
<b>XVII. MEDIDAS DE SEGURIDAD</b>	<b>31</b>
<b>XVIII. LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO</b>	<b>32</b>
<b>XIX. CONCLUSION</b>	<b>33</b>
<b>XX. LITERATURA CITADA</b>	<b>34</b>



## **INDICE DE FIGURAS**

<b>1. Proceso de biodigestion anaerobio</b>	<b>5</b>
<b>2. Biodigestor de domo flotante</b>	<b>24</b>
<b>3. Biodigestor de domo fijo</b>	<b>25</b>
<b>4. Biodigestor de desplazamiento</b>	<b>27</b>
<b>5. Biodigestor experimental con tanque de metal y cámara de neumático</b>	<b>28</b>
<b>6. Biodigestor de tipo cerrado con tanques de metal conectados en serie</b>	<b>28</b>

## **INDICE DE CUADROS**

<b>1. Clasificación de las metanobacterias</b>	<b>10</b>
<b>2. Proceso de fermentación continua</b>	<b>17</b>
<b>3. Componentes del biogás</b>	<b>20</b>

## **RESUMEN**

En esta investigación se realizó con el fin llevar a cabo una alternativa para la para las unidades pecuarias ya que es muy abundante los desechos orgánicos de los animales y no se obtiene ningún beneficio de ello y que por lo contrario ocasiona daño al ser humano y al medio ambiente. Por eso es que se propone la realización de biodigestores en este tipo de unidades ya que se obtendría más beneficios con esta tecnología como es el ahorro de energía eléctrica y de combustible que puede ser utilizado como alternativa para la cocción de alimentos, calefacción y calentadores de agua.

**Palabras Claves:** Biodigestor, Biomasa, Bioabono, Cambio Climático, Contaminación.

## I. INTRODUCCIÓN

Hasta el día de hoy las necesidades energéticas de nuestro planeta son satisfechas con la utilización de combustibles fósiles (petróleo, gas carbón). Todos ellos extinguidos, fuertemente contaminantes y utilizados en forma ineficiente, por el interés predominante de la producción de energía sobre el de su efecto ecológico. La tendencia mundial en lo que respecta a la generación de energía eléctrica se encuentra básicamente en las fuentes alternativas de energía, dentro de las que se encuentran los que nos proporciona la forma discreta la naturaleza, entre otras, la eólica, la solar y la hidráulica. Sin embargo existe otra fuente de energía que comienza a generalizarse la del biogás.

Se tiene la necesidad de encontrar una tecnología apropiada, utilizando recursos locales disponibles como son los residuos orgánicos (aguas residuales, estiércol y desechos de jardinería), lo que tienen un efecto negativo en la salud humana, produciendo gases como el metano que al no encontrar con una alternativa de uso es arrojado a la atmosfera contribuyendo al incremento en la concentración de gases de efecto de invernadero. Pero si se cuenta con un sistema apropiado de recolección y acondicionamiento el metano puede ser usado como combustible convirtiéndose por combustión en  $\text{CO}_2$  y vapor de agua, ya que el metano es 21 veces más contribuyente que el dióxido de carbono.

## **II. BIOMASA**

En general cualquier substrato puede ser utilizado como biomasa en cuanto contengan carbohidratos, proteínas, grasas, celulosa y hemicelulosa como componentes principales (López et al 2009).

Para seleccionar la biomasa se deben tener en cuenta los siguientes puntos.

- El contenido de sustancias orgánicas debe ser el apropiado para el tipo de fermentación elegido.
- El valor nutricional de la sustancia orgánica se relaciona directamente con el potencial de formación de biogás, por ende se busca que sea lo más alto posible.
- El substrato debe estar libre de agentes patógenos que puedan inhibir el proceso de fermentación.
- El contenido de sustancias perjudiciales o tóxicas debe ser controlado para permitir una tranquila evolución de la fermentación.
- Es importante que el resultado final del substrato (después de haber aprovechado la fermentación para generar biogás) sea un desecho utilizable como por ejemplo fertilizante.

### **2.1. Materiales de origen animal**

Las excretas de origen animal son los materiales más empleados en la generación de gas metano. Poseen adecuadas cantidades de carbono y considerablemente más nitrógeno-disponible. Comparativamente las heces de monogástricos producen más biogás por unidad de masa que las de rumiantes, aunque estas

últimas sean más abundantes. Se presenta una tabla con las equivalencias de excremento producido y potencial de generación de gas, ver tabla 2.3 (Pérez 2010).

## **2.2. Material de origen vegetal**

La eficiencia de la utilización de este tipo de material depende del grado de digestibilidad del mismo. Se sabe que los nutrientes de las plantas disminuyen con la edad, principalmente azúcares, aminoácidos y algunos minerales, al mismo tiempo que aumenta el material fibroso (celulosa, lignina y en menor proporción las pectinas, gomas y mucilagos). Este hecho hace clara la necesidad de alimentar al digestor con material verde preferentemente (López et al 2009).

Las plantas son ricas portadoras de carbono pero contienen baja proporciones de nitrógeno y gran parte de este se halla en forma no disponible para el ataque bacteriano

## **2.3. Procesos de la biomasa**

La biomasa que procede de residuos o cultivos energéticos, generalmente se transforma en calor, combustible o electricidad, que conducen a la forma de energía útil requerida en cada caso. Para ello, se hace necesario tratarla de manera adecuada considerando las características que tenga al momento de obtenerla de tal forma que los procesos a que puede ser sometida pueden de manera general estructurarse (López et al 2009).

### **III. FERMENTACION DE LA BIOMASA PARA LA ELABORACION DE BIOGAS**

#### **3.1. Proceso de biodigestion anaerobio**

El proceso de biodigestion anaeróbica es un proceso biológico natural en el que una comunidad entrelazada de bacterias cooperan para formar una fermentación estable, autorregulada, que convierte materia orgánica residual en una mezcla de principalmente metano y dióxido de carbono. Es decir, la biodigestion anaeróbica es un proceso microbiano que incluye microorganismos metano bacteriáceo que degradan la materia orgánica en ausencia de oxígeno.

Los alimentos principales de las bacterias anaeróbicas son el carbono (en la forma de carbohidratos) y el nitrógeno (en proteínas, nitratos y amoniaco). El carbono se utiliza para obtener energía y el nitrógeno para la construcción de estructuras celulares (López et al 2009).

A pesar de la bioquímica del proceso es muy compleja se pueden distinguir en tres etapas (figura 1), dentro de cada una de ellas a su vez, existe una comunidad específica de bacterias anaeróbicas o facultativas. Las etapas en que se lleva a cabo el proceso de digestión anaerobia pueden considerarse como las siguientes:

- Etapa I: hidrolisis
- Etapa II: acidogénesis
- Etapa III: metanogénesis

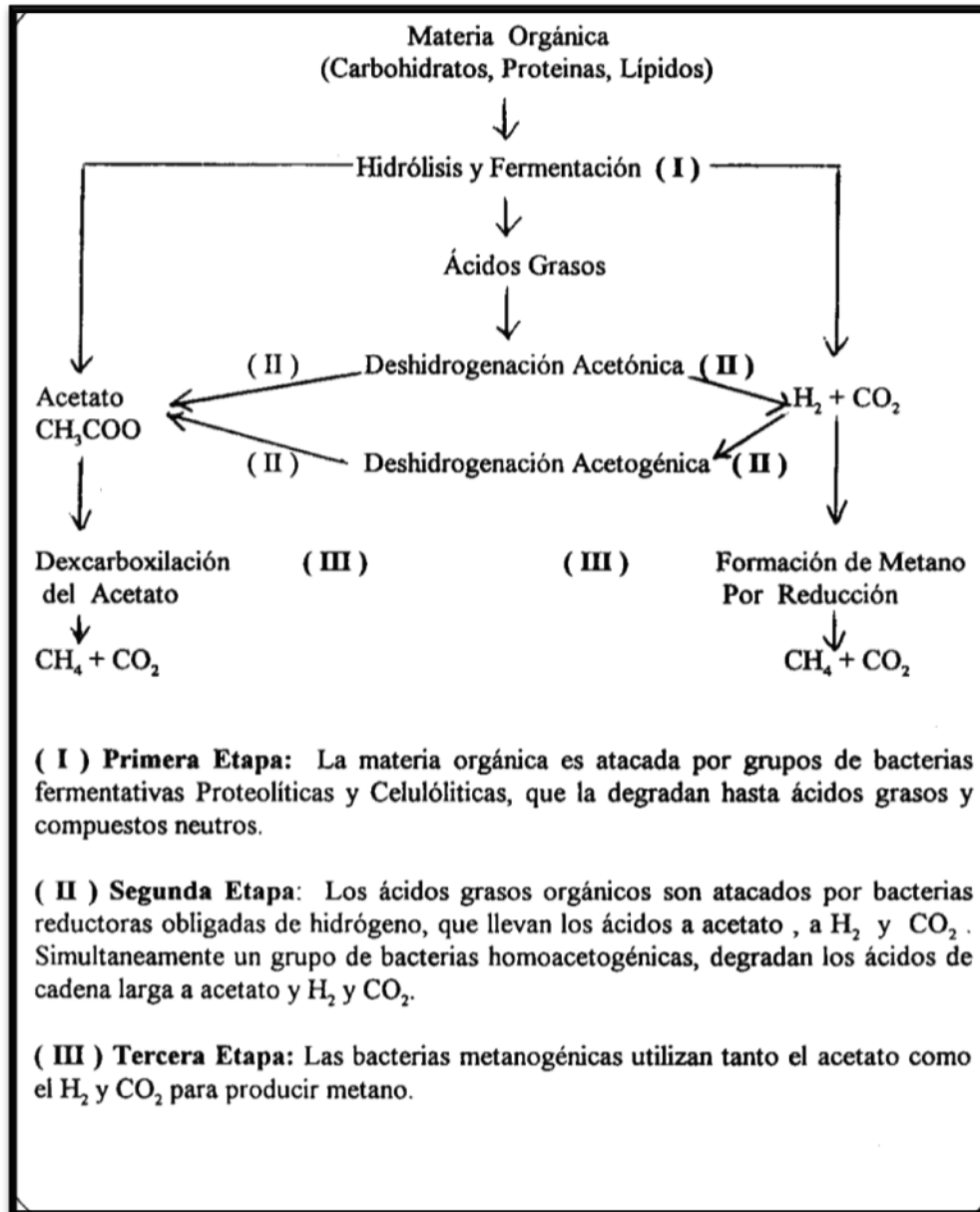


Figura 1: Proceso de biodigestion anaerobio (Guevara 1996).

### 3.1.1. Etapa I: Hidrolisis

En esta etapa (hidrolítica) un amplio grupo de microorganismos insolubles hidrolíticos como la celulosa, proteínas y grasas son fragmentados en monómeros por enzimas (hidrolasa), estas enzimas provienen exclusivamente de bacterias de

metabolismo anaeróbico y actúan sobre los polímeros orgánicos u otros materiales complejos des polimerizándolos enzimáticamente en los correspondientes monómeros o fragmentos más sencillos.

Posteriormente estos compuestos experimentan un proceso de fermentación que origina diferentes ácidos orgánicos. Esta etapa resulta indispensable para lograr la ruptura de los biopolímeros complejos en polímeros solubles o monómeros, puesto que los microorganismos que realizan la depuración solamente son capaces de actuar sobre materia orgánica disuelta (López et al 2009).

La etapa hidrolítica puede ser la etapa limitante de la velocidad del proceso global, sobre todo tratando residuos con alto contenido en sólidos. Incluso en casos donde las fases acidogénicas o metanogénicas son consideradas como pasos limitantes, la hidrólisis puede afectar el conjunto del proceso.

El grado de hidrólisis y la velocidad del proceso dependen de muchos factores, entre otros del pH, de la temperatura, de la concentración de biomasa hidrolítica, del tipo de materia orgánica particulada y del tamaño de partícula.

La hidrólisis de los carbohidratos toma lugar en algunas horas, para las proteínas el proceso toma algunos días y en el caso de la ligno celulosa el proceso es muy lento e incompleto. La sostenibilidad de esta etapa se basa en que la presencia de microorganismos anaeróbicos consume el oxígeno disuelto en el agua y por ende bajan el potencial redox, lo que es la base para la proliferación de más microorganismos anaeróbicos. El potencial redox es una medida de la actividad de los electrones. Está relacionado con el pH y con el contenido de oxígeno. Es análogo al pH ya que el pH mide la actividad de protones y el potencial redox mide la de los electrones (López et al 2009).



### **3.1.1.1. Bacterias presentes en la hidrólisis y ácido génesis**

En esta etapa encontramos bacterias anaerobias facultativas como las enterobacterias, bacterias aerotolerantes como las bacterias del ácido láctico y bacterias anaerobias estrictas como: *Clostridium*, *Propionibacterium*, *Selenomona* (Pérez 2010).

### **3.1.2. Etapa II: Acidogénesis**

En esta segunda etapa los productos solubles de la etapa anterior son convertidos en ácidos orgánicos volátiles de cadena corta y alcoholes producto de la acción endoenzimas, algunos de los ácidos grasos más importantes que se forman son: ácido acético, propiónico y butírico. Solo el ácido acético formado da origen al 70% de la producción de metano. Las bacterias acetogénicas son las encargadas de la degradación de los ácidos grasos de cadena larga (productos de la primera etapa) como los ácidos palmitico y esteárico para su posterior transformación a ácido acético (López et al 2009).

Las bacterias facultativas involucradas en esta etapa son importantes no solo porque producen los nutrientes, para los productos de metano sino que además remueven cualquier traza de oxígeno disuelto que quede en el material orgánico debido a que las bacterias que actúan en la siguiente etapa son exclusivamente anaeróbicas. Las proporciones entre los productos de la fermentación varían en función del consumo de  $H_2$  por parte de las bacterias que utilizan hidrógeno.

Este proceso contempla la fermentación de carbohidratos solubles y aminoácidos, cuya finalidad es la producción de ácido acético. (López et al 2009)

### **3.1.2.1. Fermentación de carbohidratos solubles**

La ruta de degradación de la glucosa en los sistemas anaerobios proporciona como principales productos ácidos grasos volátiles, H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>. La fermentación de azúcares se realiza por diversos tipos de microorganismos, siguiendo diferentes rutas metabólicas, en función del organismo responsable y obteniendo productos finales diferentes. Los principales microorganismos son los que producen butírico o butanol, básicamente del género *clostridium*, que convierten la glucosa y algunos aminoácidos en ácido butírico, acético, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>. Las proporciones de los diversos productos se modifican por la duración y las condiciones de la fermentación, siendo el butírico y el acético los productos mayoritarios si el pH se mantiene alcalino.

Las bacterias ácido-propionicas, del género *propionibacterium*, llevan a cabo un proceso distinto, conocido como fermentaciones ácido propionico en el que se produce fermentación de ácido láctico, carbohidratos y polihidroalcoholes, produciendo principalmente ácido propionico, acético y CO<sub>2</sub> (López et al 2009).

### **3.1.3. Etapa III: Metanogenica**

En esta etapa los ácidos orgánicos simples producidos en la etapa anterior son convertidos, por acciones de las bacterias metanogenicas, en sustrato para la descomposición, estabilización y producción de metano anhídrido carbónico (López 2009).

#### **IV. CARACTERISITICAS DE LA FERMENTACION METANOGENICAS**

La digestión de lodos es un proceso de descomposición anaeróbica, que consiste en la degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. El proceso para producir metano ( $\text{CH}_4$ ) bióxido de carbono y otros compuestos implica la realización de una serie de reacciones bioquímicas, donde participan una gran variedad de microorganismos , los cuales a una parte del carbono oxidan completamente formando anhídrido carbónico y a la otra lo reduce en alto grado para formar metano, siendo químicamente estables ambos compuestos. Casi todas las materias orgánicas pueden emplearse para la fermentación. La composición química principal de estos recursos son polisacáridos proteínas, grasas y pequeños cantidades de metabolitos (Guevara 1996).

En la digestión anaeróbica la mayoría de las bacterias son no metanogenicas y tienen una gran importancia en el desarrollo del proceso anaeróbico, ya que las bacterias productoras de biogás no pueden aprovechar directamente los compuestos orgánicos a menos que estos hayan sido degradados y convertidos en compuestos más sencillos, de menor peso molecular, gracias a la acción de las bacterias no metanogenicas (Guevara 1996).

##### **4.1. Microorganismos productores de Metano.**

Son el grupo más importante de microbios de fermentación en la fabricación del biogás. Estas bacterias se caracterizan por ser muy sensibles al oxígeno y a los ácidos solo pueden usar como sustrato los compuestos orgánicas e inorgánicos más sencillos. El crecimiento y producción de las bacterias metanogenicas es muy lento. Doblar su población demora de 4 a 6 días. Su estudio ha avanzado muy

lentamente por la dificultad de aislar, incubar y almacenarlos. Hasta ahora se han obtenido muy pocas especies puras, no pasan de 13 cepas puras (Cuadro 1) (Guevara 1996).

CUADRO 1. CLASIFICACIÓN DE LAS METANOBACTERIAS

Orden	Familia	Genero	Especies
Methanobacteriates	Methanobacteriaceae	Methanobacterium	Methanoformicium Methanobryantil M. thermoautotrophic
		Methanobrevibacter	Methanoruminatium Methanoarboriphilus MMethanosmithil
Methanococccates	Methanococcaceae	Methanocoecus	Methanovanniellii Methanovoltae
Methanomicrobiates	Methanomicrobiaceae	Methanogenium	Methanocaraci Metanomarispigri
	Methanomisarcinaceae	Methanospillum	Methanohongatei
		Methanomicrobium	Metanomobile
		Methanosarcina	Methanobarkerie

(Guevara 1996)

## V. FACTORES A CONSIDERAR EN EL PROCESO METANOGENICO

Existen muchos factores que influyen directamente en la fermentación Metanogenica y son capaces de modificar la rapidez de la descomposición, entre ellos tenemos (Pérez 2010):

### 5.1. Material de carga para la fermentación

Llamamos así a los desechos orgánicos que se introducen dentro de un biodigestion para su degradación. Pero para la fermentación los microorganismos metanogenicas necesitan nutrientes para producir biogás, por ello es necesario

contar con suficiente material de carpa para el proceso de digestión no se interrumpa. La materia orgánica que se utiliza de carga son los residuos de los animales, pueden dividirse en dos grupos, las materias primas ricas e nitrógeno y las materias primas ricas en carbono, el nitrógeno y las materias primas ricas en carbono, el nitrógeno se utiliza como constituyente para la formación de la estructura celular y el carbono se utiliza como fuente de energía (López et al 2009).

## **VI. RELACIÓN CARBONO-NITRÓGENO**

Los microbios siempre consumen estos elementos con determinada proporción, medidos por la relación carbono-nitrógeno que contiene la materia orgánica. Existen muchos criterio en lo referente a esta relación, pero se reconoce en general como aceptable una relación 20-30:1.

Las excretas de animales son ricos en nitrógeno, durante la fermentación tienen una mejor velocidad de biodegradación (López et al 2009).

## **VII. CONCENTRACIÓN DE LA CARGA**

Toda materia está compuesta por agua y una fracción sólida, a la que se le llama solidos totales. El porcentaje de solidos totales contenidos en la mezcla orgánica con que se carga el biodigestor es un factor importante a considerar para lograr un buen funcionamiento de los procesos, tal concentración puede variar de un 2% a un 15%. La mezcla optima estaría compuesta por un porcentaje de solidos de 6% a 9%, siendo esto un 70%, 49% de materia orgánica biodegradable a los cuales se les denomina solidos volátiles (López et al 2009).

Otros tipos de nutrientes serán necesarios en pequeñas cantidades, como sulfuro, potasio, calcio, magnesio y otros elementos traza como el hierro, zinc, cobalto, selenio, níquel. Los sustratos normalmente contienen una cantidad suficiente de estos elementos. Altas concentraciones producen efectos inhibidores sobre el proceso (López et al 2009).

## **VIII. TEMPERATURA**

Es uno de los factores que tiene mayor relevancia en el proceso anaeróbico, ya que define las zonas en donde el proceso puede llevarse a cabo ya sea por la latitud y/o altura. También ella es vista como el factor en potencia para aumentar la eficiencia de los sistemas (Guevara 1996).

La temperatura afecta el tiempo de retención para la digestión y degradación del material dentro del digestor, en forma general, a temperaturas por encima de los 30° C , las tasas de reacción química y biológicas son más rápidas que a temperaturas por debajo de los 20°C. La velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos responsables, que a su vez es dependiente de la temperatura.

Los tipos de biodigestión se van a diferenciar de acuerdo a la temperatura que trabaja el biodigestor. Existen tres rangos de temperatura, a los cuales se realiza el proceso, ellos son:

- Rango psicrófilico que va desde 10°C a 20°C
- Rango mesófilico que va desde 20°C a 35° - 40°C.
- Rango termófilico que va desde 50°C a 60°C.

### **8.1. Biodigestion psicrófila.**

Se caracteriza por funcionar con un rango de temperatura entre 10°C y 20°C. En esta el calor no es suministrado exteriormente, ni está sujeta a las variaciones de la temperatura ambiente, no requiere aislamiento térmico. Para este tipo de biodigestión, el tiempo promedio de retención es de 100 días con una agitación baja o casi nula (López et al 2009).

### **8.2. Biodigestion mesófila.**

Funciona con un rango de 20°C a 35°C – 40°C, con un tiempo de retención de 2 días. Este tipo corresponde a la biodigestión de mayor rendimiento, debido a su semejanza con la biodigestión animal. Para ello se requiere de calor extremo y agitación controlada (López et al 2009).

### **8.3. Biodigestion termófila.**

Se caracteriza por un rango de 50°C a 60°C con un tiempo de retención de 8 a 10 días, pero requiere de un elevado suministro de energía calórica, además de una mayor agitación controlada, en comparación con los dos anteriores.

Considerando las características de los tres tipos de digestión puede considerarse que la más conveniente para el tratamiento de la biomasa en general, es la biodigestión mesófila, en virtud de que permite una elevada producción de metano y correcto crecimiento de las bacterias, lo que conlleva a un menor tiempo de retención de desechos en el biodigestor y un menor gasto energético.

Las principales ventajas que presenta son las siguientes (López et al 2009):

- Fermentación más rápida.

- Diminución de la viscosidad de la solución
- Mayor conversión de desechos en biogás.
- Eliminación casi en un 100% de virus y bacterias patógenas
- Separación sólido – líquido más rápido.

## **IX. pH**

Los microorganismos anaerobios necesitan un pH en torno a la neutralidad para su correcto desarrollo, aunque permiten cierta oscilación. El pH afecta fundamentalmente a la actividad enzimática de los microorganismos, mediante: cambios de estado de los grupos ionizables de las enzimas como el carboxil y amino; alteración de los componentes no ionizables del sistema. Un pH neutro es el ambiente más eficiente para la digestión, esto es un pH en el rango de 6.6 – 7.5. Si el pH disminuye ya sea por aumento repentino de la carga presencia de materias tóxicas o cambios súbitos de la temperatura, se puede corregir dejando de alimentar carga durante un corto tiempo o adicionando sustancias alcalinas como agua de cal que reduce principalmente sustancias tóxicas como ácidos volátiles (Guevara 1996).

En caso contrario si el pH aumenta, se corrige agregando ácido acético para ayudar a que se regule la biodigestión y el pH disminuya.

Dentro del biodigestor el pH se auto regula con diversos cambios que ocurren durante la digestión. En el primer periodo el pH tiende a bajar debido a la producción de ácidos volátiles, luego de unas semanas este se eleva de acuerdo



al actuar de las bacterias metanogenas que al degradar las proteínas aumentan el amonio subiendo el pH (López et al 2009).

## **X. PROCESOS DE DIGESTION PARA TRATAR LOS RESIDUOS**

### **ORGANICOS**

La digestión para degradar los residuos orgánicos y/o producir biogás en un proceso microbiano, porque se necesitan condiciones ambientales propicias y un manejo adecuado para que funcione eficientemente el sistema, desde que se carga el digester hasta la producción de gas y salida de efluente. Existen muchos procesos para tratar los diversos residuos orgánicos, los cuales dependen de las condiciones de diseño del sistema, como los propios digestores de modo del sistema y de modo de presentación de los substratos a ser fermentados.

En este sentido los procesos pueden ser clasificados según (Guevara 1996):

#### **10.1. Fermentación continúa.**

Cuando la fermentación en el digester es un proceso interrumpido, el efluente que descarga es igual al material que entra, la producción de gas es uniforme en el tiempo; este proceso se aplica en zonas con ricas materias residuales y digester de tamaño grande. La característica más importante es la alta dilución de la carga de 3 a 5 veces agua/excretas y además su manejo relativamente fácil, pues lo que se hace es un manejo hidráulico del sistema, que puede llegar a no requerir mano de obra en la operación si las condiciones topográficas son favorables. El digester se carga diario o incendiariamente adicionando nuevas cantidades. (Guevara 1996)

### **10.2. Fermentación semicontinua.**

La primera carga que se introduce, consta de gran cantidad de materiales; cuando va disminuyendo gradualmente el rendimiento del gas se agregan nuevas materias primas y se descarga el efluente regularmente en la misma cantidad. El sustrato a degradar ocupa un volumen en el digestor (80%), mientras que el resto del volumen (20%) es reservado para realizar cargas continuas diarias o intermedias, a medida que va disminuyendo gradualmente el rendimiento del gas.

### **10.3. Fermentación por lotes.**

Los digestores se cargan con materia en un solo lote, cuando el rendimiento de gas decae a un bajo nivel, después de un periodo de fermentación, se vacían los digestores por completo y se alimenta de nuevo. También se conoce como operación "Batch", todo adentro todo fuera.

El materia de carga se caracteriza, por una alta concentración de sólidos, el cual debe ser adecuadamente inoculado, sobre todo cuando se fermentan materiales vegetales. Las ventajas operativas es que el proceso una vez iniciado llega al final sin contratiempos, necesitando mano de obra solo al momento de la carga y descarga. La desventaja es que al tratarse de manejo de sólidos sobre todo cuando grandes volúmenes requiere mecanizarlo, no obstante hay gran producción de gas por unidad de volumen y el bioabono de buena calidad, el proceso es el siguiente:

CUADRO 2: PROCESO DE LA FERMENTACION CONTINUA.



#### 10.4. Por la temperatura

Es de suma importancia, puesto que la temperatura determina la formación de gas en un tiempo determinado, a menor temperatura mayor tiempo de retención, pudiendo inhibir la formación de gas (López et al).

##### 10.4.1. Fermentación termofílica.

Necesita una temperatura de 51-55°C, se caracteriza por una digestión rápida, alto rendimiento de gas y un corto tiempo de retención, tiene buenas características de desinfección (López et al).

##### 10.4.2. Fermentación mesofílica.

La temperatura va de 28-35°C, la descomposición de la carga es más lenta que el anterior con menos consumo de energía (López et al).

##### 10.4.3. Fermentación a temperatura ambiente.

La producción de gas varia de una estación a otra dependiendo de la temperatura atmosférica tiene la ventaja de que sus estructuras son simples y de baja inversión (López et al 2009).

## **10.5. Fermentación por el número de etapas.**

### **10.5.1. Fermentación de una sola etapa.**

Cuando la digestión se realiza en un solo depósito de fermentación, su estructura es simple, fácil operación y bajo costo, se usa mucho en las zonas rurales (Pérez 2010)

### **10.5.2. Fermentación en dos o más etapas**

La digestión ocurre en dos o más depósitos de fermentación. El material de la carga primero se degrada y produce gas en la primera etapa; luego el efluente de la primera etapa surge un nuevo proceso de digestión en la segunda etapa. Con este principio se pueden construir digestores de 3 o 4 etapas. Los digestores múltiples se caracterizan por un largo periodo de retención buena descomposición de la materia orgánica y una alta inversión (Pérez 2010).

## **XI. TIEMPO DE RETENCION**

Se conoce como tiempo de retención al periodo que el sustrato permanece en el digestor bajo la acción bacteriana, entre mayor sea este tiempo mayor degradación habrá y por lo tanto la producción de biogás será mayor o menor. Los digestores que se alimentan una sola vez y permanecen cerrados este tiempo pueden ser de 20 a 90 días dependiendo del grado de degradabilidad de los materiales, pero en digestores con alimentación continua o semicontinua el tiempo de retención está relacionado con el volumen del digestor (Guevara 1996).

## **XII. BIOGAS**

Se llama biogás “al gas que se produce mediante un proceso metabólico de descomposición de la materia orgánica sin la presencia del oxígeno del aire”. Este biogás es combustible, tiene un alto valor calórico de 4,700 a 5,500 kcal/m<sup>3</sup>. Es un combustible que puede ser empleado de la misma forma que el gas natural. También puede comprimirse para su uso en vehículos de transporte, debiéndose eliminar primero su contenido de CO<sub>2</sub> (López et al 2009).

El metano, principal componente del biogás, es el gas que le confiere las características combustibles al mismo. Como se observa el aporte calórico fundamental lo ofrece el metano cuyo peso específico es de alrededor de 1 kg/m<sup>3</sup>. Si deseamos mejorar el valor calórico del biogás debemos limpiarlo de CO<sub>2</sub>. De esta forma se logra obtener metano al 95%. El valor calórico del metano puede llegar hasta 8 260 Kcal/m<sup>3</sup> con una combustión limpia (sin humo) y casi no contamina. El uso del biogás en motores de combustión interna permite que se soporten altas compresiones sin detonaciones (López et al 2009).

Entre sus propiedades físicas más notorias se encuentran su capacidad de quemarse casi sin olores, con llama azul y calor de combustión equivalente a 5135 Kcal/m<sup>3</sup>. Los principales componentes del biogás son el metano (CH<sub>4</sub>) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Aunque la composición del biogás varía de acuerdo a la biomasa utilizada (López et al 2009).

CUADRO 3: COMPONENTES DEL BIOGAS

Metano (CH <sub>4</sub> )	55 a 70%
Anhídrido carbónico (CO <sub>2</sub> )	35 a 40%
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	.5 a 5%
Sulfuro de hidrogeno (H <sub>2</sub> S)	.1%
Hidrogeno (H <sub>2</sub> )	1 a 3%

(López et al 2009)

### XIII. USOS DEL BIOGAS

El biogás puede ser utilizado en la cocción de alimentos, para iluminación, así como para la alimentación de motores de combustión interna que accionan, maquinas herramientas, molinos de grano, generadores eléctricos, bombas de agua y vehículos agrícolas o de cualquier otro tipo. La generación natural de biogás es una parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono. El biogás puede usarse directamente en quemadores, como por ejemplo en estugas, lámparas, refrigeradores, etc.

El biogás obtenido en el proceso anaerobio puede ser usado directamente como combustible para calderas, de hornos y refrigeración. Ante los elevados costos de los combustibles fósiles, el uso del biogás como combustible automotor es una alternativa muy interesante, teniendo en cuenta que su contenido de metano y otros gases es muy similar al del gas natural extraído del subsuelo o al del gas licuado de petróleo (López 2009).

#### **XIV. BIODIGESTORES**

Un digestor de desechos orgánicos o biodigestor es, en su forma más simple un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales) en terminada dilución de agua para que se descomponga, produciendo gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fosforo y potasio (López et al 2009).

Este sistema también puede incluir una cámara de carga y nivelación del agua residual antes del reactor, un dispositivo para captar y almacenar el biogás y cámaras de presión hidrostáticas y postratamiento a la salida del reactor (Pérez 2010).

La utilización de los biodigestor además de permitir la producción de biogás ofrece enormes ventajas para la transformación de desechos (López et al 2009).

- Mejora la capacidad fertilizante del estiércol. Todos los nutrientes tales como nitrógeno, fosforo, potasio, magnesio así como los elementos menores son conservados en el efluente. En el caso del nitrógeno, buena parte del mismo presente en el estiércol en forma de macromoléculas es convertido a formas más simples como amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), las cuales pueden ser aprovechadas directamente por la planta.
- El efluente no tiene olor
- El control de patógenos. Aunque el nivel de destrucción de patógenos varía de acuerdo a factores como temperatura y tiempo de retención.

### **14.1. Componentes de un biodigestor.**

Es una planta de fermentación anaeróbica, para la fabricación de biogás, está compuesto por las siguientes partes (Pérez 2010):

- Tubo de entrada de materia orgánica.
- Cámara de fermentación o cuerpo del digestor.
- Cámara de depósito de gas.
- Cámara de salida de materia estabilizada o fomentada.
- Conducto de gas, lleva el gas para ser usado.
- Tapa hermética
- Gasómetro

### **14.2. Características del biodigestor.**

Para que un biodigestor de desechos orgánicos opere en forma correcta, deberá reunir las siguientes características (López et al 2009).

- Deberá ser hermético con el fin de evitar la entrada de aire, el que interfiere con el proceso, y fugas de biogás producido.
- Deberá estar térmicamente aislado para evitar cambios bruscos de temperatura.
- Aun no siendo un recipiente de alta presión, el contenedor primario de gas deberá contar con una válvula de seguridad.
- Deberá contar con medios para efectuar la carga y descarga del sistema.
- Los biodigestor deberán tener acceso para mantenimiento.
- Se deberá contar con un medio para romper las natas que se formen.



## **XV. TIPOS DE BIODIGESTORES**

Existen diversos tipos de biodigestores, clasificados por su diseño o tipo de estructura que lo conforma. La baja aceptación de muchos de estos biodigestores ha sido principalmente debida a los costos altos, dificultad de instalación y problemas en la consecución de las partes y repuestos. Los biodigestores existentes son (López et al 2009):

- Biodigestor de domo flotante.
- Biodigestor de domo fijo.
- Biodigestor de estructura flexible.

### **15.1. Biodigestor de domo flotante**

Se compone de un biodigestor sostenido en mampostería y un depósito de gas móvil en forma de campana, que puede flotar directamente en la masa de fermentación o en un anillo de agua, suministrado una presión constante de gas. Su manejo es fácil pero la campana además de tener un costo alto, es expuesta a la intemperie y por lo tanto sujeta a corrosión requiriendo de un mantenimiento periódico. La ubicación de este biodigestor es sobre el nivel del suelo y puede adaptarse a todo tipo de clima y a cualquier condición topográfica del terreno como observarse en la figura 2 (López et al 2009).

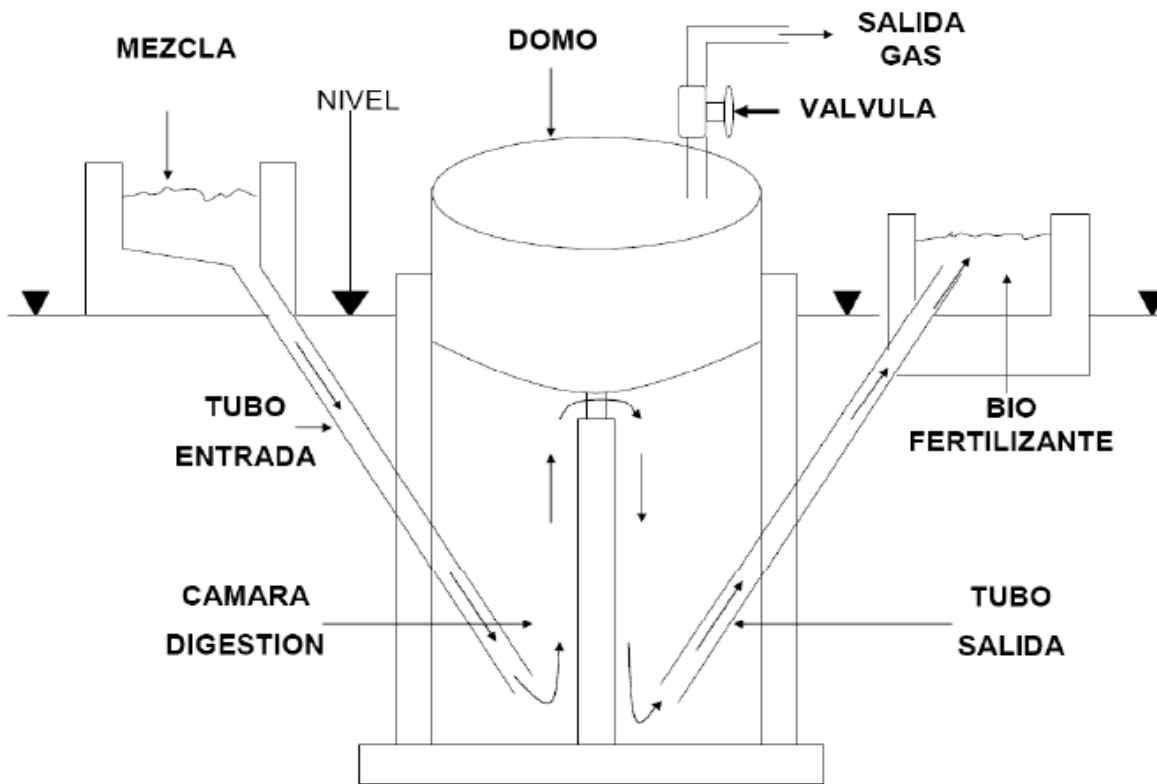


Figura 2: Biodigestor de domo flotante (López et al 2009).

### 15.2. Biodigestor de domo fijo

Consiste en una firme cámara de casa construida de ladrillos, piedra u hormigón. La tapa y la base son semiesferas y son unidos por lados rectos. La superficie interior es sellada por muchas capas delgadas para hacerlo firme. Hay un tapón de inspección en la cima del digestor que facilita el limpiado. Se guarda el gas producido durante la digestión bajo el domo. Se necesitan materiales de alta calidad y recursos humanos costosos para construir este tipo de biodigestor (Pérez 2010). Este digestor por la estructura que tiene de estar enterrado favorece el proceso fermentativo, con poca influencia por los cambios de temperatura, la

desventaja es que la presión del gas es variable dependiente del volumen acumulado figura 3 (Guevara 1996).

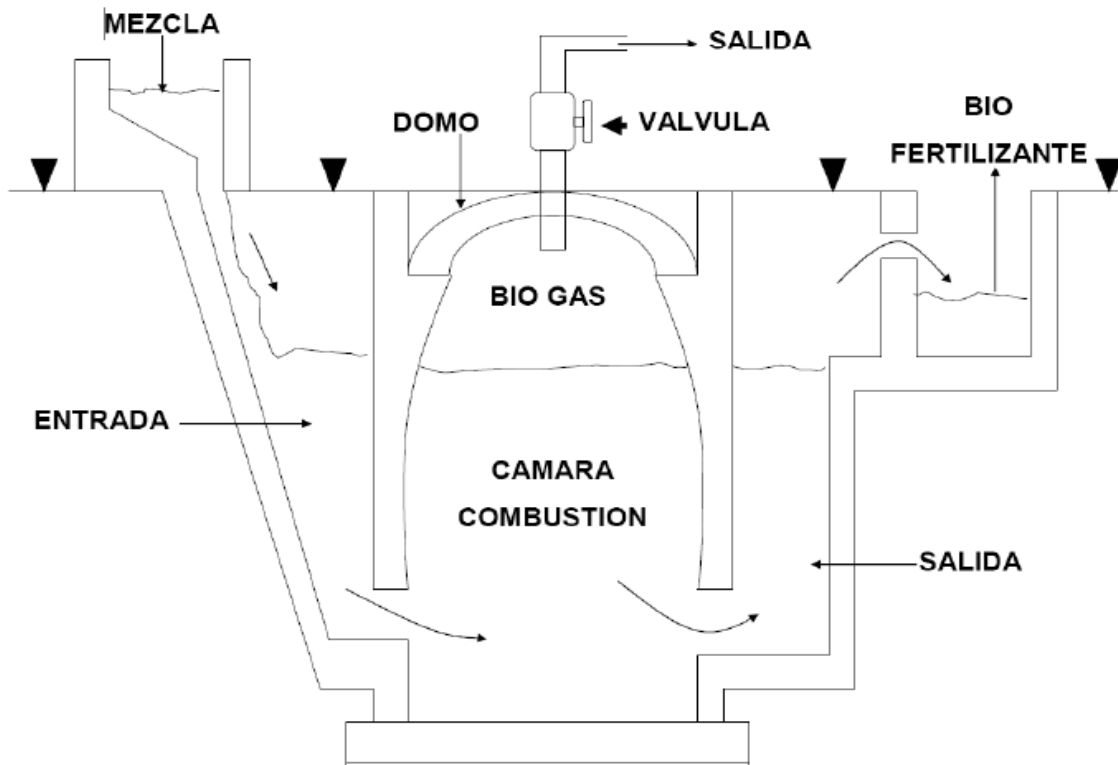


Figura 3. Biodigestor de domo fijo (López et al 2009).

### 15.3. Biodigestor de estructura flexible

Este Biodigestor está compuesto de una bolsa plástica de polietileno o de PVC completamente sellada. Es una materia de bajo costo en su construcción y de fácil transporte e instalación, puede construirse en forma horizontal y por ello es favorable para zonas donde el nivel freático es alto. Tiene desventaja de que su vida útil es corta (3-8 años) dependiendo de la clase de material que se escoja y

las presiones son bajas. El material debe de protegerse de los rayos solares para evitar su rápido deterioro (López et al 2009).

#### 15.4. Otros tipos de biodigestores.

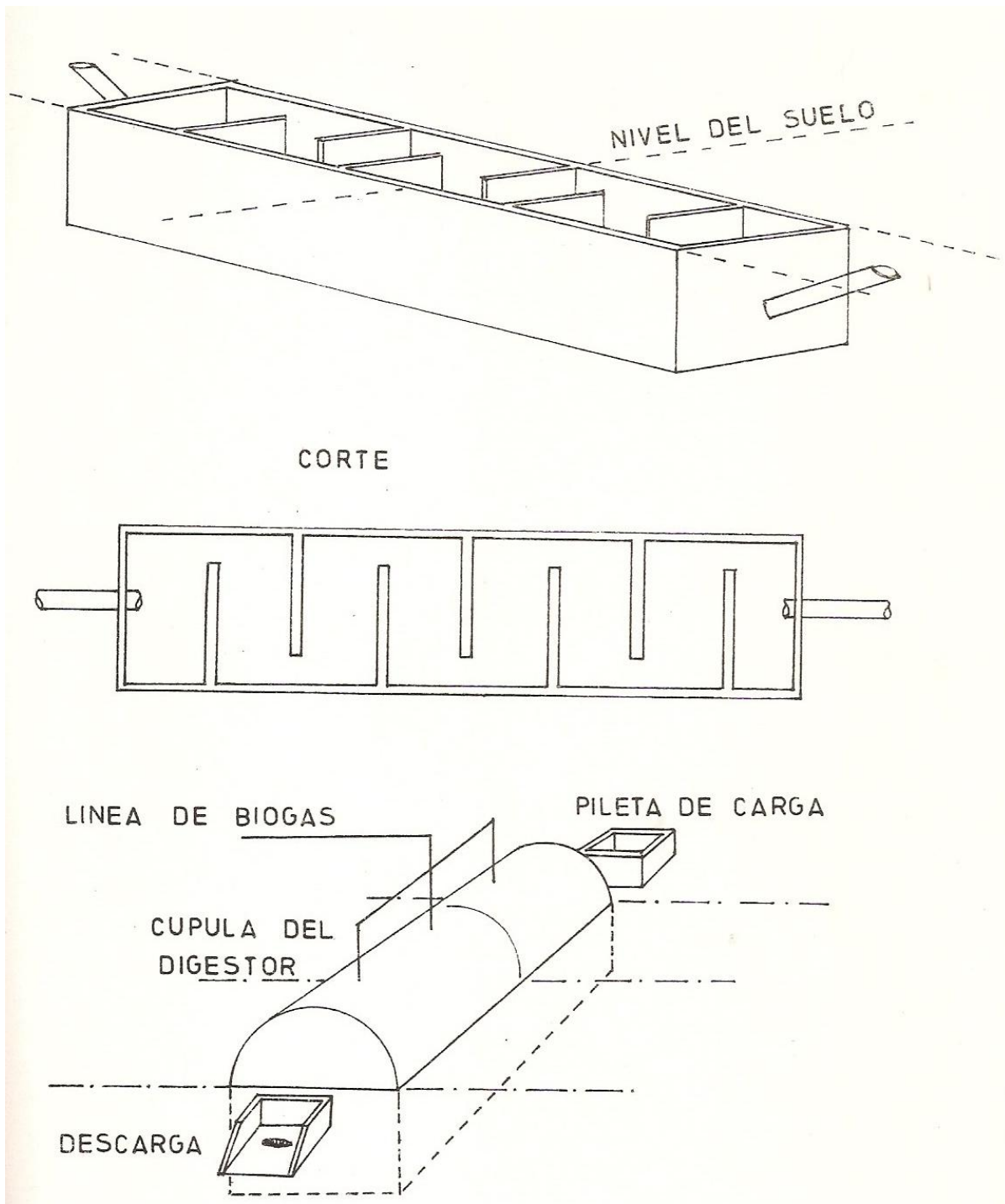


Figura 4. Biodigestor de desplazamiento (Pinal 1984).

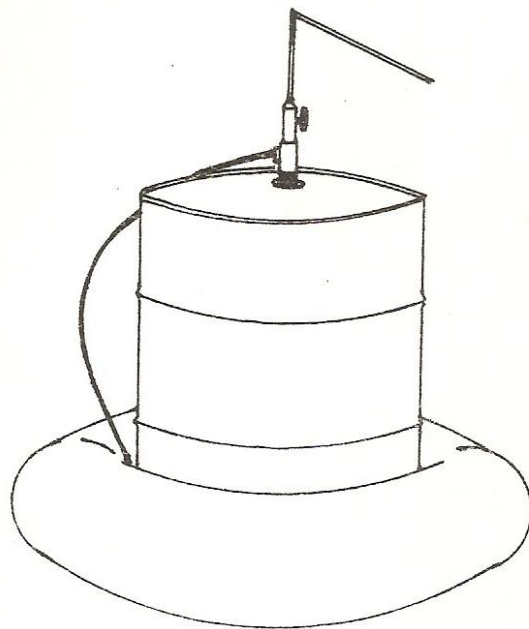


Figura 5: Biodigestor experimental con tanque de metal y cámara de neumático  
(Pinal 1984).

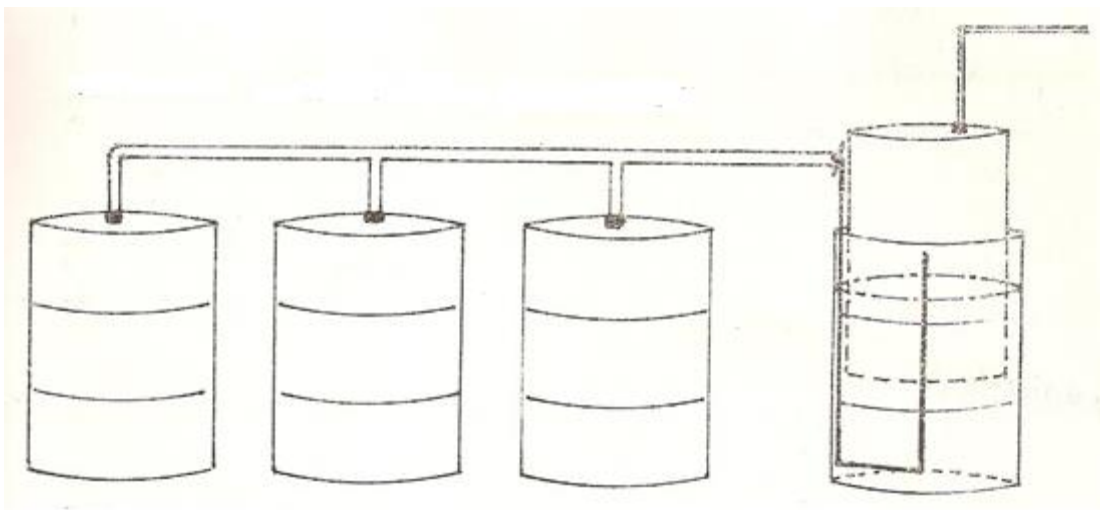


Figura 6: Biodigestor de tipo cerrado con tanques de metal conectados en serie  
(Pinal 1984).

## XVI. USO DE LA BIODIGESTION ANAERÓBICA

### Para el saneamiento ambiental.

La finalidad básica es lograr reducir los parámetros físico-químico y biológicos de las aguas servidas, domesticas o agropecuarias, después de un periodo de tiempo en los digestores, que permitan obtener al final efluente, cuyas características y calidad aseguren una baja o nula contaminación (Pérez 2010).

### Para la producción y aprovechamiento del gas.

Para lograr una buena producción de gas es conveniente contar con un adecuado material de carga, con relación C/N. en general los materiales de origen vegetal tienen una producción mayor que las de origen animal (Pérez 2010).

CUADRO 4: DIAS DE FERMENTACION

Días de Fermentación	10	20	30	40	50	60	70	80	90	Tasa de generación (m <sup>3</sup> /Kg. TS)
Materiales	Porcentaje del volumen total de gas generado (%)									
Excretas humanas	40.7	81.5	94.1	98.2	98.7	100				0.478
Estiércol de cerdo	46.0	78.1	93.9	97.5	99.1	100				0.405
Estiércol de vaca	34.4	74.6	86.2	92.7	97.3	100				0.300
Pasto verde	-	-	-	98.2	.	100				0.410
Paja de trigo	8.8	30.8	53.7	78.3	88.7	93.2	96.7	98.7	100	0.435

(Guevara 1996)

### **Para la producción de fertilizantes.**

Como subproductos después de la generación del metano y en función a la carga utilizada y al método seguido se pueden obtener dos tipos de abonos, líquidos o sólidos. Líquidos provenientes de digestores continuos de alta tasa de carga, con bajo contenido de solidos totales. El inconveniente de este abono es su comercialización por el estado físico de su presentación. Solidos provenientes de digestores semicontinuos, estos producen residuos sólidos de buen fertilizantes y que luego de secado se pueden comercializar sin problemas (Pérez 2010).

### **Para la introducción de la tecnología.**

Se refiere a los digestores que se utilizan para realizar investigaciones, sobre diferentes aspectos del proceso metanogénico o para demostración prácticas, estos digestores experimentales pueden ser continuos o semicontinuos; normalmente son de poca capacidad (Pérez 2010).

### **Con fines conservacionistas.**

Se trata de preservar y mejorar el medio ambiente, protegiendo los bosques, sustituyendo metano por leña, disminuyendo así la presión sobre las masas forestales, que generalmente se observa en el medio rural, debido al déficit de combustible. También ayuda a la conservación del ambiente a tratar en forma adecuada los desechos de origen orgánico que causan contaminación, acumulación de basuras y proliferación de artrópodos, vectores de diferentes enfermedades (López 2009).



## **XVII. MEDIDAS DE SEGURIDAD.**

El biogás es una mezcla altamente combustible y por ello existe el riesgo de explosión. Para mayor seguridad en el manejo tanto de instalaciones pequeñas como grandes es necesario observar lo siguiente (Pinal 1984).

- Evitar las descargas de biogás en áreas cerradas, empleando edificios bien ventilados.
- Mantener alejadas de las instalaciones cualquier tipo de flama o combustión, no fumar ni encender fuegos en la zona de producción de metano ni calzado con clavos o herramienta metálica que provoque chispas por fricción.
- Purgar todas las líneas de conducción así como la cámara de digester y el depósito de almacenamiento sacando el aire que pudiera quedar atrapado.
- Probar todas las uniones y líneas de conducción con agua jabonosa para prevenir fugas.
- Cuidar que el peso de la campana de almacenamiento no ejerza una presión excesiva sobre la cámara de fermentación creando presiones negativas que aumentan el riesgo de explosión y muerte de bacterias-
- Instalar trampas para flama en las líneas localizadas cerca de los aparatos de combustión.
- Usar extinguidores del tipo CO<sub>2</sub> y ABC.
- Colocar letreros con advertencias y normas generales de seguridad.

## **XVIII. LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO.**

Es recomendable observar ciertas prácticas constantes en cuanto a limpieza y mantenimiento que pueden resumirse bajo los siguientes puntos (Pinal 1984).

- Drenar y limpiar los tanques de digestión grandes cuando menos 2 veces por año.
- Checar las válvulas y líneas de conducción semanalmente.
- Retirar partes deterioradas sustituyéndolas por componentes en buen estado.
- Verificar el grado de corrosión de las partes metálicas y proporcionar un baño de agente protector cuando así se requiera.
- Revisar periódicamente la construcción sobre todo en las partes húmedas para detectar fallas en la resistencia.

## **XIX. CONCLUSION**

Se puede generar un equipo técnico y económico viable para solventar las necesidades energéticas de las unidades pecuarias. Existe un criterio de fácil verificación que permite decidir la viabilidad del proyecto.

A pesar de la importancia de esta tecnología, en el mejoramiento de las condiciones sanitarias de la población, la preservación del medio ambiente y a la producción de gas, muy poco se conoce de ella.

Las condiciones climáticas, favorecen grandemente para la implementación de esta tecnología, debido a que mayor temperatura se produce una mayor degradación de la materia orgánica y disminuye el tamaño de las estructuras que requiere el sistema.

El gas metano obtenido en el proceso de fermentación es de alto poder calorífico, por lo cual es de gran utilidad para satisfacer los requerimientos de energía a nivel doméstico y a nivel de unidades pecuarias

Para la construcción de los biodigestores se puede utilizar concreto, bloques concreto estructural. A pesar de que su construcción es muy simple es conveniente tomar precauciones, para evitar daños por fuga o sobre presión de los gases producidos.

En cuestiones económicas para su construcción es más favorable la del biodigestor de domo flexible ya que su proceso y los materiales requeridos no son de tan altos costos, fácil la construcción y fácil manejo.

## **XX. LITERATURA CITADA**

- Guevara Vera Antonio, 1996. FUNDAMENTOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES ANAERÓBICOS RURALES. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente División de Salud y Ambiente Organización Panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. Lima, Perú.
- López Mendoza Claudia, López Solís Omar Anthelomo, 2009. DISEÑO, CONSTRUCCION Y PUESTA EN OPERACIÓN DE UN BIODIGESTOR ANAEROBIO CONTINUO PARA EL LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS DE LA UNIVERSIDAD VERACRUZANA. Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico. Universidad Veracruzana Facultad de Ciencias Químicas Coatzacoalcos, Veracruz, México.
- Pérez M. A.M., 2010. ESTUDIO Y DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA APLICACION EN PEQUEÑOS GANADEROS Y LECHEROS, memoria para optar al título de ingeniero civil mecánico. Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Santiago de Chile.
- Pinal Sáenz Fernando E., 1984. MANUAL DE TECNICAS BASICAS, BIOGAS. Universidad Autónoma de Chihuahua Facultad de Zootecnia. Chihuahua, México.