



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería

Biodigestores

Monografía

Que para obtener el Título de:
Ingeniero Industrial

Presenta:
Iván Corona Zúñiga

Director :
Ing. Ernesto Alonso Cruz Bautista

Mineral de la Reforma, Hgo., diciembre 2007

Índice

<i>Introducción</i>	1
Capítulo 1. Generalidades	
1.1. El biogás	2
1.1.1. Breve historia y perspectivas	3
1.1.2. El biogás en México	5
1.1.3. El biogás en el ámbito mundial	8
1.2. Biomasa	10
1.2.1. Tipos de biomasa	10
a) Biomasa Natural	10
b) Biomasa residual (seca y húmeda)	11
1.2.2. Procesos de conversión de la biomasa en energía	12
a) Métodos termoquímicos	12
1.3. ¿Cómo se forma el biogás?	14
1.3.1. Digestión anaeróbica	15
1.3.2. Los tres pasos de la producción de biogás	16
a) Hidrólisis	16
b) Acidificación	17
c) Formación de metano	17
1.3.3. Composición de Biogás	18
Capítulo 2. Biodigestores	
2.1. El biodigestor	20
2.2. Tipos de Digestores	20
2.2.1. Plantas de globo	21

2.2.2. Plantas de Domo Fijo	24
2.2.3. Plantas de tambor flotante (Tipo Hindú).	26
2.3. Partes de un Digestor.	27
2.3.1. Tanques de carga	27
2.3.2. Tanque de descarga.	28
2.3.3. Tanque de Almacenamiento de gas.	28
2.3.4. Línea de conducción.	29
2.3.5. Válvulas.	29
2.3.6. Trampas.	30
2.4. Ventajas y desventajas de los biodigestores.	32
2.4.1. Ventajas de los biodigestores	32
2.4.2. Dificultades técnicas de los biodigestores.	33
2.5. Planificación de un biodigestor.	34
2.5.1. Factores humanos	34
2.5.2. Factores biológicos	35
2.5.3. Factores físicos	35
2.5.4. Factores utilitarios	35
2.6. Proceso de construcción	37
2.6.1. Selección del lugar, trazado y excavación	37
2.6.2. Construcción del digestor	39
2.6.3. Construcción de los tanques de carga y descarga	40
2.6.4. Sellado e impermeabilizado del tanque.	43
2.6.5. Construcción y colocación de la campana	44
CAPITULO 3. Operación de un biodigestor y usos del biogas	
3.1. Descripción del proceso	45
3.1.1. Molienda	45

3.1.2. Acondicionamiento.	45
3.1.3. Carga del digestor.	46
3.1.4. Descarga	46
3.2. Operación propuesta del sistema de digestión.	46
3.3. Modo de operación.	48
3.3.1. Producción de gas y composición	48
3.4. Usos del biogás	49
3.4.1. Producción de Energía Térmica	50
3.4.2. Producción de Energía Eléctrica	50
3.4.3. Producción de Biocombustibles	52
3.4.4. Producción de gases combustibles	52
3.5. Producción de abono orgánico	53
3.5.1. Sustancias orgánicas en los fertilizantes	55
3.5.2. Nutrientes y Organismos del Suelo	55
3.5.3. Reducción de la Erosión del Suelo	56
3.5.4. Reducción del deslave de Nitrógeno	56
3.5.5. Efectos sobre los cultivos.	56
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	59

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1.2. (1). Manejo del estiércol en establos.	6
Fig. 1.1.2. (2). Acomodo estiércol en terreno.	7
Fig. 1.1.2. (3). Secado al sol del estiércol.	7
Fig. 1.1.2.(4). Planta de captación de gas metano en Monterrey.	8
Fig. 1.2.1.(1). Productores de biomasa.	11
Fig. 2.2.1.(1). Biodigestor de globo.	20
Fig. 2.2.1. (2). Biodigestor de globo.	21
Fig. 2.2.1.(3). Biodigestor de plástico de bajo costo.	22
Fig. 2.2.2.(1). Esquema de un biodigestor de domo fijo.	24
Fig. 2.2.2.(2). Biodigestor fijo en construcción	24
Fig. 2.2.3.(1). Biodigestor de Domo flotante en paralelo	25
Fig. 2.2.3.(2) Esquema de domo Flotante.	26
Fig. 2.6.1. (1). Trazado de un biodigestor.	37
Fig. 2.6.1. (2). Excavación.	37
Fig. 2.6.2. (1). Armado de parrilla.	38
Fig. 2.6.2. (2). Detalle de construcción de los muros de tabique.	39
Fig. 2.6.3. (1) Tanques de carga y descarga.	39
Fig. 2.6.3. (2). Construcción de la cámara.	40
Fig. 2.6.3. (3). Construcción de la cámara, revocando las paredes.	40
Fig. 2.6.3. (4). Construcción del tanque de alimentación.	41
Fig. 2.6.3. (5). Construcción de biodigestor.	41
Fig. 2.6.4. (1). Sellado del tanque.	42
Fig. 2.6.4. (2). Impermeabilizado del tanque.	43
Fig. 2.6.5. (1). Pintado de campana.	43
Fig. 3.2. (1). Operación del sistema de digestión.	46
Fig. 3.3. (1). Usos del Biogas.	48
Fig. 3.4. (1). Usos del biogas.	49



Introducción

Una de las grandes preocupaciones mundiales es el agotamiento de los hidrocarburos como fuente de energía de ahí la necesidad y ocupación de las naciones de explorar opciones alternas, una de ellas son los biocombustibles. En el presente trabajo se trata de explicar los grandes beneficios económicos y ecológicos a partir de la generación de biogás (gas metano) debido a la descomposición de materia orgánica en condiciones anaeróbicas; así como la construcción de la planta generadora (biodigestor), y su ubicación de acuerdo con la disposición de la materia prima y las necesidades rurales de electrificación; así como la sustitución del combustible tradicional que es la leña por el gas.

En el capítulo uno se aborda la definición y composición del biogás, sus antecedentes históricos, sus condiciones de generación; así como el proceso de conversión de la biomasa en energía.

En el capítulo dos se analizan los diferentes tipos de biodigestores, su proceso de construcción y las partes que lo conforman.

En el capítulo tres se explican detalladamente el principio de operación del digestor, además de las aplicaciones y beneficios que trae consigo la generación y utilización del biogás, tales como: su uso para cocinar en combustión directa en estufas simples y su aplicación en la generación de: iluminación, calefacción y como reemplazo de la gasolina en motores de combustión interna.



Capítulo 1. Biogás

1.1. El biogás

Se da este nombre a la mezcla gaseosa producida por la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas.

La composición típica del biogás en una alta proporción corresponde al metano (CH₄), un gas combustible que permite la utilización de este producto con fines energéticos.

En este sentido, el biogás puede ser de gran utilidad en el campo ya que por su poder calorífico puede reemplazar con cierta ventaja a combustibles tradicionales que cumplen la misma función.¹

Las áreas rurales se caracterizan por disponer de grandes cantidades de desechos provenientes de las actividades agrícolas y pecuarias que ahí se desarrollan. El estiércol de los animales, las cáscaras de las frutas, las hojas, los residuos de la cocina y los demás materiales orgánicos similares pueden, teóricamente, ser convertidos en energía y en abono que retorna a la tierra de donde fue tomado por las plantas.

¹<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia22/HTML/articulo04.htm>



1.1.1. Breve historia y perspectivas

Actualmente la tecnología del biogás se usa prácticamente en todo el mundo, especialmente en aquellas zonas donde no hay reservas considerables de combustibles fósiles. En los países en vías de desarrollo, la preocupación por el aspecto energético se ha manifestado mediante la proliferación de esquemas de biodigestión. Junto con la propuesta de diferentes diseños de biodigestores han aparecido un sin número de plantas de biogás, aunque todavía no las suficientes como para prescindir de los combustibles a base de petróleo. A continuación se reseña la evolución del mundo en el descubrimiento y uso del biogás:

1770 El italiano Volta colecta gas de pantano e investiga su comportamiento.

1821 Avogadro identifica el Metano (CH_4).

1875 Propoff establece que la formación del biogás se lleva a cabo bajo condiciones anaeróbicas.

1884 Investigaciones de Pasteur sobre la información del biogás a partir de los desechos de animales. El propone la producción del biogás para su uso en las linternas de las calles.

1906 En Alemania se contribuye la primera planta de tratamiento anaeróbico de aguas residuales.

1913 Primer digestor anaeróbico con uso de calentamiento.



1920 Primera planta de depuración de aguas residuales en Alemania que provee el biogás recolectado en un servicio de gas público.

1940 Adición del uso de residuos orgánicos a la depuración de aguas residuales para aumentar la producción del biogás.

1947 Investigaciones demuestran que los desechos de una vaca pueden proporcionar cien veces más biogás que las heces fecales de una pequeña comunidad urbana.

1950 Instalación de la primera gran planta agrícola del biogás.

1950's Se construyen alrededor de 50 plantas productoras de biogás, alimentadas de una mezcla de aguas residuales y desechos fecales. Problemas técnicos llevan al cierre de todas las plantas excepto dos.

1974 Después de la primera crisis energética aumenta el desarrollo y la implementación de nuevas tecnologías en la producción del biogás.

1985 Se instalan alrededor de 75 plantas productoras de biogás. La demanda de este nuevo recurso aumenta.

1990 Gracias a la estabilidad del precio para la formación del biogás y el desarrollo de tecnología se comienza a usar para la generación de energía eléctrica. Gracias al avance tecnológico se comienza a experimentar con diferentes tipos sustratos para la generación de biogás.

1990 Se funda la asociación de biogás alemana (Fachvertand Biogás).

1997 Existen en Alemania más de 400 plantas agrícolas para la generación del biogás.



1.1.2. *El biogás en México*

La forma de aprovechar la biomasa como energético puede ser por medio de la combustión directa, como tradicionalmente se han aprovechado en México la leña y el bagazo de caña, o bien mediante la conversión de la biomasa en diferentes hidrocarburos a través de diferentes procesos.

Buscando aplicaciones para la fermentación anaeróbica, el instituto de investigaciones eléctricas empezó trabajando con residuos animales; por un lado, el proceso produce fertilizantes o un abono orgánico, que más que un fertilizante es un acondicionador de suelos y en muchos casos se han hecho experimentos para emplearlos como un complemento alimenticio y por el otro tenemos un combustible, el conocido como biogás. Hay una gran variedad de residuos que pueden aprovecharse: agrícolas, animales, algas que se generan en grandes cantidades en las costas, el lirio acuático que es una plaga en las empresas de México y la basura que se genera todos los días.

En México se comienza a tener una mayor conciencia del potencial que ofrece el aprovechamiento de residuos, principalmente urbanos, dado los volúmenes que se manejan en las grandes ciudades del país. Estos residuos y desechos de animales, desde hace tiempo se han venido utilizando en instalaciones a nivel prototipo en el Instituto de Investigaciones Eléctricas y en el Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Una muestra del uso inteligente de la biomasa es el proyecto propuesto en el municipio de Tizayuca en el Estado de Hidalgo, donde existe un crecimiento industrial desmedido requiriendo un consumo energético de igual magnitud; al mismo tiempo el deterioro del medio ambiente, la salud pública; la contaminación del agua, aire y tierra se deja notar considerablemente; Tizayuca contaba con la cuenca lechera más grande del estado desde hace más de 30 años con una población de 30,000 vacas y 1,500 toneladas diarias de estiércol, por lo que los objetivos del proyecto en Tizayuca son:

- a) Tratar los residuos sólidos y líquidos que permitieran reducir significativamente el problema de contaminación.
- b) Generar energía eléctrica con base en el biogás generado por la biodigestión del estiércol.²

Fig. 1.1.2. (1). Manejo del estiércol en establos.



Fuente: www.conae.gob.mx

² <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia22/HTML/articulo04.htm>

Fig. 1.1.2. (2). Acomodo estiércol en terreno.



Fuente: www.conae.gob.mx

Fig. 1.1.2. (3). Secado al sol del estiércol.



Fuente: www.conae.gob.mx

Pero no sólo en el estado de Hidalgo se está haciendo algo con el tratamiento de desechos, de igual manera en Monterrey se está implementando un sistema que capture y utilice el biogás de rellenos sanitarios como combustible alternativo a los combustibles fósiles; en la planta de Monterrey se espera que se capturen 214 millones de metros cúbicos de metano.³

Fig. 1.1.2.(4). Planta de captación de gas metano en Monterrey.



Fuente: www.conae.gob.mx

1.1.3. *El biogás en el ámbito mundial*

Actualmente la tecnología del biogás se usa prácticamente en todo el mundo, especialmente en aquellas zonas en donde no hay reservas fósiles considerables. En los países en vías de desarrollo, la preocupación por el aspecto energético se ha

³<http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/BANCOMUNDIAL/EXTSPPAISES/LACINSPANISHEXT/MEXICOINSPANISHEXT/0,,contentMDK:20899871~pagePK:141137~piPK:141127~theSitePK:500870,00.html>



manifestado mediante la proliferación de esquemas de biogasificación –particularmente en los países deficientes en fuentes de energía. Junto a la proliferación de diseños propuestos, se ha dado una escalada en el número de instalaciones para biogasificación que se suponen en operación en varios países en desarrollo. Aunque es verdad que el número de instalaciones construidas no es pequeño, hay poca evidencia que respalde la magnitud de los números reportados. Desgraciadamente los reportes normalmente no mencionan el número significativamente de aventuras sin éxito dentro de la biogasificación⁴.

Es bien sabido que la biogasificación ha sido un elemento clave del tratamiento de aguas residuales en los países desarrollados casi desde los principios del tratamiento de las aguas residuales. Y mantiene ese status en la mayoría de los sistemas modernos del tratamiento de aguas. El rol es principalmente como un medio para tratar los sólidos suspendidos en la corriente y los sólidos producidos en el tratamiento secundario y terciario de aguas residuales. En años recientes se ha convertido en medio para tratar muchos desechos industriales.

⁴<http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/BANCOMUNDIAL/EXTSPPAISES/LACINSPANISHEXT/MEXICOINSPANISHEXT/0,,contentMDK:html>



1.2. Biomasa

La biomasa es toda sustancia orgánica renovable de origen tanto animal como vegetal. La energía de la biomasa proviene de la energía que almacenan los seres vivos. En primer lugar los vegetales, al realizar la fotosíntesis, utilizan la energía del sol para formar sustancias orgánicas. Después los animales incorporan y transforman esa energía al alimentarse de las plantas. Los productos de dicha transformación que se consideran residuos, pueden ser utilizados como recurso energético.

1.2.1. Tipos de biomasa

Existen diferentes tipos de biomasa que pueden ser utilizados como recurso energético. Aunque se pueden hacer multitud de clasificaciones, en esta monografía se ha escogido la clasificación más aceptada, la cual divide la biomasa en cuatro tipos diferentes: biomasa natural, residual seca y húmeda y los cultivos energéticos.

a) *Biomasa Natural*

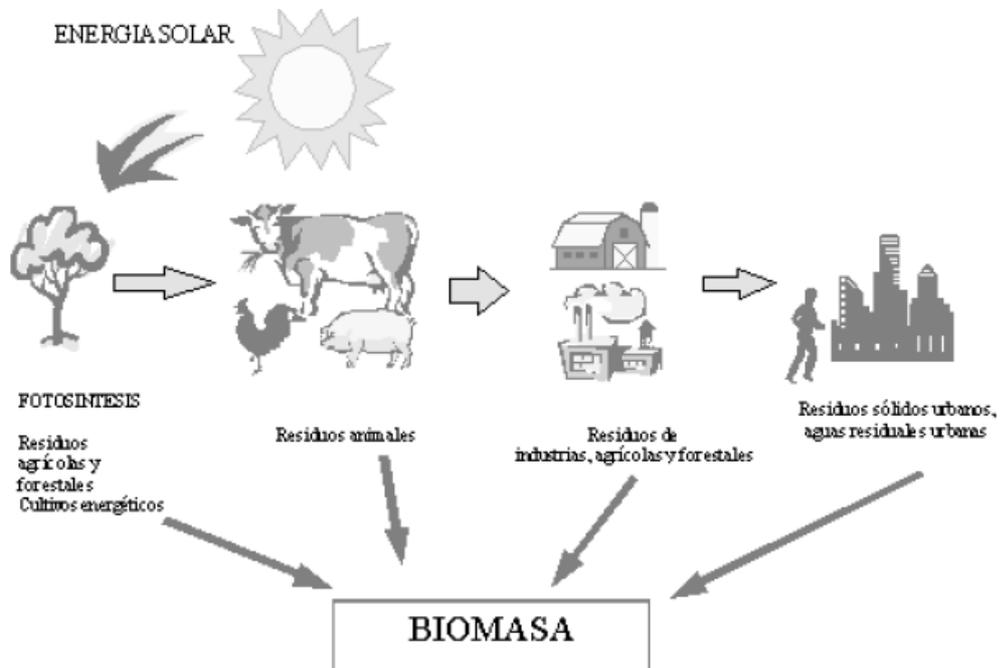
Es la que se produce en la naturaleza sin ninguna intervención humana. El problema que presenta este tipo de biomasa es la necesaria gestión de la adquisición y transporte del recurso al lugar de utilización. Esto puede provocar que la explotación de esta biomasa sea inviable económicamente.

b) *Biomasa residual (seca y húmeda)*

Son los residuos que se generan en las actividades de agricultura (leñosos y herbáceos), y ganadería en las forestales, en la industria maderera y agroalimentaria, entre otras y que todavía pueden ser utilizados y considerados subproductos. Como ejemplo podemos considerar el aserrín, la cáscara de almendra, el orujillo, las podas de frutales, etc.

Se denomina biomasa residual húmeda a los vertidos llamados biodegradables, es decir, las aguas residuales urbanas e industriales y los residuos ganaderos (principalmente purines).

Fig. 1.2.1.(1). Productores de biomasa.



Fuente: www2.udec.cl/jhuenuma/galeon/ingenieros.htm



1.2.2. *Procesos de conversión de la biomasa en energía*

Existen diferentes métodos que transforman la biomasa en energía aprovechable, expondremos los dos métodos más utilizados en este momento, los termoquímicos y los biológicos.

a) *Métodos termoquímicos*: Estos métodos se basan en la utilización del calor como fuente de transformación de la biomasa. Están muy desarrollados para la biomasa seca, sobre todo para la paja y la madera.

Se utilizan los procesos de:

I.- *Combustión*

Es la oxidación de la biomasa por el oxígeno del aire, en esta reacción se libera agua y gas carbónico, y puede ser utilizado para la calefacción doméstica y para la producción de calor industrial.

II.- *Pirólisis*

Se trata de una combustión incompleta a alta temperatura (500°C) de la biomasa en condiciones anaerobias. Se utiliza desde hace mucho tiempo para producir carbón vegetal. Este método libera también un gas pobre, mezcla de monóxido (CO) y dióxido de carbono (CO₂), de hidrógeno (H₂) y de hidrocarburos ligeros. Este gas, de poco poder calórico, puede servir para accionar motores diesel, para producir electricidad, o



para mover vehículos. Una variante de la pirólisis, es la *pirólisis flash*. Esta se realiza a una temperatura mayor, alrededor de 1,000° C, y tiene la ventaja de asegurar una gasificación casi total de la biomasa. Se optimiza de esta forma el "gas pobre". Las instalaciones en la que se realizan la pirólisis y la gasificación de la biomasa se llaman *gasógenos*. El gas pobre producido puede utilizarse directamente o puede servir como base para la síntesis de metanol, el cual podría sustituir a las gasolinas para la alimentación de los motores de explosión (*carburo*).⁵

La gasificación tiene ventajas con respecto a la biomasa original:

1. El gas producido es más versátil y se puede usar para los mismos propósitos que el gas natural;
2. Puede quemarse para producir calor y vapor y puede alimentar motores de combustión interna y turbinas de gas para generar electricidad;
3. Produce un combustible relativamente libre de impurezas y causa menores problemas de contaminación al quemarse.

b) *Métodos biológicos*

1.- *Fermentación alcohólica*

Se trata de una **fermentación alcohólica** que transforma la biomasa en etanol (biocombustible). Este alcohol se produce por la fermentación de azúcares

⁵ Manilla Pérez, Efraín. *Diseño de un biorreactor para la producción de biogás a partir de desechos agrícolas*. México, 2000.



II.- Fermentación metánica

Otro método biológico es la **fermentación metánica**, que es la digestión anaerobia de la biomasa por bacterias. Se suele utilizar para la transformación de la biomasa húmeda. En los fermentadores, o digestores. La celulosa es la sustancia que se degrada en un gas, el cual contiene alrededor de 60% de metano y 40% de gas carbónico. Para este proceso se requiere una temperatura entre 30-35 ° C. Estos digestores por su gran autonomía presentan una opción favorable para las explotaciones de ganadería intensiva.⁶

1.3. ¿Cómo se forma el biogás?

La biogasificación se puede designar alternativamente como *fermentación de metano*, *producción de metano o digestión anaeróbica*.⁷ El término fermentación de metano se puede entender como la destrucción del gas mediante la fermentación microbiana; en la digestión anaeróbica, no siempre hay formación de metano, sin embargo los términos se usan indistintamente.

⁶ Manilla Pérez, Efraín. *Diseño de un biorreactor para la producción de biogás a partir de desechos agrícolas*. México, 2000.

⁷ López Villanueva, Berenice. *Proyecto para la construcción de una planta de biogás a partir de desechos orgánicos en el Distrito Federal*. México, 2001.



Para los propósitos de este escrito, “Biogásificación” se define como la descomposición biológica de la materia orgánica de origen biológico en condiciones anaeróbicas, con la formación principalmente de metano (CH_4) y bióxido de carbono (CO_2). Hay dos características que distinguen al proceso de otras descomposiciones biológicas, que son: ‘en condiciones anaeróbicas’ y ‘producción de metano’

1.3.1. Digestión anaeróbica

En la naturaleza existen microorganismos (las bacterias) que se alimentan de residuos como los antes mencionados. Si estos se desarrollan en ausencia de aire (condición anaeróbica), al alimentarse con materia orgánica la transforman en gas y en un lodo rico en nutrientes que puede ser utilizado como abono.

Las bacterias requieren de un ambiente propicio, primero para sobrevivir y luego para multiplicarse hasta alcanzar una población suficiente para que su acción sea apreciable.

Dichas condiciones son:

- a) La ausencia de aire, para cumplir con el requisito de condición anaeróbica que permite la supervivencia de los microorganismos.
- b) Las características del medio (llamado también el sustrato) donde crecen y se multiplican las bacterias. Aquí es importante destacar las siguientes:

La temperatura, que experimentalmente se ha determinado, debe ser mayor a los 20°C para lograr una buena producción.



El grado de acidez (conocido como pH). Si el ambiente es muy ácido, o lo contrario, puede causar la muerte de los microorganismos.⁸

Los beneficios de la digestión anaeróbica desde un triple punto de vista: El gas, que puede utilizarse para producir energía; el fertilizante que, por sus características, constituye un abono orgánico de calidad comparable a los tradicionalmente empleados en el campo, como la gallinaza o el estiércol de res, y el control de la contaminación que se origina por la descomposición espontánea e incontrolada de la materia orgánica.

1.3.2. *Los tres pasos de la producción de biogás*

El proceso completo de formación de biogás se puede dividir en tres pasos: hidrólisis, acidificación y formación del metano. Están involucrados tres tipos de bacterias:

Bacterias de fermentación

Bacterias acetogénicas

Bacterias metanógenas

a) Hidrólisis

En el primer paso (hidrólisis), la materia orgánica es externamente enzimolizada por enzimas extracelulares (celulosa, amilasa, proteasa y lipasa) de los microorganismos. Las bacterias descomponen las largas cadenas de los complejos carbohidratos, proteínas y lípidos, en partes cortas.

⁸ López Villanueva, Berenice. *Proyecto para la construcción de una planta de biogás a partir de desechos orgánicos en el Distrito Federal*. México, 2001.



b) Acidificación

Las bacterias productoras de ácidos, involucradas en el segundo paso, convierten los intermediarios de las bacterias de fermentación de ácido acético (CH_3COOH), hidrogeno (H_2) y bióxido de carbono (CO_2). Estas bacterias son facultativamente anaeróbicas y pueden crecer en condiciones ácidas. Para producir ácido acético, necesitan oxígeno y carbono; para esto utilizan el oxígeno disuelto en la solución u oxígeno enlazado. Debido a esto, las bacterias productoras de ácido crean una condición anaeróbica que es esencial para los microorganismos productores de metano. Además reducen los compuestos de bajo peso molecular a alcoholes, ácidos orgánicos, aminoácidos, bióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, y tazas de metano.⁹

c) Formación de metano

Las bacterias productoras de metano, que participan en el tercer paso, descomponen compuestos con bajo peso molecular. Por ejemplo, utilizan hidrógeno, dióxido de carbono y ácido acético para formar metano y bióxido de carbono.

En condiciones naturales, las bacterias que producen metano ocurren en la medida en que se proporcionen condiciones anaeróbicas, por ejemplo, bajo el agua (como en sedimentos marinos), en estómagos de rumiantes y en pantanos. Son obligatoriamente anaeróbicas y muy sensibles a cambios ambientales. Las bacterias metanógenas

⁹ López Villanueva, Berenice. *Proyecto para la construcción de una planta de biogás a partir de desechos orgánicos en el Distrito Federal*. México, 2001.



pertenecen al género *archaebacter*, o grupo de bacterias con una morfología muy heterogénea.

La diferencia principal con las bacterias acetogénicas, yace en la estructura de las paredes celulares de las bacterias.

1.3.3. Composición de Biogás

El biogás, es un gas combustible que se genera artificialmente, en dispositivos específicos, mediante la acción de unos seres vivos (bacterias metanogénicas), en ausencia de aire (esto es, en un ambiente anaeróbico). Cuando la materia orgánica se descompone en ausencia de oxígeno, actúa este tipo de bacterias, generando biogás.

De modo natural se produce en la putrefacción de la materia orgánica y se llama gas de los pantanos o gas natural. Su composición es variable pero en líneas generales sería:

- a) Metano (CH_4) = 45 a 55 %
- b) Anhídrido carbónico (CO_2)= 50 a 40%
- c) Nitrógeno (N_2) = 2 % a 3%
- d) Ácido sulfhídrico (SH_2) = 1,5 a 2 % ¹⁰

¹⁰ <http://es.wikipedia.org/wiki/Biogas>



Capítulo 2. Biodigestores

2.1. El biodigestor

Es un tanque cerrado de cualquier forma, tamaño y material; en el cual se almacena basura orgánica mezclada con agua que al descomponerse en ausencia de aire generan biogás. Definido por el diseño de la planta en función de las variables del proceso, ambientales y de utilización del sistema.

Al especificar que se puede tomar cualquier forma se está indicando que se utilizan tanques cilíndricos, rectangulares, esféricos o semiesféricos, dependiendo de las preferencias del usuario y de las facilidades que se tengan para su construcción. Sin embargo, desde el punto de vista físico y del proceso no se recomienda emplear tanques rectangulares: Requieren mayor cantidad de materiales de construcción y crean dentro de la masa en digestión zonas de diferente composición y temperatura que impiden obtener mayor provecho del sistema.

2.2. Tipos de Digestores.

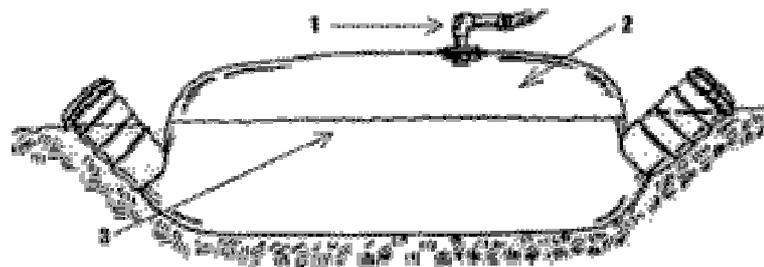
Una primera revisión de la apariencia física de los diferentes tipos de plantas de biogás describe los tres tipos principales de plantas simples de biogás: plantas de globo, plantas de domo fijo y plantas de tambor flotante.

2.2.1. Plantas de globo.

Este tipo de plantas tiene en la parte superior un digestor de bolsa en el cual se almacena el gas, la entrada y la salida se encuentran en la misma superficie de la bolsa. Sus ventajas son bajo costo, fácil transportación, poca sofisticación de construcción, altas temperaturas de digestión, fácil limpieza, mantenimiento y vaciado.

Sus desventajas son su corto tiempo de vida, alta susceptibilidad a ser dañado, baja generación de empleo y por lo tanto limitado potencial de autoayuda.¹¹

Fig. 2.2.1.(1). Biodigestor de globo.



- 1.- Válvula de salida
- 2.-Almacenamiento de biogás
- 3.-Nivel de agua con materia orgánica

Fuente: www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia22/HTML/articulo04.htm

¹¹ www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia22/HTML/articulo04.htm

Fig. 2.2.1. (2). Biodigestor de globo.

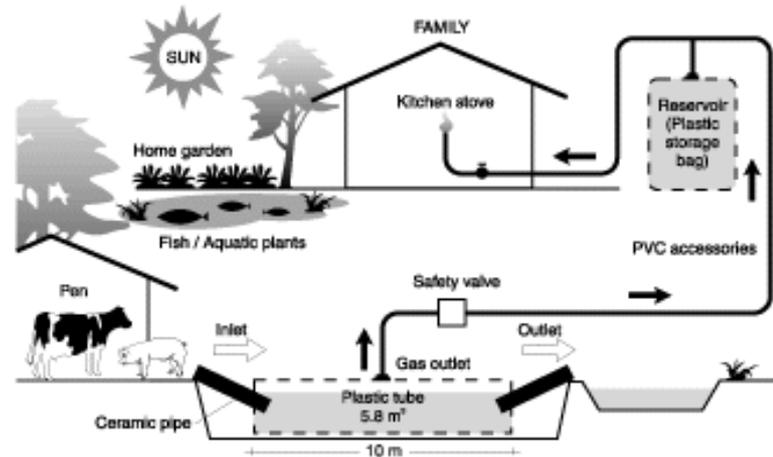


Fuente: www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia22/HTML/articulo04.htm

a) Mantenimiento: estos biodigestores pueden tener una durabilidad de 20 años,¹² en el caso de presentarse rupturas de éste pueden ser fácilmente reparadas del mismo material del biodigestor usando un adhesivo fuerte, la parte reparada debe permanecer seca hasta su endurecimiento por completo. Cuando se necesita el metano sólo se ejerce una pequeña presión sobre la bolsa de almacenamiento moviendo de esta forma el biogás a donde se necesita.

¹² *Plantas de biogás. Diseño, construcción y operación.* Instituto de Investigaciones Tecnológicas. Bogotá, Colombia, 1972.

Fig. 2.2.1.(3). Biodigestor de plástico de bajo costo.



Fuente: *Energías renovables*, de Francisco Jarabo Friedrich, España, 2000.

b) Ventajas de los biodigestores de plástico, económicos:

I.-Este tipo de digestor es muy económico y fácil de transportar por su bajo peso, en especial en aquellos sitios de difícil acceso.

II.-Al ser hermético se reducen las pérdidas

Este tipo de instalación es muy económica, el costo de un biodigestor es de \$500 por cada cuatro personas. Entre sus desventajas se halla su bajo tiempo de vida útil, lo que hace necesario montar una nueva instalación cada tres años. También es muy vulnerable a sufrir roturas por condiciones climáticas adversas, por las acciones del hombre y los animales.¹³

¹³ *Plantas de biogás. Diseño, construcción y operación*. Instituto de Investigaciones Tecnológicas. Bogotá, Colombia, 1972.



2.2.2. Plantas de Domo Fijo.

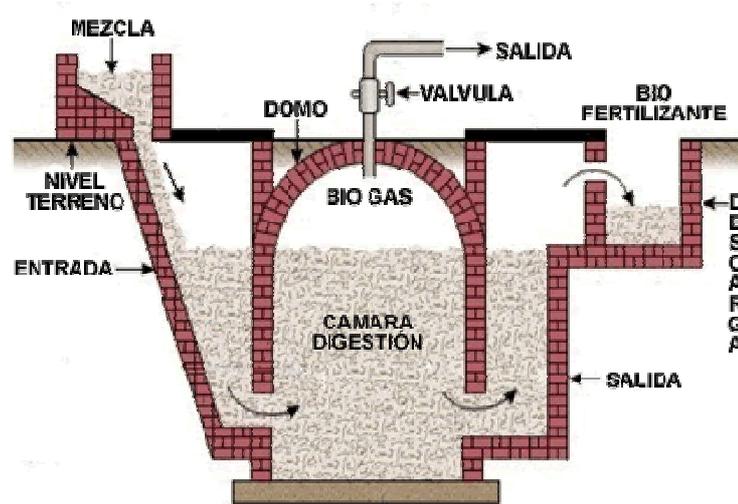
Las plantas de domo fijo consisten en un recipiente fijo e inmóvil para gas, que se coloca en la parte superior del digestor. Cuando comienza la producción de gas, la mezcla se desplaza hacia el tanque de compensación. La presión del gas aumenta, el aumento de volumen del gas almacenado y con la diferencia de altura entre el nivel de la mezcla en el digestor y el nivel de la mezcla en el tanque de compensación.

a) Ventajas: costos de construcción relativamente bajos, larga vida útil. La construcción subterránea ahorra espacio y protege al digestor de cambios de temperatura; además su construcción implica la creación de fuentes de empleo.

Las principales desventajas son los frecuentes problemas con la permeabilidad para gases del recipiente de ladrillos para el gas (una pequeña fractura en el recipiente superior puede causar altas pérdidas de biogás). Por lo tanto, las plantas de domo fijo, sólo son recomendables cuando la construcción puede ser supervisada por técnicos experimentados de biogás. La presión del gas fluctúa dependiendo sustancialmente del volumen del gas almacenado.

BIODIGESTOR DE DOMO FIJO.

Fig. 2.2.2.(1). Esquema de un biodigestor de domo fijo.



Fuente: <http://www.energianatural.com.ar/biogas02.html>

Fig. 2.2.2.(2). Biodigestor fijo en construcción.



Fuente: <http://www.energianatural.com.ar/biogas02.html>

2.2.3. Plantas de tambor flotante (Tipo Hindú).

Las plantas de tambor flotante consisten en un digestor subterráneo y un recipiente móvil para gas. El recipiente para gas flota, ya sea directamente sobre la mezcla de fermentación o en una chaqueta de agua. El gas se recolecta en el tambor de gas, que se levanta o baja, de acuerdo con la cantidad de gas almacenado.

- a) Sus ventajas son su operación simple y fácil de entender: el volumen almacenado de gas es visible directamente. La presión del gas es constante, determinada por el peso del recipiente de gas. La construcción es relativamente fácil; los errores en la construcción no llevan a problemas mayores en la operación y la producción de gas.
- b) Sus desventajas son los altos costos de los materiales para el tambor de acero, la susceptibilidad a la corrosión de las partes de acero, por lo que la vida útil de la planta es más corta; además se tienen costos fijos de mantenimiento para pintar el tambor.

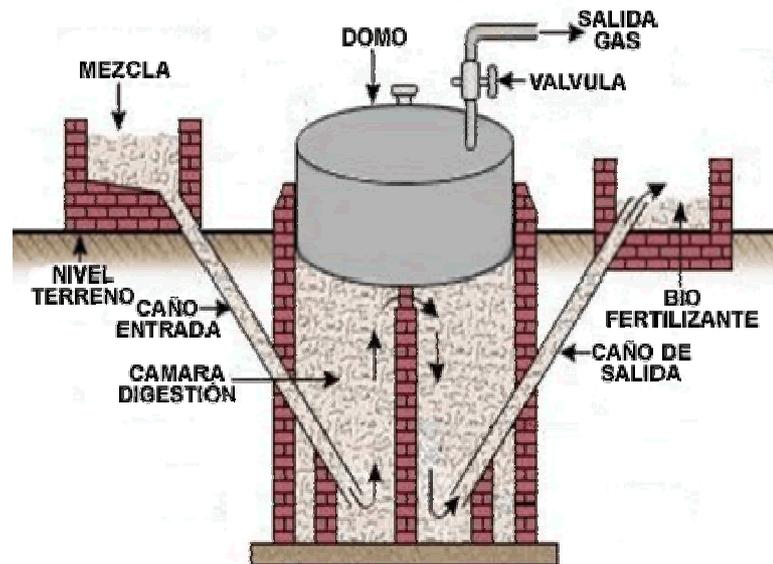
Fig. 2.2.3.(1). Biodigestor de Domo flotante en paralelo.



Fuente: www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia22/HTML/articulo04.htm

BIODIGESTOR DE DOMO FLOTANTE TIPO HINDÚ

Fig. 2.2.3.(2) Esquema de domo Flotante.



Fuente: <http://www.energianatural.com.ar/biogas02.html>

2.3. Partes de un Digestor.

2.3.1. Tanques de carga.

Es el ducto por el cual va a ser alimentado el digestor y está construido de ladrillo común y su superficie interna lleva un aplanado de cemento. La alimentación se prepara en el tanque de carga y se introduce al digestor por la parte inferior a través de un tubo de PVC dirigido hacia la línea central del tanque.



2.3.2. Tanque de descarga:

Es el dúcto por medio del cual se extraen los lodos residuales producto de la digestión anaeróbica y esta elaborado con los mismos materiales y de la misma forma que el tanque de carga. La descarga se efectúa por el efecto de vasos comunicantes: Al cargar el digestor, la presión del material que entra expulsa por el tubo de descarga una cantidad igual de material ya procesado (o agotado).

2.3.3. *Tanque de Almacenamiento de gas.*

Para los digestores de domo fijo y de domo flotante el tanque de almacenamiento consiste en una construcción circular o cuadrada de ladrillo con un acabado por adentro de cemento pulido y para los digestores de globo consistirá en una bolsa de material plástico resistente a la corrosión y al medio agresivo. El gas producido por el digestor se almacena con el fin de tener disponible una cantidad suficiente en el momento que se requiera, utilizando cualquier recipiente hermético.

En algunos tipos de digestores el almacenamiento está directamente sobre la boca, en esos casos es conveniente utilizar campanas flotantes metálicas que permiten disponer del gas a una presión constante.



2.3.4. Línea de conducción

La línea de conducción para una instalación típica, sus dimensiones van a depender de:

- a).-Del flujo de gas que se desea transportar y
- b).-De la distancia existente entre la planta y el lugar de uso.

Vale la pena mencionar que las plantas de Biogás utilizan casi siempre manguera de PVC, debido a que este material no es afectado por la acción del ácido sulfhídrico. La manguera de PVC irá preferiblemente enterrada o recubierta para evitar el deterioro (cristalización) por la luz solar. De lo contrario, se colocará elevada para evitar daños físicos causados por personas o animales.

2.3.5. Válvulas

Se utilizan mínimo dos válvulas para gas, la primera o principal irá instalada inmediatamente al comienzo de la conducción y sobre el niple de salida. La segunda se monta al final de la línea, en el lugar de uso.

Estas válvulas, cuyo tamaño debe ser compatible con el diámetro de la tubería, deberán estar construidas en acero inoxidable o en PVC para evitar la corrosión por el ácido sulfhídrico.



2.3.6. Trampas

El gas debe ser purificado antes del uso. La purificación, en los casos en que el uso se reduce a calefacción, alumbrado o cocción de alimentos, tiene por objeto eliminar o disminuir el contenido de ácido sulfhídrico para proteger de la corrosión los equipos, y a la reducción del contenido de agua presente en el gas como resultado del proceso de digestión.

a) Trampas de ácido sulfhídrico

Están constituidas por un recipiente relleno con material de hierro finamente dividido formando un lecho poroso a través del cual debe circular el gas para que reaccione con el metal y se deposite en el lecho.

La condición de porosidad se alcanza utilizando como relleno virutas de hierro o esponjillas de cocina de marca comercial. Estos materiales tienen la ventaja de ser de bajo costo y de oponer poca resistencia al flujo de gas, aspecto importante en razón de las bajas presiones que se manejan en este tipo de sistemas.

La forma del recipiente y las características del material utilizado para su construcción dependen del gusto del propietario de la planta. El único requisito es el de que sean completamente herméticos para evitar fugas de gas. Así, es posible encontrar, en plantas en operación trampas:



Rectangulares construidas en hierro o en acero, pintadas con el mismo material empleado en el enlucimiento y protección de la campana.

Cilíndricas en acero. Estas se construyen a partir de secciones de tubería estándar de 2 pulgadas o más. Al igual que las anteriores, requieren de pintura interior y exterior para protegerlas de la corrosión.

Cilíndricas en PVC: Se construyen también a partir de tuberías estándar, o se arman utilizando accesorios (en Y) de PVC disponibles en el mercado. No requieren pintura protectora pero deben en lo posible no exponerse a los rayos del sol.

La trampa de sulfhídrico actúa también como trampa de llama no sólo por la presencia del relleno sino por el mayor diámetro del recipiente con relación a la línea de conducción.

b) Trampas de agua

El agua arrastrada por el agua se separa cuando la corriente encuentra en su trayectoria una exención brusca y una contracción posterior. Para lograr este propósito será suficiente instalar sobre la línea un accesorio idéntico a las trampas de sulfhídrico, con la diferencia de que no se necesitará el relleno de material de hierro.

Las trampas están provistas de un grifo de purga por donde se debe evacuar periódicamente el agua depositada en el fondo.



2.4. Ventajas y desventajas de los biodigestores

2.4.1. Ventajas de los biodigestores

- a) Permite disminuir la tala de los bosques al no ser necesario el uso de la leña para cocinar.
- b) Humaniza el trabajo de los campesinos, que antes debían buscar la leña en lugares cada vez más lejanos.
- c) Diversidad de usos (alumbrado, cocción de alimentos, producción de energía eléctrica, transporte automotor y otros).
- d) Produce biofertilizante rico en nitrógeno, fósforo y potasio, capaz de competir con los fertilizantes químicos, que son más caros y dañan el medio ambiente.
- e) Elimina los desechos orgánicos, por ejemplo, la excreta animal, contaminante del medio ambiente y fuente de enfermedades para el hombre y los animales.

La utilización de los biodigestores además de permitir la producción de biogás ofrece enormes ventajas para la transformación de desechos:

- l) Mejora la capacidad fertilizante del estiércol. Todos los nutrientes tales como nitrógeno, fósforo, 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 (NH_4^+), las cuales pueden ser aprovechadas directamente por la planta. Debe



notarse que en los casos en que el estiércol es secado al medio ambiente, se pierde alrededor de un 50% del nitrógeno.¹⁴

II) El efluente es mucho menos oloroso que el afluente.

III) Control de patógenos. Aunque el nivel de destrucción de patógenos variará de acuerdo a factores como temperatura y tiempo de retención, se ha demostrado experimentalmente que alrededor del 85% de los patógenos no sobrevive el proceso de biodigestión. En condiciones de laboratorio con temperaturas de 35° C, los coliformes fecales fueron reducidos entre el 50 y el 70%, y los hongos en 95% en 24 horas.¹⁵

2.4.2. Dificultades técnicas de los biodigestores

La construcción de biodigestores conlleva una serie de dificultades técnicas:

- a) El digestor debe encontrarse cercano a la zona donde se recoge el sustrato de partida y a la zona de consumo.
- b) Debe mantenerse una temperatura constante y cercana a los 35°C. Esto puede encarecer el proceso de obtención en climas fríos.
- c) Es posible que, como subproducto, se obtenga SH₂, el cual es tóxico y corrosivo, dependiendo del sustrato de partida y de la presencia o no de bacterias sulfatorreductoras. La presencia de SH₂ hace que se genere menos CH₄,

¹⁴ Lucena Bonny, Antonio. *Energías alternativas y tradicionales: sus problemas ambientales*. España, 1998.

¹⁵ Manilla Pérez, Efraín. *Diseño de un biorreactor para la producción de biogás a partir de desechos agrícolas*. México, 2000.



disminuyendo la capacidad calorífica del biogás y encarece el proceso por la necesidad de depurarlo.

d) Necesita acumular los desechos orgánicos cerca del biodigestor.

e) Riesgo de explosión, en caso de no cumplirse las normas de seguridad para gases combustibles

2.5. Planificación de un biodigestor.

Los siguientes son los aspectos a tener en cuenta en el diseño, planificación y construcción de un biodigestor:

A continuación se describirá el proceso de construcción de un biodigestor de domo fijo ya que se considera que es el más seguro y el más fácil de construir. Será circular considerando que las características de este nos permiten un mejor aprovechamiento de la biomasa al no quedarse esta estancada en ninguna esquina. Además de contar con loza y no con cúpula debido que requiere de una detallada elaboración.

2.5.1. Factores humanos

a) Idiosincrasia

b) Necesidad, la cual puede ser sanitaria, energía y de fertilizantes.

c) Recursos disponibles de tipo económicos, materiales de construcción, mano de obra, utilización del producto, área disponible.



d) Disponibilidad de materia prima, si se cuentan con desechos agrícolas, desechos pecuarios, desechos domésticos, desechos urbanos, desechos industriales.

2.5.2. Factores biológicos

a) Enfermedades y plagas tanto humanas como pecuarias y agrícolas

2.5.3. Factores físicos

a) Localización, la ubicación si es en zona urbana, rural o semi-urbana y la geografía aspectos como la latitud, longitud y altitud.

b) Climáticos dentro de estos aspectos están las temperaturas máximas y mínimas, la precipitación pluvial, la humedad ambiental, la intensidad solar, los vientos su intensidad y dirección.

c) Vías de acceso.

d) Topografía, teniendo en cuenta el declive del suelo: si es plano, ondulado, o quebrado.

e) Suelos con sus características como la textura, estructura, nivel freático y capacidad agrológica.



2.5.4. Factores utilitarios

- a) Función principal, si se construye de manera experimental, demostrativa o productiva.
- b) Usos, si el uso es de tipo sanitario, energético, fertilizante, integral.
- c) Organizativo si el biodigestor se va a construir a escala domestica, para grupo familiar, comunitario o empresas.
- d) Capacidad, si es pequeño de 3 a 12 m³ / digestor; si es mediano de 12 a 45 m³ digestor y si es grande de 45 a 100 m³ / digestor.¹⁶
- e) Operación de la instalación contemplando aspectos como el funcionamiento de el pretratamiento, la mezcla, la carga, y controles de PH, obstrucciones de líquidos, sólidos y gases: las descargas de efluentes tanto liquidas como gaseosas y de lodos; el almacenamiento de los líquidos, sólidos y gases; la aplicación de líquidos por bombeo, por tanques regadores o arrastre por riego; los sólidos que están disueltos en el agua y los sólidos en masa y por ultimo los gases utilizados para la cocción, iluminación e indirectamente en los motores.

Con el objetivo de disminuir el tamaño de los digestores se han utilizado los productos orgánicos que brindan mayor cantidad de biogás por unidad de volumen; algunos de ellos son: la excreta animal, la cachaza de la caña de azúcar, los residuales de

¹⁶ Noyola, R.A. *Apuntes del curso "Diseño de reactores anaeróbicos"*. Instituto de Ingeniería. UNAM, 2001.



mataderos, destilerías y fábricas de levadura, la pulpa y la cáscara del café, así como la materia seca vegetal.¹⁷

2.6. Proceso de construcción

A continuación se describirá el proceso de construcción de un biodigestor de domo flotante. Puede ser circular o rectangular, aunque se recomienda más el de tipo circular considerando que las características de este nos permiten un mejor aprovechamiento de la biomasa al no quedarse esta estancada en ninguna esquina.

2.6.1. Selección del lugar, trazado y excavación

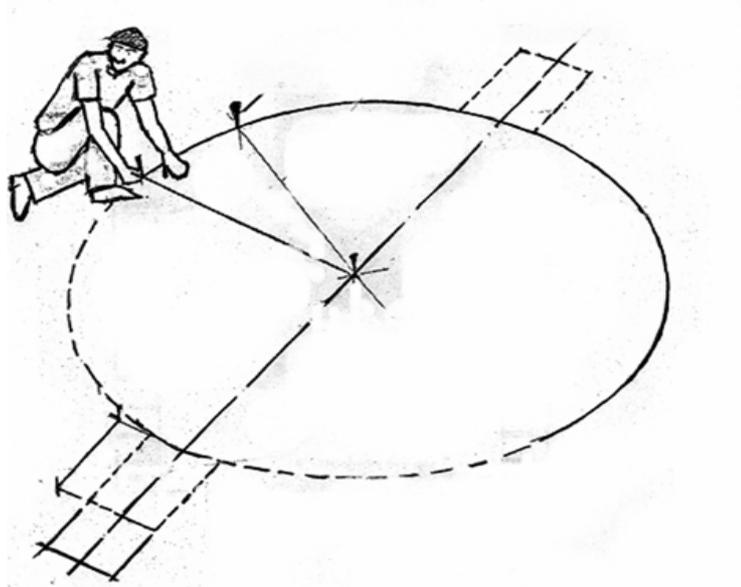
a.- La planta de biogás se instalará cerca del lugar que nos suministrara la materia prima y alejada de mantos acuíferos y tuberías de agua. Además de estar ubicada en un sitio donde reciba el sol durante la mayor parte del día, evitando las zonas con tráfico continuo de personas o animales.

b.- Demarcar el foso para el digestor t para los tanques de carga y de descarga.

c.- Excavar simultáneamente el foso para el digestor y las zanjas para la colocación de los ductos de carga y descarga.

¹⁷ *Biodigestores. Una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes.*

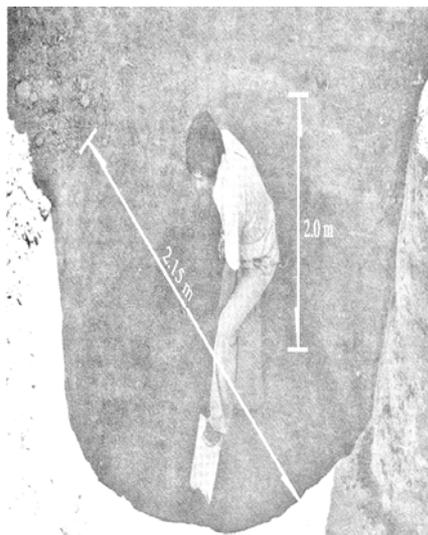
Fig. 2.6.1. (1). Trazado de un biodigestor.



Fuente: *Plantas de biogás: diseño, construcción y operación*. Instituto de Investigaciones Tecnológicas. Bogotá, Colombia, 1972.

Se traza un círculo en la tierra de 2.15 m de diámetro y se cava un hoyo de 2 m de profundidad.

Fig. 2.6.1. (2). Excavación



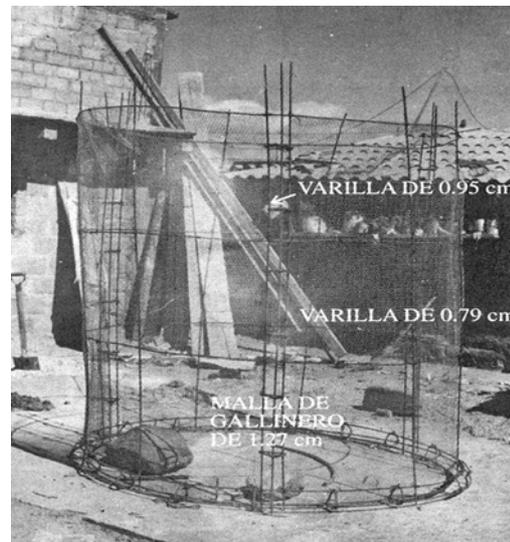
Minero de la Reforma, sig., diciembre 2007

Fuente: *Energías renovables*, de Francisco Jarabo Friedrich, España, 2000.

2.6.2. Construcción del digestor

El piso se construye sobre una base firme y compacta sobre la cual se coloca una parrilla de varilla junto con una cadena armada de la cual nacerán los castillos que soportarán la estructura del digestor, se cuele la loza del piso con una mezcla de cemento y arena. Una vez realizado el paso anterior se comenzará el desplante de las paredes que irán formadas de tabique, pegadas con cemento y llevarán un aplanado fino por una mezcla de cemento y arena.¹⁸

Fig. 2.6.2. (1). Armado de parrilla.

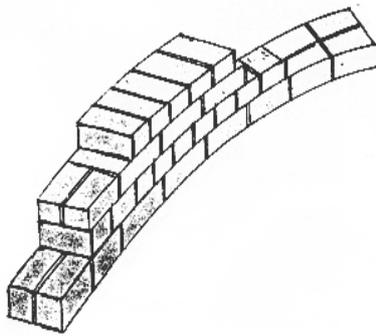


Fuente: *Energías renovables*,
de Francisco Jarabo Friedrich, España, 2000.

Si la tierra es compacta, no será necesario construir el tanque principal del digestor con mampostería o tabique, bastará un cilindro de malla de gallinero, de 1.55 m de diámetro y 2.2 m de altura, con 3 castillos (de donde saldrán los topes para la campana). Se pueden construir afuera y luego colocarse en el hoyo.

18

Fig. 2.6.2. (2). Detalle de construcción de los muros de tabique.

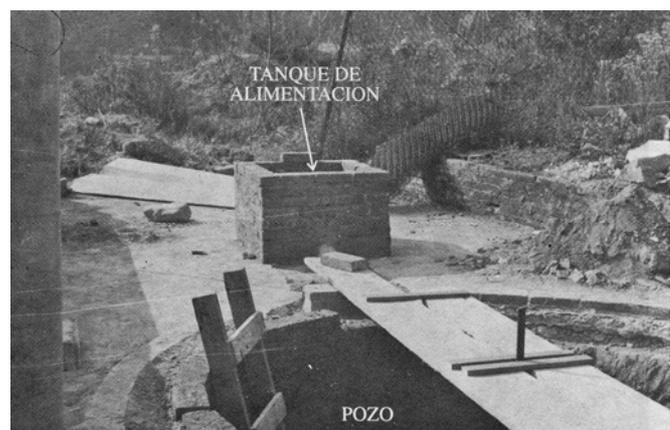


Fuente: *Plantas de biogás: diseño, construcción y operación*. Instituto de Investigaciones Tecnológicas. Bogotá, Colombia, 1972.

2.6.3. Construcción de los tanques de carga y descarga

Los tanques de carga y descarga se construyen de tabique pegados con cemento sobre una base de concreto simple y aplanados con una mezcla de cemento y arena en proporción de 1:3 con .7 lt de agua por kilogramo de cemento y conectados al digester por un tubo de PVC sanitario.

Fig. 2.6.3. (1) Tanques de carga y descarga.



Fuente: *Energías renovables, de* Francisco Jarabo Friedrich, España, 2000.

El tanque de alimentación se construye con tabique sobre una losa encima del suelo. El tanque de descarga debe quedar enterrado.

Fig. 2.6.3. (2). Construcción de la cámara.



Fuente: www.proteger.org.ar/archivos/Biodigestor

Fig. 2.6.3. (3). Construcción de la cámara, revocando las paredes.



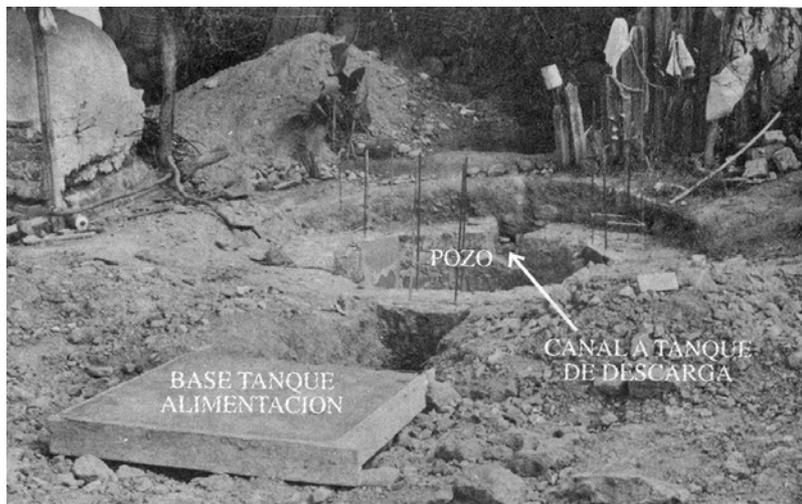
Fuente: www.proteger.org.ar/archivos/Biodigestor

Fig. 2.6.3. (4). Construcción del tanque de alimentación.



Fuente: www.proteger.org.ar/archivos/Biodigestor

Fig. 2.6.3. (5). Construcción de biodigestor.



Fuente: *Energías renovables*,
de Francisco Jarabo Friedrich, España, 2000.

Se excavan 2 zanjas a lados opuestos del tanque principal de 1.2 metros de longitud, donde se colocaran los ductos que comunican los tanques de alimentación y descarga con el tanque principal.

2.6.4. Sellado e impermeabilizado del tanque.

Fig. 2.6.4. (1). Sellado del tanque.



Fuente: *Energías renovables*, de Francisco Jarabo Friedrich, España, 2000.

Una vez aplanado el tanque del digestor se procederá a recubrir con un sellador acrílico e impermeabilizarlo con pintura epóxica.

Fig. 2.6.4. (2). Impermeabilizado del tanque.



Fuente: *Energías renovables*, de Francisco Jarabo Friedrich, España, 2000.

2.6.5. Construcción y colocación de la campana

La campana puede ser realizada de fibra de vidrio y de lámina de acero galvanizado y recubierta con pintura anticorrosiva.

Fig. 2.6.5. (1). Pintado de campana.



Imagen tomada de *Energías renovables*, de Francisco Jarabo Friedrich, España, 2000.



CAPITULO 3. Operación de un biodigestor y usos del biogás.

3.1. Descripción del proceso

3.1.1. Molienda.

Es recomendable moler el estiércol fresco que se va a utilizar para la digestión, ya que al disminuir el tamaño de los sólidos se está aumentando el área de contacto con los microorganismos encargados de iniciar el proceso. En caso de que no se cuente con un equipo para la molienda, esta etapa puede pasar inadvertida. Tomando en cuenta lo anterior, el siguiente paso es vaciar el estiércol en un recipiente adecuado para el acondicionamiento o bien se puede hacer directamente en el digestor.

3.1.2. Acondicionamiento.

Esta etapa es la más importante del proceso para obtener una solución (agua-excreta) que garantice la producción de biogás. Para ello se realizan los pasos siguientes:

- a) Recolección de la excreta se hará manualmente directamente del establo y se almacenará en un tanque mezclador por uno o dos días dependiendo del modo de operación, aunque es recomendable dejarlo 2 días para permitir que todo el aire se elimine durante esta estancia en el tanque.
- b) Adicionar la cantidad necesaria de agua para obtener una concentración aproximada del 8% en peso de sólidos totales.



3.1.3. Carga del digestor.

La carga del digestor se hará por gravedad ya que el estiércol sea adicionado directamente del establo.

3.1.4. Descarga.

El efluente se debe descargar de la manera adecuada para evitar que entre aire en el biodigestor. Los lodos se pueden aplicar como fertilizante y el sobrenadante se puede utilizar como agua de riego. El componente líquido se puede utilizar además para el acondicionamiento de la solución de alimentación y el efluente sólido puede ser tratado para separar las proteínas que contiene las cuales pueden utilizarse como componente alimenticio para el ganado y los sólidos restantes para el acondicionamiento del suelo del cultivo.

3.2. Operación propuesta del sistema de digestión.

La operación del digestor resulta ser muy sencilla, como se muestra a continuación en base al diagrama del sistema de la figura.

- a.- Verificar que las válvulas estén cerradas.
- b.- Abrir la válvula 2 de descarga del biogás con el fin de purgar el equipo.
- c.- Abrir la válvula 1 de alimentación.
- d.- Alimentar al digestor.

e.- Cerrar las válvulas de descarga del biogás y la alimentación, después de haber cargado toda la alimentación.

f.- Purgar diariamente el biogás producido por la válvula de descarga de biogás con el propósito de eliminar la más mínima presencia de aire, así como algo de vapor de agua y de CO₂ que se hayan formado.

g.- Verificar a la salida si hay combustión de biogás.

h.- Cargar al digestor la excreta que se vaya produciendo y retirar aproximadamente la misma cantidad de lodo digerido mediante la válvula 4 para mantener un régimen semicontinuo de operación.

i.- Retirar también el sobrenadante del digestor mediante la válvula 3.

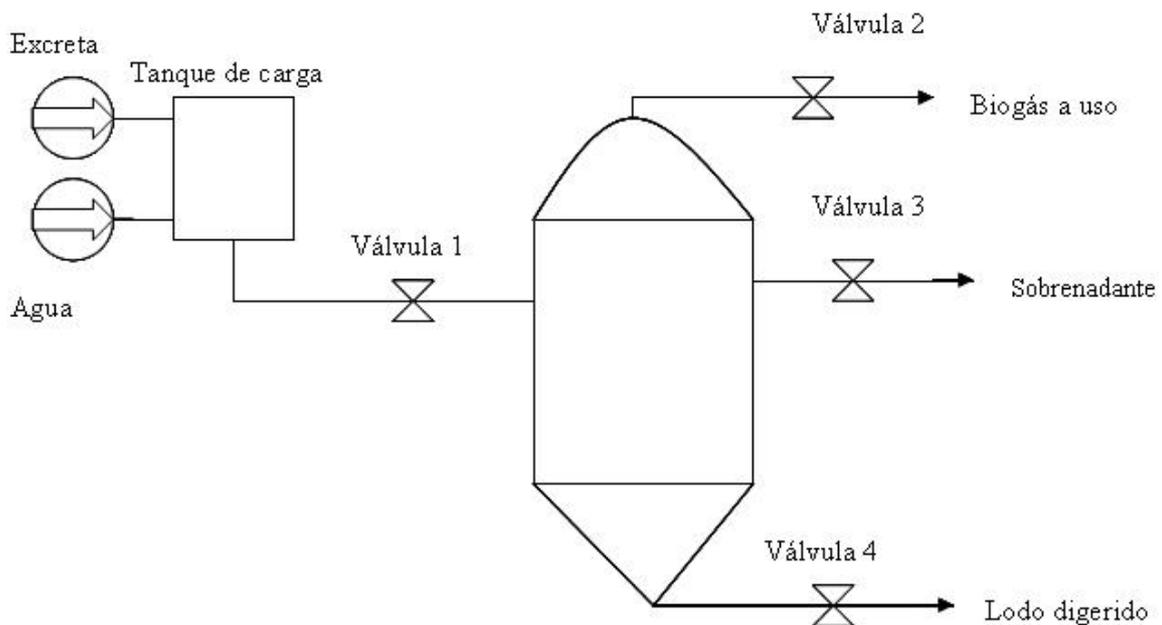


Fig. 3.2. (1). Operación del sistema de digestión. Imagen del autor.



3.3. Modo de operación.

En un principio se alimentará del digestor la excreta recolectada y se iniciará una operación en serie del sistema, pero si la cantidad de excreta aumenta por el aumento de ganado, entonces se pretende operar un sistema en paralelo con dos tanques, cada tanque funcionando por separado.

3.3.1. Producción de gas y composición

La producción de gas funciona como indicador, tanto de la condición de cultivo, como de la eficiencia del desempeño de un digestor. La producción de gas normalmente se expresa en términos de volumen de gas producido por unidad de masa de sólidos totales y sólidos orgánicos introducidos.

El volumen esperado de gas por unidad de materia orgánica es función del tiempo de retención y otras características operacionales, así como de la naturaleza de los desechos.

La velocidad de producción de gas que se usa como parámetro de la digestión de un desperdicio dado es aquella que es característica del cultivo una vez que ha alcanzado el "régimen permanente." La producción de gas es un parámetro particularmente útil, pues es fácil reconocer, además de que da una respuesta inmediata a una condición adversa.

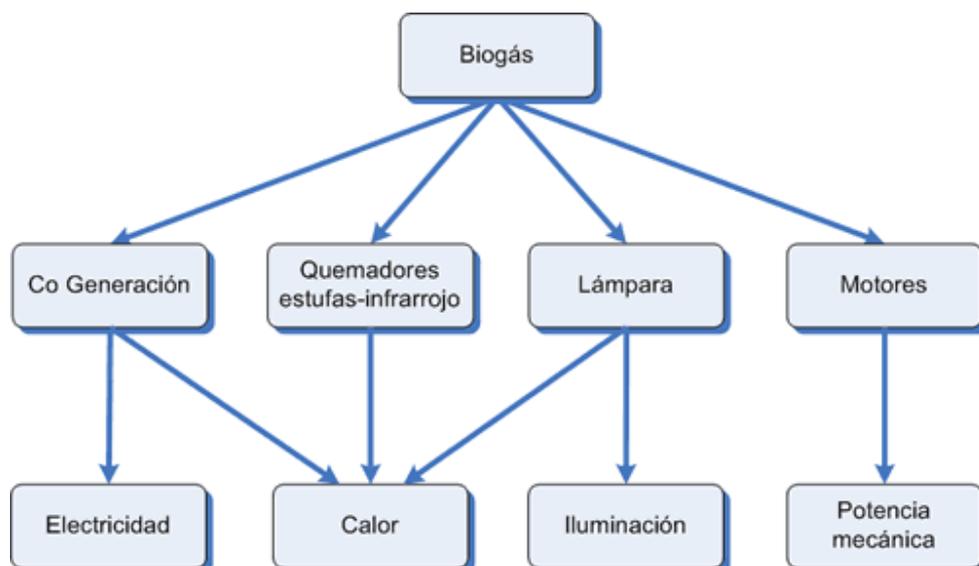
La producción de gas, cuando se usa como parámetro, no se debe interpretar como completamente independiente de la composición de gas. El gas de interés en la

composición es el metano. Generalmente cuando mayor sea la concentración de carbohidratos en los desperdicios, más se acercara a 1:1 la relación metano: bioxido de carbono

3.4. Usos del biogás

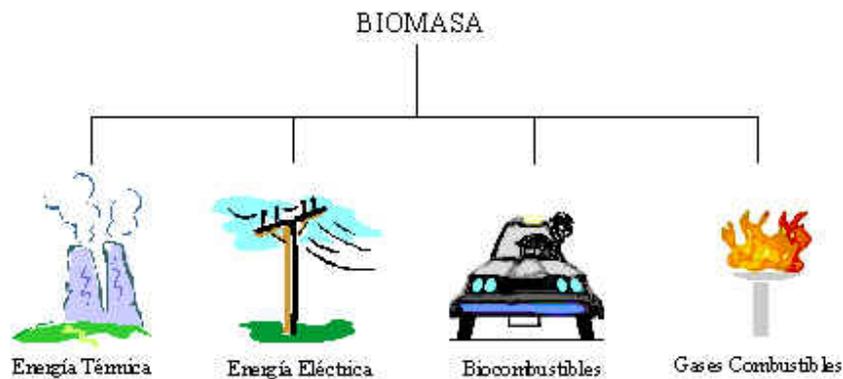
La gran variedad de biomazas existentes unida al desarrollo de distintas tecnologías de transformación de ésta en energía (Combustión directa, Pirólisis, Gasificación, Fermentación, Digestión anaeróbica,...) permiten plantear una gran cantidad de posibles aplicaciones entre las que destacan la producción de energía térmica, electricidad.

Fig. 3.4. (1). Usos del Biogas.



Fuente: www.energianatural.com.ar

Fig. 3.4. (2). Usos del biogas.



Fuente: www.textoscientificos.com/energia/biogas/ usos

3.4.1. Producción de Energía Térmica

Aprovechamiento convencional de la biomasa natural y residual. Los sistemas de combustión directa son aplicados para generar calor, el cual puede ser utilizado directamente, como por ejemplo, para la cocción de alimentos.

3.4.2. Producción de Energía Eléctrica

Obtenida minoritariamente a partir de biomasa residual (restos de cosecha y poda) y principalmente a partir de cultivos energéticos leñosos, de crecimiento rápido (Chopo, Sauce, Eucalipto, Robinia, Coníferas, Acacia, Plátano,...) y herbáceos (Cardo lleno, Miscanto, Caña de Provenza, Euforbias, Chumberas,...). También se utiliza el biogás



resultante de la fermentación de ciertos residuos (lodos de depuradora, Residuos Sólidos Urbanos...) para generar electricidad.

El rendimiento neto de la generación de electricidad en las plantas de biomasa es bajo, del orden del 20% referido a su poder calorífico inferior.⁸ Ello se debe fundamentalmente al pequeño tamaño de la planta de producción. La caldera tiene un rendimiento moderado al quemar un combustible de alto contenido en humedad, y su consumo en servicios auxiliares es alto, por encima del 8% de la producción total de electricidad en salida de alternador.

Una posibilidad de incrementar el rendimiento energético en el uso de la biomasa es la cogeneración de calor y electricidad. La condensación del vapor supone una evacuación de calor cercano a la mitad de la energía contenida en la biomasa; la recuperación de parte de ese calor de condensación en forma de vapor de baja temperatura o agua caliente, para usos industriales o domésticos, supone un aumento de la eficiencia energética. Para ello se puede disponer de una turbina de contrapresión o bien hacer una extracción de vapor con volumen significativo en la zona de baja presión de la turbina. Se instalan los intercambiadores de calor adecuados y se pueden obtener rendimientos globales de entre un 40 y un 60%.

La gasificación es una alternativa con mejores rendimientos que la combustión en calderas. El empleo de motores diesel o de turbinas de gas para quemar el gas producido puede elevar el rendimiento a valores por encima del 30%, sin embargo ésta es una opción poco extendida.⁸



3.4.3. Producción de Biocombustibles.

Existe la posibilidad, ya legislada, de alimentar los motores de gasolina con bioalcoholes (obtenidos a partir de Remolacha, Maíz, Sorgo dulce, Caña de azúcar, Patata, Pataca) y los motores diesel con bioaceites (obtenidos a partir de Colza, Girasol, Soja).

3.4.4. Producción de gases combustibles

Es una aplicación poco utilizada actualmente que consiste en la descomposición de la biomasa en un digestor para obtener un gas, cuyo compuesto combustible es básicamente metano, pero también contienen nitrógeno, vapor de agua y compuestos orgánicos. El proceso es adecuado para tratar biomasa de elevado contenido en humedad y poco interesante en otras aplicaciones, bien por su calidad o por la poca cantidad disponible.

El gas obtenido es de bajo poder calorífico, pero útil en aplicaciones térmicas en el propio entorno ganadero o agrícola, suministrando luz y calor. En el caso de instalaciones de mayor tamaño, se puede llegar a colocar motores diesel de hasta varios cientos de kilovatios de potencia para la generación de electricidad; existen ya ejemplos industriales de ello. La producción de gas se puede controlar adecuándola a la demanda; incluso puede hacerse que durante varias horas el digestor se mantenga



embotellado, sin producir gas, durante los períodos en los que no exista consumo energético.

Otra posibilidad para la producción de gas es el empleo de un **gasificador**, que inyecta aire u oxígeno y vapor de agua. Opera a elevada temperatura, entre 800 y 1200° C, con lo cual la cinética de las reacciones es más alta. El gas contiene CO, H₂, pequeñas concentraciones de metano, nitrógeno y vapor de agua.⁸ Tiene un poder calorífico medio. Existen varias alternativas de gasificación; el lecho fijo sirve para tratar pequeñas cantidades de biomasa, mientras que los de lecho fluido tratan mayores cantidades, siendo éstos utilizados para la generación de electricidad.

Al problema operativo de la gasificación, se une el de la producción de alquitranes y otros compuestos orgánicos pesados. Esto hace posible la combustión del gas en equipos industriales, calderas y hornos o en motores diesel para generación eléctrica, pero dificulta la extensión a turbinas de gas en sistemas eléctricos de alta eficiencia. La alternativa es purificar el gas, pero es caro.

3.5. Producción de abono orgánico

En el proceso de la digestión anaeróbica y la producción del biogás deja como residuo un lodo compuesto por el material no atacado por las bacterias y por material no atacado por éstas. Este lodo, conocido, conocido también como el efluente, constituye un fertilizante orgánico de muy buena calidad.



Como el proceso solo remueve los gases generados en el lodo deben conservarse los nutrientes originales contenidos en la materia prima. Estos quedan en forma más concentrada, y pueden ser absorbidos más fácilmente, mejorando las características fertilizantes del material.

La aplicación del afluente al suelo le trae beneficios similares a los que se alcanzan con cualquier materia orgánica. Es decir, que actúa como mejorador de las características físicas, facilitando la aireación, aumentando la capacidad de retención de humedad, la infiltración de agua y la capacidad de intercambio catiónico.

Se ha encontrado, por ejemplo, que la aplicación del efluente de biodigestores que operan con estiércol de res, en ensayos comparativos con uso directo del estiércol, ha mejorado los rendimientos agrícolas del maíz, en un 28%. Ello se debe en parte a la mayor facilidad de absorción de los nutrientes, y a la mayor riqueza del afluente: Contiene 1.5% de nitrógeno contra 0.75% del estiércol, y 0.7% de K_2O contra 0.4% de la materia prima. Esta situación hace que el afluente sea más efectivo que muchos de los abonos orgánicos químicos utilizados normalmente.¹⁹

¹⁹ Manilla Pérez Efraín. *Diseño de un biorreactor para la producción de biogás a partir de desechos agrícolas*. México, 2000.



3.5.1. Sustancias orgánicas en los fertilizantes

Así como hay sustitutos inorgánicos para los nutrientes nitrógeno, potasio y fósforo de un fertilizante orgánico, no existe sustituto artificial para otras sustancias como proteína, celulosa, lignina, etc. Todas ellas contribuyen a incrementar la permeabilidad e higroscopia, mientras previenen la erosión y mejoran las condiciones generales de la agricultura. Las sustancias orgánicas además constituyen la base para el desarrollo de los microorganismos responsables de convertir los nutrientes del suelo en una forma que pueda fácilmente ser incorporada por las plantas.

3.5.2. Nutrientes y Organismos del Suelo

Debido a la descomposición y agotamiento de parte de su contenido orgánico, los lodos digeridos proporcionan nutrientes de acción rápida que fácilmente entran en la solución del suelo, quedando inmediatamente disponibles para las plantas. Simultáneamente sirven como nutrientes primarios para el desarrollo de los organismos del suelo, como la sustitución de los microorganismos perdidos a través de la exposición al aire durante el esparcimiento del lodo sobre los campos.



3.5.3. *Reducción de la Erosión del Suelo.*

La materia húmica y los ácidos húmicos presentes en los lodos contribuyen a una humificación más rápida que a su vez ayuda a reducir la velocidad de erosión (debido a lluvia o dispersión en seco), incrementando el suministro de nutriente, la higroscopía, etc. El contenido de humus es especialmente importante en los suelos tropicales con bajo contenido de humus. La cantidad de humus estable formada con lodos digeridos es el doble de la que se puede lograr con estiércol. Además se ha demostrado que la actividad de los gusanos de tierra se estimula más al fertilizar con lodos que fertilizando con estiércol de establo.

3.5.4. *Reducción del deslave de Nitrógeno*

Al ser comparado con fertilizantes con alto contenido de nitratos y nitritos más solubles en agua (estiércol, composta), el elevado contenido de amonio del lodo digerido ayuda a reducir la velocidad con la que se deslava el nitrógeno.

3.5.5. *Efectos sobre los cultivos.*

Se sabe que generalmente la producción de los cultivos es más alta después de una fertilización con lodos digeridos la mayoría de los cultivos como papa, rábano, zanahoria, col, cebolla, ajo, etc. y muchos tipos de frutas (naranja, manzana, guayaba,



mango, etc.), caña de azúcar, arroz, parecen reaccionar favorablemente a la fertilización con lodos.

En contraste los cultivos como trigo, oleaginosas, algodón y tabaco reaccionan menos favorablemente. Los lodos son un buen fertilizante para pasturas y prados. Los datos disponibles tienen grandes variaciones, pues el efecto fertilizante no solo es específico de cada planta, sino también depende del clima y tipo de suelo. Por lo tanto, no se puede ofrecer información definitiva, tampoco, por la misma razón, es posible ofrecer una comparación económica del costo de los fertilizantes químicos contra el de los lodos del biogás.

El único hecho indiscutible es que los de biogás son mejores desde el punto de vista ecológico.



CONCLUSIONES:

El biogás resulta un combustible barato y útil sobre todo en comunidades alejadas de los de los grandes centros urbanos.

El uso de la biomasa aporta beneficios que no son solo energéticos, su transformación se convierte en beneficiosa y necesaria para el entorno. Es un sistema idóneo de eliminación de residuos, con la subsiguiente mejora del ambiente rural, urbano e industrial. Puede ser además, un modo de equilibrar determinados excedentes agrícolas. En el sector rural, la principal forma de contaminación es el estiércol, que genera malos olores y polución con nitratos al agua de consumo. La opción del uso del estiércol permite responder a una demanda de la sociedad, las actividades agrícola-ganaderas deben ser más respetuosas del medio ambiente, y en particular deben promover la reducción de posibles fuentes de contaminación.

La eficiencia de esta tecnología en la resolución de problemas en materia del medio ambiente, especialmente su funcionalidad en este caso, será el medio de difusión más eficaz, para que en el corto o mediano plazo, se generalice la implantación de esta sencilla tecnología.

El sector energético nacional ha sido y seguirá siendo pilar de nuestro desarrollo presente y futuro. Su expansión constante y modernización en algunas de sus partes,



han permitido generar una oferta sólida y diversificada de energéticos, que además aporta importantes recursos públicos para la satisfacción de apremiantes necesidades sociales y de infraestructura.

Es evidente que la inversión que se tendrá que realizar para arrancar como una posibilidad real la tecnología del biogás en México, es grande, sin embargo los beneficios también son muy grandes e importantes, por lo tanto, se justifica.

Es importante aprovechar el conocimiento de las experiencias que han tenido otros países en este sentido, para no cometer los mismos errores y, sobre todo, para consolidar a la tecnología del biogás como un importante sector para la sociedad.

RECOMENDACIONES.

Los materiales de construcción que se proponen son el ladrillo y recubierta de cemento, materiales fáciles de conseguir.

La operación de los equipos como se plantea, es fácil una vez que se conoce el sistema, por lo tanto sólo se necesita de una pequeña capacitación a la gente que vaya a operar estos equipos en las zonas destinadas para ello.



GLOSARIO

Alquitranes Materiales orgánicos que pueden encontrarse en la naturaleza u obtenerse de la destilación del carbón o del refinado del petróleo. Los alquitranes tienen aplicaciones industriales. En su composición existen sustancias tóxicas, incluidos carcinógenos.

Bacteria Microorganismos compuestos generalmente de proteínas y ácidos nucleicos. Tienen funciones beneficiosas muy importantes, algunas de las cuales son la fabricación de etanol, antibióticos por fermentación, fijación del nitrógeno al suelo, tratamiento de aguas residuales por procesos de lodos activados, etc. Pero también son causa de numerosas fermentaciones, putrefacción y producen graves enfermedades.

Biogás El biogás, es un gas que se genera artificialmente, en dispositivos específicos, mediante la acción de unos seres vivos (bacterias metanogénicas), en ausencia de aire, (esto es un ambiente anaeróbico). Cuando materia orgánica se descompone en ausencia de aire, actúa este tipo de bacterias, generando biogás.

Biocombustible: es el término con el cual se denomina a cualquier tipo de combustible que derive de la biomasa – organismos recientemente vivos o sus desechos metabólicos, tales como el estiércol de la vaca. Es una fuente renovable de energía, a diferencia de otros recursos naturales como el petróleo, carbón y los combustibles nucleares.



Biodegradable Sustancia que puede ser descompuesta con cierta rapidez por organismos vivos, los más importantes de los cuales son bacterias aerobias. Sustancia que se descompone o desintegra con relativa rapidez en compuestos simples por alguna forma de vida como: bacterias, hongos, gusanos e insectos. Lo contrario corresponde a sustancias no degradables, como plásticos, latas, vidrios que no se descomponen o desintegran, o lo hacen muy lentamente.

Biogásificación fermentación de metano, producción de metano o digestión anaeróbica

Biomasa Conjunto de la materia biológicamente renovable (madera, celulosa, lignina, almidón y quitina); por extensión, la energía que proviene de la fermentación o la combustión de la masa orgánica. En la combustión se usa leña y carbón. En la fermentación, un buen ejemplo son los biodigestores del bagazo de caña de azúcar, donde se produce un gas que se utiliza para la producción de energía eléctrica.

Biosíntesis Formación de compuestos orgánicos realizado por los organismos vivos a partir de compuestos sencillos.

Combustible Un combustible es cualquier sustancia que reacciona con el oxígeno de forma violenta, con producción de calor, llamas y gases. Supone la liberación de una energía de su forma potencial a una forma utilizable (por ser una reacción química, se conoce como energía química). En general se trata de algo susceptible de quemarse, pero hay excepciones que se explican a continuación.



Combustión Reacción química en la que un material (combustible) se combina con el oxígeno, con una consecuente emisión de energía en forma de calor y formación de subproductos.

Degradabilidad Capacidad de descomposición química o biológica de los compuestos orgánicos por acción del metabolismo de microorganismos.

Etanol El compuesto químico etanol es un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78 °C. Se mezcla con agua en cualquier proporción y da una mezcla azeotrópica con un contenido de aprox. el 96 % de etanol.

Fertilizantes son productos químicos naturales o industrializados que se administran a las plantas con la intención de optimizar su crecimiento y desarrollo de su perfil ó potencial genético; se aplican generalmente al suelo para que se diluyan en la solución y puedan ser ingresados al sistema vegetal vía raíces; pero también pueden aplicarse de forma líquida vía foliar para ser absorbidos a través de los estomas.

Aportan los tres principales nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas en diversas proporciones (nitrógeno, fósforo y potasio), nutrientes secundarios (calcio, azufre y magnesio) y, a veces micro nutrientes, de importancia también para la alimentación de la planta (boro, manganeso, hierro, cinc, cobre y molibdeno).



Gasificación La gasificación es un proceso térmico que permite la conversión de un combustible sólido, tal como la biomasa en un combustible gaseoso, mediante un proceso de oxidación parcial.

Gasógenos Son las instalaciones en la que se realizan la pirólisis y la gasificación de la biomasa.

Hidrocarburos Compuestos orgánicos formados por carbono e hidrógeno. Los átomos de C pueden formar largas cadenas. Así, por ejemplo, el hidrocarburo más sencillo es el CH₄ (metano). La gasolina C₈H₁₈ está formada principalmente por diferentes isómeros del octano.

Hidrólisis La hidrólisis o hidrolisis es una reacción en la que se rompe un enlace covalente entre dos subunidades por medio de la adición del equivalente a una molécula de agua; se agrega un átomo de hidrógeno a una subunidad y un grupo hidroxilo a la otra.

Metano Es el hidrocarburo más simple, producto de la descomposición anaeróbica. Componente, entre otros, del gas natural y del biogas. Es junto con el dióxido de carbono y los óxidos de nitrógeno el principal causante del efecto invernadero. Fórmula CH₄



Metanol El compuesto químico metanol (también conocido como alcohol metílico o alcohol de madera) es el alcohol más sencillo, y es un líquido ligero, volátil, incoloro, inflamable y tóxico que se emplea como anticongelante, disolvente y combustible.

Pirólisis La pirólisis se puede definir como la descomposición térmica de un material en ausencia de oxígeno o cualquier otro reactante. Esta descomposición se produce a través de una serie compleja de reacciones químicas y de procesos de transferencia de materia y calor. La pirólisis también aparece como paso previo a la gasificación y la combustión.

Polifenoles Antioxidantes naturales presentes en el aceite de oliva que lo preservan de alteraciones oxidativas, incrementando su estabilidad.

Reservorio cavidad que sirve como almacén

Simbiosis Dos organismos que no pueden vivir uno sin el otro, se hacen organismos dependientes. Esta simbiosis hace que cada uno no pueda desarrollarse de manera autónoma. Está usado en el sentido peyorativo. Dependen uno del otro, no es por naturaleza, sino por la incapacidad de asumirse solo.

Sustrato El sustrato es la parte del biotopo donde determinados seres vivos realizan sus funciones vitales (nutrición, reproducción, relación).

Bibliografía

Biodigestores. Una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes, México tercer milenio, 1998.

Calvillo Unna Jorge, La casa Ecológica, México tercer milenio 1999.

Manilla Pérez, Efraín. Diseño de un biorreactor para la producción de biogás a partir de desechos agrícolas. México, 2000.

Energías renovables, de Francisco Jarabo Friedrich, España, 2000.

López Villanueva, Berenice. Proyecto para la construcción de una planta de biogás a partir de desechos orgánicos en el Distrito Federal. México, 2001.

Lucena Bonny, Antonio. Energías alternativas y tradicionales: sus problemas ambientales. España, 1998.

Noyola, R.A. Apuntes del curso "Diseño de reactores anaeróbicos". Instituto de Ingeniería. UNAM, 2001.

Plantas de biogás. Diseño, construcción y operación. Instituto de Investigaciones Tecnológicas. Bogotá, Colombia, 1972.

Cibergrafía

<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia22/HTML/articulo04.htm>

<http://www.conae.gob.mx>

<http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/BANCOMUNDIAL/EXTSPPAISES/LA CINSPANISHEXT/MEXICOINSPANISHEXT/0,,contentMDK:20899871~pagePK:141137~piPK:141127~theSitePK:500870,00.html>

<http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/BANCOMUNDIAL/EXTSPPAISES/LA CINSPANISHEXT/MEXICOINSPANISHEXT/0,,contentMDK:html>

<http://www2.udec.cl/jhuenuma/galeon/ingenieros.htm>

<http://www.energianatural.com.ar/biogas02.html>

<http://www.proteger.org.ar/archivos/Biodigestor>

<http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/usos>