

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE INGENIERIA



**BIOGAS**

Por:

**DAVID MEJIA AGUILERA**

MONOGRAFÍA

Presentada como Requisito Parcial para

obtener el Título de:

**INGENIERO MECANICO AGRICOLA**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Junio de 2005

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO MECANICA

**BIOGAS**

Por:

**DAVID MEJIA AGUILERA**

MONOGRAFIA

QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO  
REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO AGRICOLA

APROBADA

EL PRESIDENTE DEL JURADO

---

Ing. Juan Arredondo Valdez

---

Dr. Juan Carlos Zúñiga Enríquez  
Sinodal

---

M.C. Enrique Esquivel Gutiérrez  
Sinodal

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERIA

---

Dr. Salvador Muños Castro

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Junio de 2005

## DEDICATORIAS

### *A Dios*

*Por darme la dicha de darme la vida y de estar siempre conmigo, para permitirme terminar mis estudios profesionales.*

### *A mis Padres*

*M.V.Z. Aniceto Mejía Arteaga y Ana Luisa Aguilera Rodríguez  
Por el amor y la confianza que me brindaron. A ustedes que con Mucho sacrificio, me brindaron su apoyo incondicional en todos los Momentos mas difíciles de mi vida y gracias a ello hicieron posible que Concluyera con éxito esto maravillosa carrera. Papas no me queda mas que Agradecerles todo esto con la culminación de este trabajo, que es de ustedes.*

### *A mi esposa e hija*

*Gabriela Villa Martínez y Luisa Fernanda Mejía Villa  
por ser mi motor principal para llegar a feliz termino en este trabajo gracias a las dos por ser la luz del alma mía, por estar siempre conmigo en los tiempos mas difíciles desde el inicio hasta el final de este trabajo. De verdad muchas gracias las quiero con todo mi corazón y son mi razón de ser  
Con todo mi amor y eterno agradecimiento para las dos POSHLLLO Y MI  
CHICHARO.*

*A mi Hermano*

*Arturo Mejía Aguilera, por el su cariño de hermano,  
Apoyo incondicional y afecto sincero que me has brindado,  
quien siempre ha estado a mi lado en todos esos momentos importantes  
de mi vida le dedico uno mas de nuestros triunfos, Gracias PANZON*

*A mis Padrinos*

*Lic. Daniel Aguilera Rodríguez y Ma. De Los Ángeles Vera  
Por el apoyo que siempre brindaron hacia mi persona y familia  
A ti padrino por ser uno de mis ejemplos a seguir en todos esto años  
Con todo cariño y sinceridad muchas gracias.*

*A las Fams. Aguilera Rodríguez y  
Mejía Arteaga.*

*A todos mis Tios, Tias y Primos que integran estas familias  
Les doy las gracias por que de una manera u otra siempre me  
Apoyaron hasta el final de mi carrera. A mi Abuela Imelda  
Por ser el pilar de la Fam. y mantenernos unidos. Gracias abue.  
A mi Abuelo Chon por todo mi respeto y admiración e inculcarme  
Siempre el trabajo digno respetuoso y del campo Gracias Abuelo.*

## *AGRADECIMIENTOS*

*A todos mis profesores*

*Que sin su ayuda, dedicación y consejos no habría logrado culminar mis estudios y a todas aquellas personas que de alguna manera u otra intervinieron en mi formación académica. En especial a los Ings. Del Depto de Maquinaria Agrícola y Producción Animal.*

*Al Dr. Juan Carlos Zúñiga*

*Por aceptarme en la investigación de este proyecto, como a sus aportaciones para la realización del mismo, con admiración y respeto muchas gracias.*

*Al M.C. Enrique Esquivel*

*Por el apoyo y confianza para la realización de este trabajo y su amistad incondicional dentro y fuera de esta universidad por esto y mas muchas gracias Inge.*

*Al Ing. Juan Arredondo Valdez.*

*Por el tiempo prestado, apoyo, paciencia, conocimientos y consejos que aportaron para mejorar el presente trabajo, además de la enseñanza y experiencias que en su momento compartieron conmigo ¡Muchas Gracias!*

*Al M.C. Héctor Uriel Serna Fernández.*

*Por su apoyo e interés en que saliera adelante, por brindarme su amistad antes de ser mi profesor, por su confianza, dedicación, tiempo y paciencia en el transcurso de mi carrera, ¡Gracias Ing. Le Agradezco!!*

*A MI ALMA MATER*

*A la universidad Autonoma Agraria Antonio Narro,  
Que me vio llegar con ilusiones, y me permitio ser parte de ella, me  
Brindo la oportunidad de aprender y que ahora me ve salir como un  
Profesionista orgulloso de ser parte de esta Alma Terra Mater!!!*

*A la Fam. Orozco Vargas.*

*Por su apoyo, confianza y amistad incondicional que me  
han brindado durante mi estancia en esta ciudad de todo corazón  
Muchas gracias por todo lo brindado,  
Don Max, Doña Herminia, Gaby, Edgar, Araceli, y Marianita.*

*A Mis Amigos*

*A todos los amigos que Dios me dio la Fortuna de conocer,  
por los momentos de alegría y tristeza que serán difícil olvidar y muy grato  
recordar, por los grandes momentos que juntos vivimos, a mis hermanos de  
Celaya y a los Amigos y amigas de Saltillo ¡Gracias a Todos!*

# ÍNDICE

	Página
DEDICATORIAS.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
INTRODUCCION.....	1
OBJETIVO.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Producción y consumo energético a nivel mundial.....	3
El aumento de la temperatura planetaria por el efecto invernadero.....	4
La reducción progresiva de la capa de ozono.....	4
La contaminación del agua.....	5
La desertización.....	6
Energías renovables.....	8
La Energía Mini hidráulica.....	10
La Energía Eólica.....	12
La Biomasa.....	13
La Energía Fotovoltaica.....	15
La Energía Geotérmica.....	15
La Energía de las Olas y de las Mareas.....	16
Biogás.....	17

Origen del biogás.....	19
Biogás a nivel mundial.....	21
Biogás en México.....	25
Composición y propiedades del biogas.....	27
Fermentación anaerobia.....	28
Primera etapa.....	29
Segunda etapa.....	29
Tercera etapa.....	30
Temperatura.....	33
El criofílico.....	33
El mesofílico.....	33
El termofílico.....	34
Tiempo.....	34
Agitación.....	35
Presión.....	35
Biodigestor.....	36
Procesos de fermentación.....	37
Lagunas de oxidación.....	37
Rellenos sanitarios.....	38
Pozos sépticos.....	39
Tipos de biodigestores.....	40
Digestores convencionales.....	41
Sistema Hindú o kvick.....	41

Sistema Chino o szchawn.....	44
Digestores tipo bolsa.....	46
Digestores de Alta Velocidad o Flujo Inducido.....	48
Digestores de Segunda y Tercera Generación.....	49
Rumen.....	53
Anatomía y Fisiología de los Pre estómagos.....	53
Rumen y biogás.....	55
Metanogènesis.....	56
Producción de estiércol en Mexico.....	57
BIBLIOGRAFIA.....	59

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro No. 1 Consumo Energético Mundial en Millones de Toneladas Equivalentes de Petróleo (TEP).....	16
Cuadro No. 2 Consumo de energía primaria mundial en 1988.....	17
Cuadro No. 3 Relación Reservas/Producción y Años de Disponibilidad.....	18
Cuadro No. 4 valores promedio del poder calorífico de diferentes combustibles y su equivalente referido al biogás.....	38
Cuadro No. 5 Características del material de fermentación.....	41
Cuadro No. 6 Producción de estiércol por día y por especie.....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura No. 1 ilustración de una central minihidraulica antigua.....	21
Figura No. 2 Color de las diferentes temperaturas de corrientes de aire.....	23
Figura No. 3 Diagrama de la definición de biomasa.....	24
Figura No. 4 Erupción Volcánica tipo de energía geotérmica.....	25
Figura No. 5 Olas ocasionadas por la atracción de la luna sobre la tierra.....	26
Figura. No. 6 Flama de biogás.....	28
Figura. No. 7 Diferentes logotipos sobre biogás.....	33
Figura No. 8 Digestor tipo hindú.....	52
Figura No. 9 Ejemplo de digestor hindú.....	53
Figura No. 10 Esquema de un digestor tipo chino.....	55
Figura No. 11. Esquema del digestor de polietileno tipo saco.....	57
Figura No. 12 Relación anatómica de los preestomagos.....	64

## INTRODUCCIÓN

Campos Avella, J.C. (1999), citado por Capraispán (2001) menciona que hoy en día, el 90 % de 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.

Esta misma fuente establece que como es conocido en los últimos años, las fuentes alternativas de energía han ido adquiriendo una importancia cada vez mayor en México, lo cual, básicamente por razones energéticas y ambientales, también es una tendencia mundial. El déficit de energía que sufre el mundo actual y en particular en países con alto índice de pobreza, tienen una situación cada vez menos favorable. Las fuentes tradicionales de energía (combustibles fósiles, electricidad, etc.) no parecen ser solución sino a muy largo plazo. Si trasladamos este déficit a las zonas rurales, el problema se agrava aún más, ya que la carencia de la energía obligará a los campesinos a satisfacer esta necesidad, utilizando a gran escala la leña y desperdicios agrícolas (estiércol y residuos de cosecha).

Este problema plantea la necesidad de encontrar una tecnología apropiada, utilizando recursos locales disponibles como son los residuos orgánicos (heces humanas, estiércoles y plantas), los cuales pueden ser usados como simple medio para producir energía y biofertilizantes por medio de plantas de biogás. De esta

manera se mejorará la vida de los campesinos, se incrementará la producción agrícola y se preservará el medio ambiente.

## **OBJETIVO**

Elaborar un documento que sirva como apoyo a estudiantes y profesionistas para informar sobre fuentes de energía alternativa y su generación, haciendo énfasis en el uso del biogas

## **REVISIÓN DE LITERATURA**

El problema de las fuentes de energía se viene estudiando desde hace mucho tiempo y tiene cada vez más vigencia. Si bien las reservas de combustibles fósiles son grandes, la creciente población y el crecimiento de la industria demandan cada vez más cantidad de energía. En el futuro cercano seguramente seguiremos dependiendo de los combustibles fósiles o nucleares por un largo tiempo, pero es necesario ir desarrollando tecnologías alternativas, no solo porque a la larga reemplazarán a los recursos no renovables, sino por su utilidad inmediata, por ejemplo en lugares alejados donde no es económico la generación de energía con fuentes convencionales. En lugares desérticos o alejados de centros poblados, la energía solar, eólica y otras fuentes alternativas tienen aplicabilidad inmediata, y allí es donde se prueban y perfeccionan las tecnologías que quizá en el futuro se conviertan en algo más que fuentes alternativas.

### **Producción y consumo energético a nivel mundial**

Según Cuadros y Menacho (1994) afirman que en todo el mundo, muchos de los recursos básicos de los que dependerán las futuras generaciones para su supervivencia y bienestar se están agotando, y se intensifica la degradación del medio ambiente, impulsada por modalidades insostenibles de consumo, un crecimiento de la población sin precedentes, la persistencia y difusión de la pobreza, y las desigualdades sociales y económicas.

Los mismos autores nos presentan una serie de problemas ecológicos que constituyen una especie de "síndrome" de una crisis global del ecosistema planetario. Los principales tópicos podrían ser:

**1. El aumento de la temperatura planetaria por el efecto invernadero.** El efecto invernadero es producido por unos gases determinados, presentes en la atmósfera, capaces de almacenar la radiación de onda larga, es decir, calor. El incremento de la concentración de estos gases en la atmósfera implica un aumento de la temperatura en la superficie del planeta. No se trata de un efecto producido exclusivamente por la actividad humana, ni siquiera por la actividad de los seres vivos. Siempre ha habido gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre. De hecho, sin el efecto invernadero, la temperatura en la superficie de la tierra sería de unos  $-18^{\circ}\text{C}$  promedio, lo que haría imposibilitado la vida.

Los principales gases del efecto invernadero son vapor de agua, anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ), ozono, óxidos de nitrógeno, metano ( $\text{CH}_4$ ) y clorofluorcarbonatos (CFC's), el último es el único tipo de gas totalmente producido por el hombre.

**2. La reducción progresiva de la capa de ozono.** Hemos oído hablar a menudo de esta reducción. Se trata de una disminución periódica de la concentración de gas ozono sobre la Antártida. Como es sabido, el ozono sigue un ciclo de reacciones químicas en virtud de las cuales se desintegra formando oxígeno y vuelve a sintetizarse a partir del oxígeno. De esta manera, establece un

equilibrio dinámico que mantiene una concentración estable en la estratosfera. Este ciclo químico del ozono consume energía, que procede de la absorción de los rayos ultravioletas de alta y mediana energía. Como consecuencia de esto, los rayos, absorbidos en la estratosfera para mantener el ciclo del ozono, no llegan a la superficie de la tierra. De esto resulta que la capa de ozono "protege" la tierra del efecto de los rayos ultravioletas. La desaparición del ozono estratosférico, por tanto, pondría en peligro la vida humana y la de otros animales.

**3. La contaminación del agua.** Es uno de los problemas ecológicos más claros y graves, causado por la descarga directa o indirecta (a través de los ríos) de grandes cantidades de desechos industriales. El caso del mercurio y el cadmio son especialmente graves, por su efecto sobre la salud humana, y por esta razón se han puesto en marcha legislaciones que han conseguido reducir drásticamente su emisión a los mares. En cambio, los efectos de la intensa "fertilización" de los mares, debido a los fertilizantes agrícolas y a los restos orgánicos animales y humanos, pueden perturbar seriamente el equilibrio ecológico marino. El aumento de sustancias fertilizantes en las aguas marinas produce el fenómeno de la "eutrofización", que consiste en el desarrollo masivo de algunas especies, como las medusas o determinados tipos de algas. La hipertrofia de estas especies produce un grave desequilibrio. Por ejemplo, las "mareas de algas", presentes en los últimos años en la Costa Brava, el Adriático norte i la costa danesa, impiden el paso de la luz y la oxigenación de las aguas inferiores, deteriorando la fauna subacuática. Un efecto parecido tienen las emisiones de hidrocarburos, además

de producir una intoxicación de la casi totalidad de las especies que viven en el mar, incluyendo las aves marinas.

**4. La desertización.** Es la pérdida de superficies aptas para la agricultura. Se trata de un fenómeno natural, que se ha producido siempre. Hay, por ejemplo, testimonios de vida humana de hace 5.000 años al norte del actual desierto del Sahara. El desierto norteafricano dejó de ser habitable hace solamente 3.000 años. Ahora bien, también está claro que la acción del hombre puede provocar la desertización de tierras, sobre todo de aquellas que están próximas a la climatología desértica. El agotamiento de los acuíferos subterráneos por su explotación es uno de los peligros más claros: provoca la salinización de los terrenos haciendo imposible la vida vegetal. Otro factor de gran importancia son los incendios. Naturalmente, no todos los incendios son causados por la acción humana, pero está claro que la actividad humana provoca una cantidad creciente de éstos.

Por otro lado Fuentes de Energías Alternativas (1993) citado por Atómico (2005) nos señala algunos datos sobre producción y consumo energético en el mundo y nos dice que con el tiempo aumenta el consumo energético de fuentes de energía, como puede observarse en el siguiente cuadro 1:

Cuadro No. 1. Consumo Energético Mundial en Millones de Toneladas Equivalentes de Petróleo (TEP).

AÑOS	1965	1970	1975	1980	1985	1989
LIQUIDOS	1537	2255	2709	3002	2797	3081
SÓLIDOS	1367	1495	1553	1794	2094	2321
GASES	572	848	1017	1253	1471	1681
ELECTRICIDAD	236	316	458	616	855	985

(Fuente Social Indicators 1991-1992 The World Bank).

Los combustibles fósiles son la principal fuente de energía en la actualidad como se ve en el cuadro 2.

Cuadro No. 2. Consumo de energía primaria mundial en 1988.

FUENTE	%
PETROLEO	37.7
CARBON	30.1
GAS NATURAL	20.2
HIDROELÉCTRICO	6.6
NUCLEAR	5.4

Fuente Social Indicators 1991-1992 The World Bank.

Si bien estos combustibles presentan problemas al medio ambiente, son baratos ya que existen grandes reservas como puede verse en el cuadro 3.

Cuadro No. 3. Relación Reservas/Producción y Años de Disponibilidad.

Región	Petróleo	Gas	Carbón
Norteamérica	10	14	286
Latinoamérica	50	70	371
Europa Oeste	12	34	219
Medio Oriente	100+	100+	-
África	29	100+	357
Asia y Australasia	18	57	228
Europa Este	15	52	181
Mundial	41	58	218

Fuente Social Indicators 1991-1992 (The World Bank).

### **Energías renovables.**

Borroto Bermúdez, A y Col. (1999) citado por caprahispana (2001) nos menciona que como ya se conoce el uso de las energías renovables no es un hecho novedoso, fueron ellas las primeras utilizadas por el hombre; sin embargo la aparición de los combustibles fósiles las relegó por muchos años al olvido. En la

actualidad el panorama ha cambiado, por una parte los problemas medioambientales debidos en un significativo porcentaje a los procesos de conversión energética y en su totalidad a la acción indiscriminada del hombre sobre la biosfera y por otra parte la convulsa situación del mundo del petróleo (portador energético fundamental en la actualidad) que ha enfrentado tres crisis en menos de 50 años han puesto de nuevo sobre el tapete las olvidadas energías renovables; y aunque es cierto que todavía enfrentan detractores cada día ganan más adeptos y aumenta su cuantía dentro de la satisfacción global de los requerimientos energéticos de la humanidad.

Según Energías Alternativas (1993) citado por capraispana en consideraciones sobre el biogás (2001), nos dice que muchas fuentes de energía son perjudiciales para el ambiente. La ONU reporta en su informe 1994 que al nivel actual de utilización, los combustibles fósiles representan una amenaza a la estabilidad del clima. Los combustibles fósiles producen emisiones de hidrocarburos, óxidos de azufre y nitrógeno que son dañinos para los seres vivos. Además contribuyen al efecto invernadero por el aumento de concentración de dióxido de carbono en la atmósfera. Otras fuentes de energía evitan estos inconvenientes, por ejemplo la nuclear no emite grandes cantidades de gases, pero los residuos que produce, como el Plutonio 239 son peligrosos y se cuestiona la seguridad luego de desastres como el de Chernobyl.

La energía hidroeléctrica, si bien es bastante limpia, produce impactos graves a los ecosistemas al inundarse los reservorios o lagos artificiales.

Por ello y por razones económicas (previendo que se acaben los combustibles fósiles) se estudian con interés otras fuentes de energía tales como la solar y eólica, en principio las más limpias, y otras que aunque producen emisiones por lo menos son renovables, como el aprovechamiento de la biomasa para producir gas, etanol o aceite combustible.

Por otro lado Ortega M. (2003) citada en En Buenas Manos (2004) define a las energías renovables como aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana: solar, eólica, hidráulica, biomasa y geotérmica.

Son fuentes de abastecimiento energético respetuosas con el medio ambiente. Lo que no significa que no ocasionen efectos negativos sobre el entorno, pero éstos son infinitamente menores si los comparamos con los impactos ambientales de las energías convencionales (combustibles fósiles: petróleo, gas y carbón; energía nuclear, etc.) y además son casi siempre reversibles.

Según la asociación de productores de energías renovables (appa por sus siglas en inglés), las energías renovables se pueden dividir en:

**La Energía Minihidráulica:** El agua es elemento central de la naturaleza, de nuestra vida. El agua que, dentro del círculo hidrológico, fluye por los ríos al descender de un nivel superior a un nivel inferior genera una energía cinética que el hombre lleva siglos aprovechando.

Hace más de cien años, esa energía, que hasta entonces se usaba fundamentalmente para moler el trigo, comenzó a emplearse en la generación de electricidad. De hecho, fue hasta mitad del siglo XX la principal fuente de que se sirvió el hombre para producirla a gran escala.

Esta misma fuente establece que las centrales hidroeléctricas funcionan convirtiendo la energía cinética y potencial de una masa de agua al pasar por un salto en energía eléctrica. El agua mueve una turbina cuyo movimiento de rotación es transferido mediante un eje a un generador de electricidad. Un ejemplo de este tipo de planta se muestra en la Fig. 1.

Se consideran centrales minihidráulicas aquellas con una potencia instalada de 10 MW o menos, una frontera que hasta hace poco se situaba en los 5 MW.



Figura. No. 1 ilustración de una central minihidraulica antigua.

**La Energía Eólica:** La Asociación danesa de la industria eólica (2003), dice que todas las fuentes de energía renovables (excepto la mareomotriz y la geotérmica), e incluso la energía de los combustibles fósiles, provienen, en último término, del sol. El sol irradia 174.423.000.000.000 kWh de energía por hora hacia la Tierra. En otras palabras, la Tierra recibe  $1,74 \times 10^{17}$  W de potencia.

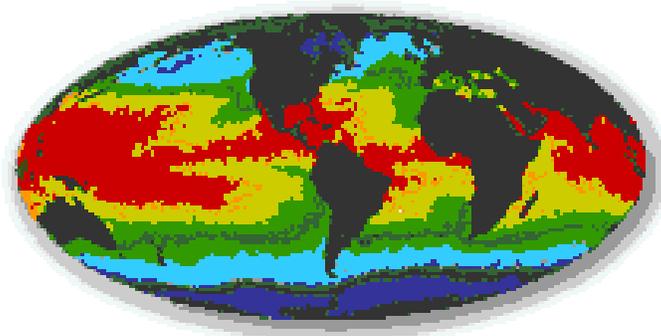
Alrededor de un 1 a un 2 por ciento de la energía proveniente del sol es convertida en energía eólica. Esto supone una energía alrededor de 50 a 100 veces superior a la convertida en biomasa por todas las plantas de la tierra.

Las diferencias de temperatura conllevan la circulación de aire.

Las regiones alrededor del ecuador, a  $0^\circ$  de latitud, son calentadas por el sol más que las zonas del resto del globo. Estas áreas calientes están indicadas en colores cálidos, rojo, naranja y amarillo, en esta imagen de rayos infrarrojos de la superficie del mar (tomada de un satélite de la NASA, NOAA-7, en julio de 1984).

Esta misma fuente recalca que el aire caliente es más ligero que el aire frío, por lo que subirá hasta alcanzar una altura aproximada de 10 km y se extenderá hacia el norte y hacia el sur. Si el globo no rotase, el aire simplemente llegaría al Polo Norte y al Polo Sur, para posteriormente descender y volver al ecuador, esto se muestra con la Fig. 2.

Alrededor de un 1 a un 2 por ciento de la energía proveniente del sol es convertida en energía eólica. Esto supone una energía alrededor de 50 a 100 veces superior a la convertida en biomasa por todas las plantas de la tierra.



© 1998 [www.WINDPOWER.org](http://www.WINDPOWER.org)

Figura. No. 2 Color de las diferentes temperaturas de corrientes de aire.

**La Biomasa:** Según Fernandez Alija y Carrion Garcia, definen a la biomasa como una abreviatura de masa biológica, cantidad de materia viva producida en un área determinada de la superficie terrestre, o por organismos de un tipo específico. El término es utilizado con mayor frecuencia en las discusiones relativas a la energía de biomasa, es decir, al combustible energético que se obtiene directa o indirectamente de recursos biológicos. La energía de biomasa que procede de la madera, residuos agrícolas y estiércol, continúa siendo la fuente principal de energía de las zonas en desarrollo. En algunos casos también es el recurso económico más importante, como en Brasil, donde la caña de azúcar se transforma en etanol, y en la provincia de Sichuán, en China, donde se obtiene gas a partir de estiércol. Existen varios proyectos de investigación que pretenden conseguir un desarrollo mayor de la energía de biomasa, sin embargo, la rivalidad económica que plantea con el petróleo es responsable de que dichos esfuerzos se hallen aún en una fase temprana de desarrollo.

Sebastián, Royo y Circe (2002) la definen como una sustancia orgánica renovable de origen animal o vegetal, era la fuente energética más importante para la humanidad y en ella se basaba la actividad manufacturera hasta el inicio de la revolución industrial. Con el uso masivo de combustibles fósiles el aprovechamiento energético de la biomasa fue disminuyendo progresivamente y en la actualidad presenta en el mundo un reparto muy desigual como fuente de energía primaria. Mientras que en los países desarrollados, es la energía renovable más extendida y que más se está potenciando, en multitud de países en vías de desarrollo es la principal fuente de energía primaria lo que provoca, en muchos casos, problemas medioambientales como la deforestación, desertización, reducción de la biodiversidad, etc. La definición según estos autores se explica mediante la Fig. 3

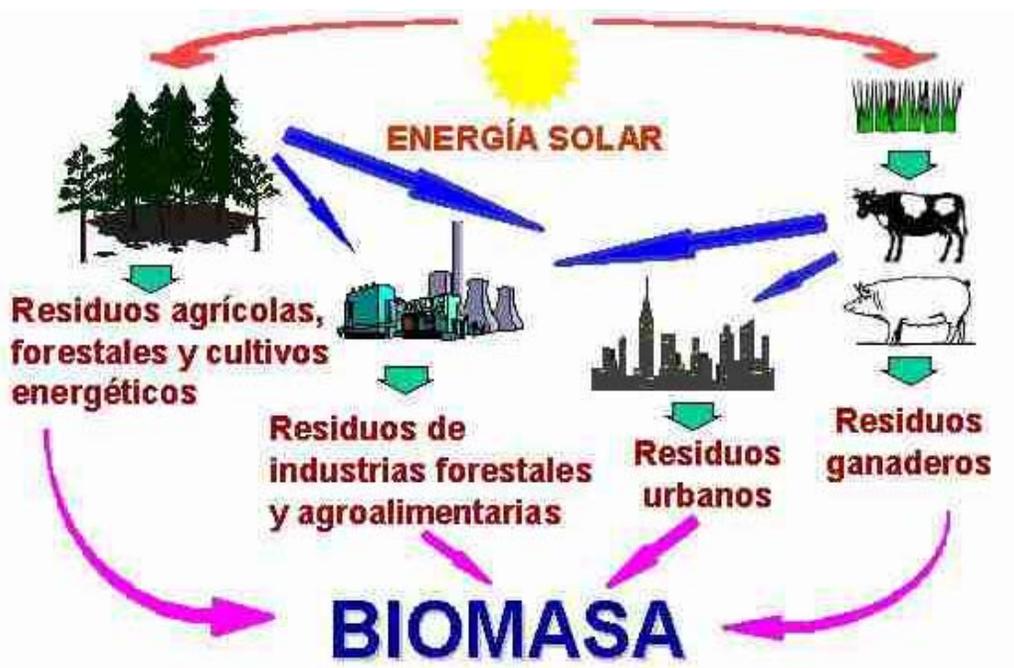


Figura. No. 3 Diagrama de la definición de biomasa

**La Energía Fotovoltaica:** José E. Marcano (2005) la define como la energía eléctrica obtenida de la luz mediante células fotoeléctricas que responden a la energía luminosa liberando electrones.

Por otra parte natureduca.iespana.es, se refiere como que los sistemas de energía fotovoltaica permiten la transformación de la luz solar en energía eléctrica, es decir, la conversión de una partícula luminosa con energía (fotón) en una energía electromotriz (voltaica).

**La Energía Geotérmica:** Según ambientum (2000) citado por Panorama energético dice que Las plantas geotérmicas aprovechan el calor generado por la tierra. A varios kilómetros de profundidad en tierras volcánicas como se muestra en la Fig. 4 los geólogos han encontrado cámaras magmáticas, con roca a varios cientos de grados centígrados. Además en algunos lugares se dan otras condiciones especiales como son capas rocosas porosas y capas rocosas impermeables que atrapan agua y vapor de agua a altas temperaturas y presión y que impiden que éstos salgan a la superficie. Si se combinan estas condiciones se produce un yacimiento geotérmico.



Figura. No. 4 Erupción Volcánica tipo de energía geotérmica.

**La Energía de las Olas y de las Mareas:** Según hace referencia ushuaia, tierra del fuego, (2004) los mares y los océanos son inmensos colectores solares, de los cuales se puede extraer energía de orígenes diversos. La radiación solar incidente sobre los océanos, en determinadas condiciones atmosféricas, da lugar a los gradientes térmicos oceánicos (diferencia de temperaturas) a bajas latitudes y profundidades menores de 1000 metros.

La alteración de los vientos y las aguas son responsables del oleaje y de las corrientes marinas, y pueden originar grandes olas como la que se muestra en la Figura.



Figura. No. 5 olas ocasionadas por la atracción de la luna sobre la tierra

La influencia gravitacional de los cuerpos celestes sobre las masas oceánicas provoca mareas.

La energía estimada que se disipa por las mareas es del orden de 22000 TWh. De esta energía se considera recuperable una cantidad que ronda los 200 TWh.

El obstáculo principal para la explotación de esta fuente es el económico. Los costes de inversión tienden a ser altos con respecto al rendimiento, debido a las bajas y variadas cargas hidráulicas disponibles. Estas bajas cargas exigen la utilización de grandes equipos para manejar las enormes cantidades de agua puestas en movimiento. Por ello, esta fuente de energía es sólo aprovechable en caso de mareas altas y en lugares en los que el cierre no suponga construcciones demasiado costosas.

## **Biogás**

Según Huilinao, Perez y Piccoli (2002) designan el termino biogás como a la mezcla de gases resultantes de la descomposición de la materia orgánica realizada por acción bacteriana en condiciones anaerobias.

El biogás se produce en un recipiente cerrado o tanque denominado biodigestor el cual puede ser construido con diversos materiales como ladrillo y cemento, metal o plástico. El biodigestor, de forma cilíndrica o esférica posee un conducto de entrada a través del cual se suministra la materia orgánica ( por ejemplo, estiércol animal o humano, las aguas sucias de las ciudades, residuos de mataderos) en forma conjunta con agua, y un conducto de salida en el cual el material ya digerido por acción bacteriana abandona el biodigestor. Los materiales que ingresan, y abandonan el biodigestor se denominan afluente y efluente respectivamente.

El proceso de digestión que ocurre en el interior del biodigestor libera la energía química contenida en la materia orgánica, la cual se convierte en biogás (gas metano). El metano es un gas combustible, incoloro, inodoro, cuya combustión produce una flama azul y productos no contaminantes como la que se muestra en la siguiente figura.



Figura. No. 6. Flama de biogás.

Este gas se puede utilizar para cocinar, como fuente de energía eléctrica, etc. y es un tipo de energía renovable y no contaminante.

En nuestro país no es una forma de energía muy difundida, pero su uso es muy generalizado en China e India, donde por medio de tanques (biodigestores) contruidos para producir metano, se ha solucionado (por lo menos en partes), las necesidades de combustibles para fines domésticos en áreas rurales.

Otra definición de biogás es la que refiere el Glosario de términos ambientales de EcoPortal.net (1999) que es un gas producido en fermentación de la residuos domiciliarios, en general tiene un alto contenido de Metano, es susceptible de ser usado con fines de generación de eléctrica o de uso domiciliario.

Siguiendo con definiciones de diferentes autores, según Wikipedia, la enciclopedia libre(2005) hace mención que, 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.

De modo natural se produce en la putrefacción de la materia orgánica y se llama gas de los pantanos o gas natural.

### **Origen del biogás.**

Según Consumer.es Eroski (2005), La creación y utilización del biogás de manera artificial se remonta a la segunda guerra árabe-israelí, a mediados de los años setenta del siglo XX, cuando el precio del petróleo subió ostensiblemente al ser utilizado como arma política, lo que hizo que se investigasen otras posibilidades de producir energía. Es entonces cuando se experimentó con reactores, los llamados de alta carga, capaces de retener los microorganismos anaerobios y de tratar las aguas residuales mediante este

proceso. En este último caso, se tienen en cuenta las características de composición del agua y siempre que sea ventajoso frente a otras alternativas de tratamiento también se utiliza, aplicándose a los vertidos de la industria agroalimentaria, bebidas, papeleras, farmacéuticas, textiles, etc.

En un primer momento, el desarrollo del biogás fue más fuerte en la zona rural, donde se cuenta de manera directa y en cantidad con diversos tipos de desechos orgánicos, como el estiércol. De esta manera, el aprovechamiento de los residuos agrícolas se practica desde hace años en instalaciones individuales de tamaño medio que utilizan el biogás para cocinar o como fuente de iluminación. Según los expertos, esta manera de tratar los residuos es más efectiva, controlada y ecológica que las soluciones tradicionales de tratamiento, que en algunos casos pasan directamente por el vertido incontrolado. No obstante, el biogás también tiene sus inconvenientes porque, además del metano y dióxido de carbono, pueden aparecer otros componentes minoritarios como el ácido sulfhídrico que es necesario eliminar. Por otra parte, si el residuo queda almacenado en condiciones de ausencia de aire, como ocurre en los estercoleros, se formaría metano que escaparía a la atmósfera, produciendo efecto invernadero y destrucción de la capa de ozono sin que se aproveche su energía.

En este sentido, un equipo de científicos de la Universidad de Cantabria presentaba recientemente un nuevo proceso de tratamiento y gestión de los residuos del ganado vacuno lechero que reduce la contaminación y aprovecha los nutrientes del estiércol, al tiempo que permite obtener energía renovable a través

del biogás generado. Estos investigadores ya han iniciado contactos con el sector ganadero y con las consejerías de Medio Ambiente y de Ganadería, Agricultura y Pesca del Gobierno de Cantabria para estudiar cómo llevar este proyecto a la práctica. Estos expertos aseguran que si se sigue apostando por las energías renovables, la mejora de las tecnologías y el incremento de este tipo de plantas para obtener biogás y su posterior utilización es cuestión de tiempo.

### **Biogás a nivel mundial.**

El mismo [consumer.es](http://consumer.es) eroski (2005), nos da la utilización del biogás en otros países:

Asia es el continente que más instalaciones de biogás ha construido. En 1973 se creó la Oficina de Difusión del Biogás y posteriormente el Centro Regional de Investigación en Biogás para Asia y el Pacífico.

En China, el 70% del combustible para uso doméstico en las zonas rurales proviene de la descomposición de la paja y los tallos de cultivos.

En la India, más de medio millón de personas se han servido de plantas de biogás como combustible doméstico, y hoy en día existen plantas demostrativas multifamiliares donde el gas se hace llegar por tuberías a cada vivienda por un precio módico.

En Estados Unidos, existen incluso algunas plantas de biogás de gran tamaño, mientras que en América Latina se hacen esfuerzos aislados en distintos países.

En Japón, presentaban el año pasado un sistema que consigue fermentar también el hidrógeno, además del metano, separadamente, lo que amplía los residuos a utilizar para la obtención de biogás, como los desechos de las cocinas, por ejemplo.

En Europa, existen más de 500 instalaciones productoras de este gas biológico, Holanda y Dinamarca son los países que marcan la pauta.

En España, la implantación es menor respecto al resto de Europa. En el campo de las aguas residuales existe en industrias azucareras o cerveceras. Concretamente con el estiércol, tanto de vacuno como de porcino, ha habido algunas plantas piloto, pero ahora mismo a escala industrial no hay ninguna. En estos temas se investiga fundamentalmente desde las universidades. Su aplicación a escala industrial dependerá de las exigencias medioambientales y de los precios del coste de la energía.

El biogas se utiliza como una tecnología ecológicamente amistosa en muchos países, en la Fig. 7 se muestran diferentes logotipos sobre biogás en el mundo.

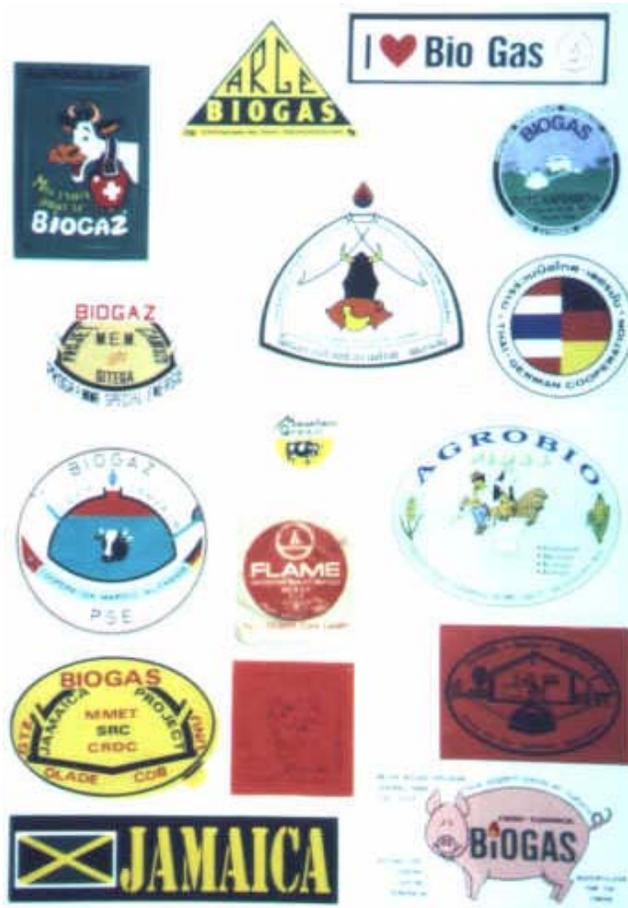


Figura. No. 7 Diferentes logotipos sobre biogás.

Por otro parte la German Appropriate Technology Exchange (1999) y Hernández (1990) citados en la monografía “Consideraciones sobre la utilización del biogás” (2005), nos dice que la situación del biogás a nivel internacional es la siguiente:

Asia es el continente que más instalaciones de biogás ha reportado. Desde 1973 se estableció la Oficina de Difusión del Biogás y posteriormente el Centro Regional de Investigación en Biogás para Asia y el Pacífico Sur adjunto al Ministerio de la Agricultura. En la república Popular China la situación actual en las

zonas rurales se caracteriza por una grave escasez de energía donde alrededor de 130 millones de familias carecen de combustible para uso doméstico durante tres meses del año. El 70 % de combustible para uso doméstico proviene de paja y tallos de cultivos. El estado solo puede solucionar el 13 % de las necesidades energéticas individuales para el sector rural.

En la india, alrededor de 500 000 familiares utilizaron plantas de biogás, para producir energía como sustituto del combustible doméstico. Hoy existen plantas demostrativas multifamiliares donde el gas se hace llegar por tuberías a cada vivienda sobre la base de un precio módico por consumidor. En la localidad de MASUDPUR el estado ha construido una planta de biogás multifamiliar a partir de excrementos humanos y vacunos. El digestor de alrededor de 194 m<sup>3</sup> de capacidad tiene una campana de acero de 85 m<sup>3</sup> y el biogás se envía a 12 viviendas separadas de la instalación productora en 1 Km. de distancia. Hoy 31 comunidades cuentan con plantas de biogás multifamiliares que trabajan eficientemente porque son atendidas con esmero.

En Europa existen alrededor de 564 instalaciones productoras de gas biológico que representan unos 269 000 m<sup>3</sup> de digestores. De estas 174 000 m<sup>3</sup> digestores corresponden a instalaciones industriales. El resto, 95 000 m<sup>3</sup> de digestores corresponden a instalaciones agrícolas. Al inicio el desarrollo del biogás fue más fuerte en la zona rural. Hoy el tratamiento de desechos municipales mediante instalaciones productoras de energía y abonos llevan el peso fundamental en el desarrollo de esta tecnología donde se trabaja fuertemente por

lograr cada día una eficiencia más óptima de procesos con tiempo de retención extremadamente bajos (3 a 10 h).

En Estados Unidos de América existen algunas plantas de biogás de gran tamaño y que funcionan bien.

Otra instalación significativa resulta la de una planta de biogás construida para el procesamiento de excreta de vacas lecheras en la ciudad de MONROE, y WASHINGTON. Esta instalación posee un digestor de 190 m<sup>3</sup> de capacidad comenzó a trabajar en 1977 concebida para 200 vacas estabuladas. En América Latina se hacen esfuerzos aislados en distintos países, con el propósito de extender la tecnología del biogás a las condiciones de vida e idiosincrasia de nuestros pueblos.

### **Biogás en México.**

Según la comisión reguladora de energía (2003) citada por transform (2003), El Biogás (también conocido como Biomasa) es una opción que ha tenido una buena aceptación como fuente alterna de energía, ya que presenta importantes ventajas económicas y ambientales. El costo nivelado de esta tecnología es de entre 5 y 8 centavos de USD/kWh, lo cual podría considerarse relativamente alto con respecto a otras fuentes de generación (incluso las alternas). Sin embargo, debe considerarse que este costo ya incluye el

desarrollo y equipamiento del relleno sanitario. Pese a lo elevado de su costo, debe tomarse en cuenta que independientemente de la decisión de construir una central de biogás, la basura debe confinarse en un relleno sanitario debido a que en la actualidad los tiraderos a cielo abierto no son permitidos. En otras palabras, se puede obtener un beneficio a partir de una actividad obligatoria como la disposición de la basura en un relleno sanitario para cumplir con las normas ecológicas.

Según Saldaña (2003) citado en the International Conference on Technology Policy and Innovation (2003), habla sobre el Sistema Metropolitano de Procesamiento de Desechos Sólidos (SEMIOPRODESO) que en conjunto con una empresa de la Iniciativa Privada ha desarrollado un proyecto que generará energía para alumbrar a varios municipios del Estado de Nuevo León mediante la correcta utilización del biogás.

Por otra parte las energías renovables en México y el mundo (2005), El biogás también se produce en rellenos sanitarios, que contienen gran proporción de desechos orgánicos húmedos, y en donde existen las condiciones adecuadas para que proliferen las bacterias anaerobias que al digerir esos desechos producen el metano y el bióxido de carbono en el interior del relleno.

Por ejemplo, un relleno sanitario de la Ciudad de México con 5.6 millones de toneladas de residuos sólidos produce suficiente biogás para alimentar una planta de 5 MW de capacidad para operar durante 10 años.

## **Composición y propiedades del biogás.**

Según Huilinao, Perez y Piccoli (2002), este gas está formado por:

Metano ( $\text{CH}_4$ ): 40-70% vol. = Da características combustibles

Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ): 30-60% vol.

Otros gases: Hidrógeno ( $\text{H}_2$ ): 0-1% vol.

Sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ): 0-3% vol.

Estos mismos autores refieren las siguientes propiedades:

Dependen de la presión, de la temperatura y la humedad. Los factores que caracterizan el biogás son:

Cambio de volumen al variar la presión y la temperatura.

Cambio del valor calorífico, al variar la temperatura, presión y/o contenido de agua.

Cambio del contenido de vapor de agua cuando cambia la temperatura y presión.

El valor calorífico del biogás es cerca de 6 Kwh por  $\text{m}^3$  Es decir que un metro cúbico de biogas es equivalente a aproximadamente medio litro de combustible diesel.

En el siguiente cuadro se ilustra el valor combustible del biogás en comparación con otros combustibles.

Cuadro No. 4 valores promedio del poder calorífico de diferentes combustibles y su equivalente referido al biogás.

COMBUSTIBLE	Kcal/m <sup>3</sup>	Kcal/kg	Cantidad equivalente a 1000m <sup>3</sup> de biogás
Biogás	5335	-	1000 m <sup>3</sup>
Gas natural	9185	-	851 m <sup>3</sup>
Metano	8847	-	603 m <sup>3</sup>
Propano	22052	-	242 m <sup>3</sup>
Butano	28588	-	187 m <sup>3</sup>
Electricidad	860 kcal/kw/h	-	6203 kw/h
Carbón		6870	776 kg
Petróleo		11357	470 kg. 553 lts
Combustóleo		10138	526 kg. 528 lts

Fuente: [www.geocities.com/institutoingefor2/cursos/curso1/biogas1.html](http://www.geocities.com/institutoingefor2/cursos/curso1/biogas1.html). (2005)

Werner (1989) dice que el metano, principal componente del biogas, es el gas que le confiere las características combustibles al mismo. El valor energético del biogas por lo tanto estará determinado por la concentración de metano - alrededor de 20 – 25 MJ/m<sup>3</sup>, comparado con 33 – 38MJ/m<sup>3</sup> para el gas natural.

### Fermentación anaerobia.

La German Appropriate Technology Exchange (1999) menciona que este tipo de fermentación es un proceso natural, conocido por el hombre desde tiempo atrás, pero poco utilizado, especialmente en nuestro medio. Es una fermentación

que ocurre en ausencia de oxígeno (sin aire) y produce, como resultado final, un gas combustible conocido como Biogas o gas metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), además de un efluente líquido alcalino que es un excelente abono orgánico.

En el desarrollo de este proceso ocurren simultáneamente tres etapas dentro del sistema:

### **Primera Etapa**

Ocurre una hidrólisis generalizada de la materia orgánica compleja adicionada al digestor, realizada por enzimas producidas por diversas bacterias: proteolíticas, lipóticas y carbolíticas, que destruyen inicialmente las proteínas, grasas y carbohidratos presentes.

### **Segunda Etapa**

El producto de la primera etapa, es tomado por un segundo tipo de bacterias, conocidas generalmente como acidogénicas, que transforman la materia orgánica hidrolizada, en ácidos orgánicos de bajo peso molecular, principalmente ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) y ácido propiónico ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ ).

### **Tercera Etapa**

Los ácidos de bajo peso molecular obtenidos, son a su vez tomados por un tercer grupo de bacterias, llamadas propiamente metanogénicas, que los transforman en gas metano y dióxido de carbono.

Siguiendo con el mismo autor nos dice que el comportamiento microbiológico es más complejo que estas tres etapas; dentro de un biodigestor en operación ocurren multitud de reacciones y fermentaciones simultáneas de docenas de bacterias diferentes, que trabajan de forma simbiótica y elaboran gran variedad de productos, que a su vez son tomados por otras bacterias que retransforman para otros grupos. Por lo anterior, con el Biogas se encuentran trazas de hidrógeno ( $H_2$ ), Nitrógeno ( $N_2$ ), ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) y otros. Cualquier cambio brusco que ocurra dentro del digestor en funcionamiento destruirá el delicado equilibrio establecido en el sistema y el proceso se detendría o desviaría la reacción para otro lado. En el siguiente cuadro se muestra la relación carbono-nitrógeno y porcentaje de fermentación dependiendo el tipo de animal.

Cuadro No. 5 Características del material de fermentación.

Características del material de fermentación						
Clase de animal Material de fermentación	Cantidad diaria			% del material de ferm. fresco		C/N
	Aprox. Kg	Estiércol % peso en vivo	Orina % peso en vivo	% MS	% MOS	
Vacunos	8	5	4	16	13	25
Búfalos	12	5	4	14	12	20
Cerdos	2	2	3	17	14	13
Ovejas	1			30	20	30
Caballos	10			25	15	25
Gallinas	0.08			25	16	5
Humanos	0.5			20	15	8
Paja / Tamo					~ 80	70
Hojas / Pasto					~ 80	35
Jacinto de Agua	25 kg/m <sup>2</sup>			7	5	25

Fuente: <http://ing.unne.edu.ar/pub/biomasa.pdf>.(2005)

Casi un 75% del gas metano producido durante el proceso, proviene del ácido acético formado en los pasos intermedios. El hidrógeno producido por algunas bacterias se recombina en forma casi instantánea con dióxido de Carbono para formar metano y agua en un proceso llamado de biometanización.

Según Alvarez, Caneta y Moyano (2005) dicen que La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como "biogas" y a una suspensión acuosa o "lodo" que contiene los componentes difíciles de degradar y los minerales inicialmente presentes en la biomasa.

La materia prima preferentemente utilizada para someterla a este tratamiento es la biomasa residual con alto contenido en humedad, especialmente los residuos ganaderos y los lodos de depuradora de aguas residuales urbanas.

Aunque la digestión anaerobia es un proceso ampliamente conocido en la práctica, se posee en la actualidad una información muy limitada sobre su química y su microbiología. Sin embargo, se puede afirmar en líneas generales que la digestión anaerobia se desarrolla en tres etapas durante las cuáles la biomasa se descompone en moléculas más pequeñas para dar biogás como producto final, por la acción de diferentes tipos de bacterias.

Las variables que influyen en el proceso son las siguientes:

- Temperatura: se encuentra un óptimo de funcionamiento alrededor de los 35 ° C
- Acidez: determina la cantidad y el porcentaje de metano en el biogás, habiéndose encontrado que el valor óptimo de pH oscila entre 6,6 y 7,6
- Contenido en sólidos: se suele operar en mejores condiciones con menos de un 10% en sólidos, lo que explica que la biomasa más adecuada sea la de alto contenido en humedad
- Nutrientes: para el crecimiento y la actividad de las bacterias, éstas tienen que disponer de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y algunas sales minerales
- Tóxicos: aparte del oxígeno, inhiben la digestión concentraciones elevadas de amoníaco, sales minerales y algunas sustancias orgánicas como detergentes y pesticidas.

Sica News (2005), establece que la digestión anaerobia se puede realizar en rangos mesofílicos o termofílicos según sea la temperatura en la que se realiza el proceso. La digestión anaerobia en rango mesofílico se realiza para temperaturas inferiores a 40°C, mientras que a temperaturas del orden de 55°C, la

digestión es termofílica. En este último caso, el tiempo de retención es menor y la producción de biogás es bastante mayor.

El poder calorífico del biogás es del orden de 4.500 kcal/m<sup>3</sup> (con 60% de metano y 40% de CO<sub>2</sub>). Al emplear este biogás como combustible, se puede producir electricidad para el consumo de la propia planta generadora o de recuperación eléctrica en una depuradora.

### **Temperatura.**

Un factor importante a tener en cuenta para una adecuada fermentación es la temperatura de la masa durante el proceso. Existen tres rangos de operación bien definidos:

1. **El criofílico**, que opera por debajo de los 15 °C (59 °F). A esta temperatura la reacción es muy lenta y casi nula; la producción de metano se detiene debajo de los 17 °C.

Este es el principio utilizado por los refrigeradores domésticos para conservar, alimentos perecederos, entre los 4 °C a 6 °C. Por debajo del punto de congelación del agua cesa completamente cualquier fermentación, por lo cual, la carne congelada se conserva casi indefinidamente.

2. **El mesofílico**, opera entre los 17 °C y los 40 °C (60 a 104 °F), la temperatura ideal es la de los 35 a 37 °C (95 a 99 °F). A esta temperatura la fermentación es rápida y efectiva desde el punto de vista de velocidad de degradación de la materia orgánica.

Es por esta razón que los alimentos se pudren rápidamente en tierra caliente cuando no están refrigerados.

3. **El termofílico**, que opera a temperaturas entre los 40 a 64 °C (104 a 149 °F) con un ideal de 55 °C. A estas temperaturas la fermentación es extremadamente rápida y efectiva, pero también es supremamente sensible a los cambios bruscos de pH y temperatura.

### **Tiempo.**

Comparando el tiempo que tarda en degradarse totalmente por ejemplo el estiércol del ganado, en el rango criofílico sería aproximadamente 120 días, mientras que en el mesofílico, puede durar entre 40 y 55 días. En el rango termofílico la operación tardaría unos 4 a 5 días. De lo anterior se deduce que con un control adecuado de temperatura de la masa en fermentación, se puede lograr una aceleración considerable en la velocidad del proceso.

## **Agitación.**

El grado y la calidad de la agitación interna que se logre, es otro factor que ayuda a mejorar y acelerar la eficiencia de la fermentación anaeróbica, pues da oportunidad a las bacterias de estar en contacto con material no digerido.

## **Presión.**

Un factor limitante del proceso anaeróbico es el de la presión total de operación. Cuando la presión hidrostática a que están sometidas las bacterias es superior a 4 PSI, su velocidad de trabajo se reduce en un 50%. Con el aumento de presión disminuye el rendimiento pero no llega a detenerse el proceso.

En digestores sencillos, cuyo ancho es menor que la profundidad y sin más efecto de agitación que el burbujeo del gas producido, cuando sube a la superficie, no se debe sobrepasar una profundidad efectiva de líquido de 3.6 metros. Si se ha de sobrepasar esta profundidad, es necesario proporcionar agitación mecánica para que las bacterias puedan operar a diferentes profundidades

## **Biodigestor.**

En proyectos fin de carrera (2005) lo definen como un recipiente cerrado o tanque denominado biodigestor el cual puede ser construido con diversos materiales como ladrillo y cemento, metal o plástico. El biodigestor, de forma cilíndrica o esférica posee un ducto de entrada a través del cual se suministra la materia orgánica (por ejemplo, estiércol animal o humano, las aguas sucias de las ciudades, residuos de matadero) en forma conjunta con agua, y un ducto de salida en el cual el material ya digerido por acción bacteriana abandona el biodigestor.

Los materiales que ingresan y abandonan el biodigestor se denominan afluente y efluente respectivamente. El proceso de digestión que ocurre en el interior del biodigestor libera la energía química contenida en la materia orgánica, la cual se convierte en biogas.

Otra definición de biodigestor la da el manual del digestor (2005) que nos dice que el biodigestor es un depósito completamente cerrado, donde el estiércol de los animales se fermenta sin aire para producir gas metano y un sobrante, o líquido espeso, que sirve como abono y como alimento para peces y patos.

## **Procesos de fermentación.**

### **Lagunas de Oxidación**

Estas lagunas o lagos de estabilización para aguas negras y desperdicios contaminantes en general, han sido práctica común en muchas partes del mundo y usadas durante varios siglos.

En estos lugares ocurren dos tipos de fermentación al tiempo. En la superficie y hasta cierta profundidad el proceso es aeróbico, debido a la interacción del oxígeno del aire con el agua y la acción del viento en la superficie de la laguna. Se produce el desprendimiento de gases en forma de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y amoníaco ( $\text{NH}_3$ ).

En las partes más profundas, aproximadamente 1.5 metros, el proceso es Anaeróbico, con desprendimiento de gas metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) en pequeñas cantidades.

Este sistema tiene dos inconvenientes, el mal olor producido por los gases que salen a la atmósfera y la gran extensión que ocupan.

En lagunas pequeñas es posible cubrir la superficie con aceite o algún tipo de grasa para lograr una única y mayor actividad de fermentación anaerobia y disminuir la Demanda Química de Oxígeno (QOD) y la Demanda Biológica de Oxígeno (BOD) de las aguas negras que entran en ellas, su profundidad se puede incrementar hasta 4 - 5 metros; funcionan como enormes colectores solares pasivos, absorbiendo energía y aumentando la temperatura interna, lo cual

lógicamente, acrecienta su velocidad de reacción y por consiguiente su efectividad.

### **Rellenos Sanitarios**

En la mayoría de ciudades del mundo la disposición de desechos sólidos se ha realizado mediante rellenos sanitarios, unos contruidos técnicamente y otros, los más, simplemente acumulando las basuras indiscriminadamente sobre un lote de terreno.

Actualmente, estos rellenos brindan la posibilidad de producir Gas Metano de la Biomasa con alto contenido de sólidos, tal como se presenta en los desperdicios de las industrias alimenticias y los sobrantes de cosechas.

Tal como ocurre con las lagunas de oxidación, en la parte superior de los rellenos se produce una fermentación aerobia y en las inferiores una anaeróbia, causa de los malos olores que se perciben en los alrededores de los rellenos.

Este sistema, causa la contaminación de las aguas subterráneas por el deslave de compuestos solubles que arrastran las aguas lluvias, afectando la acidez del terreno con la consiguiente destrucción de la vegetación y descarga de microorganismos que en muchos casos son de tipo patógeno. Estas condiciones también afectan la alcalinidad, acidez y dureza de las aguas superficiales y subterráneas expuestas a su contacto.

Un ejemplo de aprovechamiento masivo de Gas Metano se tiene en el Barrio Class de Bogotá, el cual fue construido sobre un relleno sanitario; sus habitantes descubrieron que al enterrar en el suelo un tubo perforado de unas 2" de diámetro, por la punta salía un flujo de gas combustible que llevado adecuadamente hasta estufas y fogones servía para la cocción de alimentos.

### **Pozos Sépticos**

Es el más antiguo y sencillo digestor anaeróbico que se conoce, utilizado normalmente para la disposición de aguas negras domésticas. Se cree que de allí deriva el uso potencial de los gases producidos por la fermentación anaeróbica, para el uso doméstico.

En la ciudad de Exeter, Inglaterra, se utilizó en el año de 1895, el gas de un pozo "debidamente diseñado", para el alumbrado público de las calles. Posteriormente, durante la década de 1920 varios equipos de estos se construyeron y utilizaron en diferentes lugares de Inglaterra.

En otra ciudad, Birmingham en 1911, el principio de operación de los pozos sépticos proporcionó la base tecnológica para diseñar una de las primeras plantas de digestión Anaeróbica, capaz de manejar las aguas negras de una gran ciudad y producir electricidad. De allí partió la tecnología básica de fermentación anaeróbica que opera actualmente en ciudades como Miami, Chicago, Los Angeles y Washington en los Estados Unidos.

Para la correcta operación de estos pozos es requisito indispensable aislar las aguas negras que caen en él, de las que contienen jabón o detergentes. Este es uno de los errores más comunes en la construcción de pozos en nuestro País; las viviendas conectan todos los desagües de duchas, lavamanos, lavaderos y lavaplatos con la cañería de aguas negras que conduce al pozo séptico. El efecto de los jabones y en especial los detergentes, inhibe la acción metabólica de las bacterias, razón por la que los pozos se colmatan con rapidez y dejan de operar, haciendo necesario destaparlos frecuentemente para recomenzar la operación.

Cuando no es posible separar las aguas negras de las jabonosas, como en el alcantarillado urbano, es necesario hacer un tratamiento químico con Polímetros a las aguas negras a fin de solucionar el problema antes de iniciar la fermentación anaeróbica.

### **Tipos de biodigestores.**

Alvarez, Caneta y Moyano (2005) citan que las plantas para la producción de biogas se pueden clasificar en:

- **Discontinuas o de Batch**, estas son cargadas una vez y vaciadas por completo después de un tiempo de retención; el abastecimiento continuo de gas con estas plantas se logra con depósitos de gas o con varios digestores funcionando a la vez.

- **Continuas**, estas se cargan y descargan en forma periódica, por lo general diariamente, el material de fermentación debe ser fluido y uniforme. Las

plantas continuas son apropiadas para viviendas rurales donde el mantenimiento necesario se integra a la fajina diaria y la producción de gas es mayor y uniforme. Estas últimas también tienen la ventaja de adaptarse al uso industrial, por ejemplo en criaderos donde se deben tratar grandes cantidades de estiércol y en donde no importa tanto la producción de gas como el tratamiento de la patogenicidad de estos desechos. También son propicias, en este caso, para la automatización.

### **Digestores Convencionales**

Son los de tipo familiar que usualmente se conocen en el comercio como Plantas de Biogas; existen dos corrientes principales de diseño.

#### **a. Sistema Hindú o kvick**

Este sistema fue desarrollado en la India en la década de los 50, después de la Segunda Guerra Mundial, basado en las experiencias de franceses y alemanes durante la guerra, pues en este periodo, campesinos de esos países recurrieron a los digestores para obtener combustible para los tractores y calefacción doméstica en el invierno. Pasada la guerra, cuando los combustibles fósiles fueron fáciles de conseguir y bajaron de precio, se regresó a la comodidad de los hidrocarburos.



Figura No. 8. Digestor tipo hindú.

Dado que la India es pobre en combustibles convencionales, el Gobierno organizó la KVICK (Kaddi Village Industry Commission), en la estación experimental de Ajithmal en Ethawa, de donde salió el típico digestor conocido como Hindú y cuya principal característica es la de operar a presión constante. También de allí surgió el nombre de Bio Gas para designar a este combustible obtenido a partir del estiércol animal.

Este tipo de digestor está compuesto por un tanque o pozo generalmente de mampostería, enterrado en el suelo utilizando la tierra como aislante para evitar pérdidas de calor y como soporte de las paredes que ayude a contrarrestar la presión hidrostática interna de la biomasa en fermentación.

Recibe carga orgánica mezclada con agua en una proporción de 1:1 y máximo de 1:5, por un tubo que conecta con la parte inferior del tanque. Esta carga fresca desplaza por simple rebose de la parte superior a la que allí se encuentra y que se recolecta en un tanque externo para tal fin. Este efluente hidrolizado se utilizará posteriormente como abono orgánico digerido o como

suplemento alimenticio, rico en proteínas, para la cría de peces o de animales domésticos en general.

En la parte superior está cerrado por una campana metálica o de otro material como madera, plástico o fibra de vidrio, que acumula los gases producidos por la fermentación y que se encuentra flotando sobre la biomasa en descomposición, con lo que se logra la estanqueidad y la hermeticidad necesarias. El peso de la campana hace las veces de compresor, pues comprime el gas dentro de ella y la mantiene flotando hasta que fluya, por la tubería de conducción, al lugar de consumo.

Una de estas plantas tipo Hindú, trabaja normalmente con una presión constante de operación en el gas, del orden de 10 a 12 centímetros de columna de agua (CA), equivalente a 1/4 o 1/5 de libra por pulgada cuadrada.



Figura No. 9. Ejemplo de digester hindú.

Este digester es el prototipo de la sencillez en su concepción y su operación, pues fue ideado para ser manejado por campesinos de muy escasa preparación.

## b. Sistema Chino o szchawn

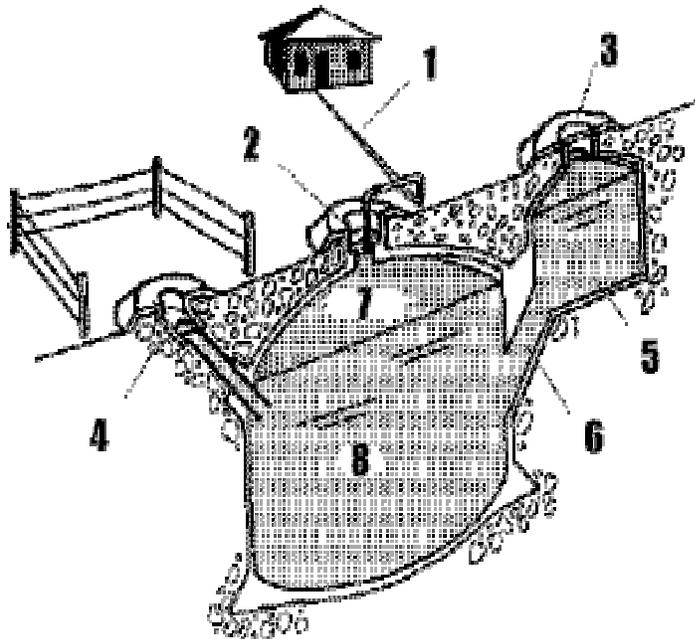
Dado el éxito del sistema Hindú y su amplia difusión en los años 50 y 60, el gobierno Chino hizo un esfuerzo grande de divulgación y adaptación de ésta tecnología a sus propias necesidades.

El gran problema de La China en ese momento no era energético, sino sanitario y alimenticio; para resolver estos dos graves problemas se desarrollo específicamente el Digestor Tipo Chino.

Tradicionalmente la China ha utilizado las excretas humanas como fuente insustituible de abono orgánico para toda clase de cultivos. Aunque esta práctica se ha utilizado durante milenios, los problemas de contaminación ambiental y sanitaria del sector rural, no se habían resuelto. Con la utilización del Biodigestor se eliminan los malos olores, se recupera el abono orgánico de uso inmediato para los cultivos y además, se genera Gas combustible para las cocinas y el alumbrado en las viviendas campesinas.

Por motivos diferentes de los hindúes, los chinos desarrollaron, por economía de construcción, el digestor unifamiliar que opera básicamente con presión variable. Es un tanque construido totalmente en mampostería, sin campana movable y totalmente enterrado. Igual que el modelo hindú, recibe la carga fresca por un conducto que la lleva a la parte baja y entrega el efluente, por

rebose, a un depósito externo en la parte superior. La diferencia principal entre los dos está en la utilización de la campana; en el sistema Chino el Gas queda atrapado con aumentos considerables de presión, pero a medida que se va gastando, ésta disminuye.



- 1. tubería de salida del gas; 2. Sello removible;
- 3. Tapa móvil; 4. Entrada; 5. Tanque de desplazamiento;
- 6. Tubería de salida; 7. Almacenamiento de gas; 8. Materia orgánica.

Figura No. 10. Esquema de un digestor tipo chino.

Un digestor de este tipo puede llegar a trabajar con un metro de columna de agua de presión o más, equivalente a 2 libras por pulgada cuadrada en algunos

casos. Esto aumentos de presión plantean diversos problemas de carácter estructural, en especial si la construcción es de cierto tamaño.

El mayor problema de este diseño es la permeabilidad del gas Metano a través de las paredes de mampostería del digestor, debido a su mayor presión de operación. Es por esta variación permanente de presión, a veces aumentando y otras disminuyendo, que el digestor tipo Chino tiene grandes limitaciones prácticas para el uso racional del gas combustible producido; por ejemplo, es imposible hacer funcionar una nevera, un motor de explosión interna o una lámpara para el alumbrado.

Sin embargo hay que recordar que su objetivo no fue el Gas, sino el abono orgánico procesado y recuperado, gracias al cual la China logró superar la crisis alimenticia y viene aumentando desde hace unos 10 años su producción agrícola, a un ritmo sostenido del 10 % anual.

### **Digestores tipo bolsa.**

Este modelo fue desarrollado en la isla de Taiwán, pero el gobierno de la antigua Alemania Federal, a través de una dependencia de ayuda externa, la GTZ, fue quien lo promovió, dentro de campañas de cooperación técnica en los países Africanos.

Se trata de aplicar las mejores características técnicas de los modelos Hindú y Chino. Consiste de una bolsa de plástico o caucho, en forma de salchicha, que se acomoda sobre el piso a lo largo de una zanja en el terreno para que esté parcialmente sujeto por la tierra en los bordes. La carga fresca entra por un extremo y la descarga se hace por el opuesto.

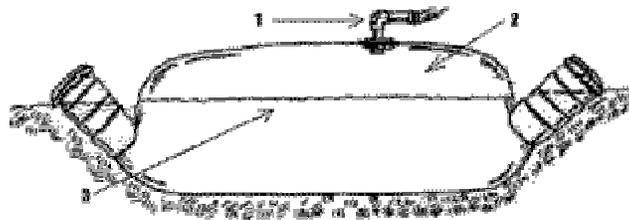


Figura No. 11. Esquema del digestor de polietileno tipo saco

El Gas se acumula en la parte superior de la bolsa, parcialmente llena con biomasa en fermentación; la bolsa se va inflando lentamente con una presión de operación baja, pues no se puede exceder la presión de trabajo de la misma.

Este tipo de digestor es muy económico y fácil de transportar por su bajo peso, en especial en aquellos sitios de difícil acceso. Al ser hermético se reducen las pérdidas, pero por su fragilidad requiere disciplina social de las personas que lo manejan o que están a su alrededor, para evitar que lo dañen con algún objeto corto punzante; también es un inconveniente su corta vida, pues al estar a la intemperie, los rigores del clima lo deterioran en pocos años.

La operación de este digestor es muy eficiente al ser del tipo Tapón (Plug Reactor) y puede ser construido en mampostería con la consiguiente aumento de precio. Según estos principios se desarrolló el modelo Xochilco - México, pero presenta los mismos problemas de hermetización del modelo chino al aumentar la presión en las horas de no utilización del gas.

### **Digestores de Alta Velocidad o Flujo Inducido**

Estos son los utilizados comúnmente en instalaciones industriales o semi industriales. Generalmente trabajan a presión constante, por lo que se podrían catalogar como Digestores Tipo Hindú Modificado.

Se les conoce de ordinario como CSTD (Conventional Stirred Digestor). Se diferencian de los digestores convencionales en que se les ha agregado algún tipo de agitación mecánica, continua o intermitente, que permite al material aún no digerido, entrar en contacto con las bacterias activas y así obtener buena digestión de la materia orgánica, con tiempos de retención hidráulica relativamente cortos, de hasta 15 días.

Además de la ventaja que significa el menor tiempo de operación, existen otras como el evitar la formación de una costra de material dentro del digestor; lograr la dispersión de materiales inhibitorios de la acción metabólica de las

bacterias, impidiendo concentraciones localizadas de material potencialmente tóxico para el sistema; ayudar a la desintegración de partículas grandes en otras más pequeñas, que aumentan el área de contacto y por lo tanto la velocidad de digestión; mantener una temperatura más uniforme de la biomasa dentro del digestor para una reacción y degradación más uniformes; inhibir el asentamiento de partículas biodegradables de mayor tamaño; permitir una más rápida separación y el ascenso del gas a medida que se va formando dentro del digestor; mejorar las condiciones de control y estabilidad de la biomasa dentro del digestor.

### **Digestores de Segunda y Tercera Generación**

Este es un concepto nuevo dentro de la tecnología de fermentación anaeróbica, combina las ventajas de varios tipos de digestores en una sola unidad, facilitando el manejo y procesamiento de material biodegradable de diverso origen y calidad.

Generalmente los desechos de origen animal, excrementos de cualquier clase, son procesados en digestores convencionales de tipo continuo, que periódicamente reciben carga y entregan por desalojo efluente ya digerido. El tiempo de operación continua de estos equipos es bastante largo y requiere un mínimo de atención al momento de cargarlos, como es el evitar introducir elementos extraños tales como arena, piedra, metal, plásticos o cualquier otro tipo de material lento o imposible de digerir. Luego de unos cuatro o cinco años se

debe detener su funcionamiento para hacer una limpieza general y retirar sedimentos indigeridos.

Cuando a un digestor convencional de tipo continuo se introducen indiscriminadamente materiales orgánicos de origen vegetal como pasto u hojas de árbol, sobrantes de cosechas o basuras biodegradables, que tienden a flotar en el agua por su alto contenido celulósico, terminan por atascarlo y parar su operación efectiva en poco tiempo, incluso días, dependiendo de la cantidad de material suministrado.

Para evitar taponamientos, la materia de origen vegetal se procesa en digestores convencionales en tandas o carga única (Batch Digestors) en ciclos de 60 a 80 días, lo que supone que para el suministro de gas y efluente durante un año, se debe disponer mínimo de cuatro unidades con una producción alternada. Estas soluciones representan un alto costo y un gran esfuerzo.

Buscando un tipo de digestor ideal y sin los inconvenientes citados, se llegó al concepto de digestor de Segunda y Tercera generación, siendo los clásicos modelos Hindú o Chino, los de la primera.

Este nuevo modelo de digestor retiene la materia de origen vegetal, que normalmente tiende a flotar, dentro de las zonas de máxima actividad bacteriana como son la inferior y la de sobrenadante intermedia, para que las bacterias tengan tiempo de atacar, hidrolizar y procesar efectivamente el material en

descomposición; al mismo tiempo permite que los gases y el material parcialmente degradado sigan el recorrido del proceso normal dentro del digestor.

El Digestor de Segunda Generación divide al convencional en dos cámaras, una de ellas a un nivel inferior del resto del digestor. Utiliza compartimentos en ferrocemento o mampostería, espaciados adecuadamente para retener los materiales y las partículas sólidas grandes, pero permite el paso del gas y los líquidos. A este modelo se puede adicionar hasta un 25% de carga de origen vegetal sin que se atasque o paralice la operación.

El Digestor de Tercera Generación modifica radicalmente al de tipo Hindú tradicional, aunque sigue los lineamientos de esta escuela. Ha logrado una eficiencia de trabajo en forma continua que permite cargarlo con toda clase de materiales, hasta un 50 o 60% de materia de origen vegetal mezclada con excrementos, empleando una sola unidad que trabaja en forma de digestor continuo.

Opera básicamente en dos niveles. En la parte baja del mismo se construye un túnel o laberinto, que sirve para retener temporalmente todos los materiales que tienden a flotar; con las divisiones internas se divide el laberinto en una serie de cámaras independientes pero comunicadas entre sí de forma continua. Por medio de planos inclinados y ranuras delgadas en las placas de ferrocemento que

conforman el techo del laberinto, se permite el paso del gas y del material ya hidrolizado y degradado.

Los materiales lentamente digeribles, que completan su ciclo de degradación anaeróbica en más de 100 días, pueden hacerlo al tiempo con excrementos que requieren mucho menos tiempo, entre 15 y 20 días.

El digestor de tercera generación es la mezcla de varios digestores en una unidad. El laberinto es típico del sistema de Tapón o Bolsa, con longitudes efectivas de 20 a 30 metros, es el sistema más sencillo y práctico de todos los digestores de tipo convencional; las diferentes cámaras independientes (6 o más según el diseño) brindan las ventajas de los digestores de carga única; al final del recorrido y en la parte superior, se encuentra la última recámara, grande, que equivale al digestor tipo Indú, con su campana flotante, carga por la parte inferior y salida del efluente por rebose en la superior.

Este tipo de digestor en especial, ofrece una doble ventaja económica, ya que por un lado se construye una sola unidad del tamaño adecuado a las necesidades en lugar de varias independientes más pequeñas; y por otro lado se elimina el costo de mano de obra necesaria para estar cargando y descargando periódicamente las unidades de carga única.

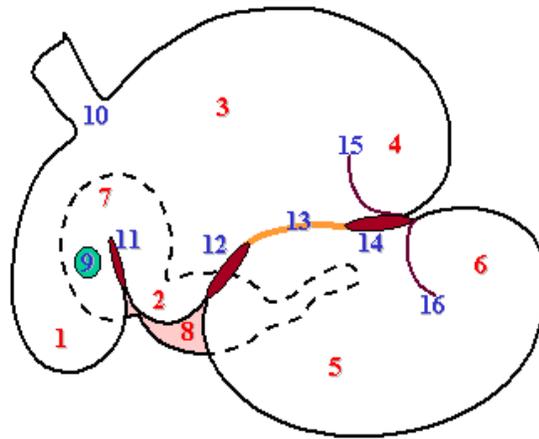
## **RUMEN**

### **Anatomía y Fisiología de los Pre estómagos**

El rumen, retículo y omaso son órganos que anteceden al abomaso (estómago glandular), razón por la que se denominan preestómagos. La capacidad de los rumiantes para aprovechar los carbohidratos fibrosos de la dieta, está sustentada en la función de estas tres estructuras.

Estos órganos se ubican en el lado izquierdo de la cavidad abdominal ocupando casi las 3/4 partes. El rumen es el más grande de los preestómagos, se divide en sacos o compartimientos separados por pilares musculares. El retículo se ubica craneal al rumen y se le une mediante un pliegue. El retículo se conecta al omaso mediante el orificio retículo-omasal. El omaso se localiza al lado derecho del rumen.

Pérez (1990), citado por Zúñiga (2005) menciona que el rumen se caracteriza por tener el tracto digestivo anterior al duodeno dividido en varios departamentos: rumen, retículo, omaso y abomaso. El rumen y el retículo sirven como cavidad de fermentación intermitente, el omaso como cavidad de absorción de aguas nutrientes hidrosolubles y el abomaso como cavidad para la digestión péptica. La figura 12 muestra la relación anatómica de los pre estómagos:



- |                              |                            |                            |
|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1 Retículo                   | 7 Omaso                    | 13 Pilar longitudinal      |
| 2 Rumen (saco craneal)       | 8 Abomaso                  | 14 Pilar caudal            |
| 3 Rumen (saco dorsal)        | 9 Orificio retículo-omasal | 15 Pilar coronario dorsal  |
| 4 Rumen (saco ciego dorsal)  | 10 Cardias                 | 16 Pilar coronario ventral |
| 5 Rumen (saco ventral)       | 11 Pliegue retículo-omasal |                            |
| 6 Rumen (saco ciego ventral) | 12 Pilar craneal           |                            |

Figura No. 12 Relación anatómica de los prestomagos.

El rumen representa el 80 % del estómago y en los bovinos alcanza una capacidad de 100 a 300 litros de agua. La dieta que se suministre al animal determinara que organismos se hallarán presentes y en que proporción. Existen alrededor de  $10^6$  protozoarios /gr y  $10^{10}$  bacterias /gr de contenido rumial. Estos microorganismos viven en simbiosis con el huésped y también entre ellos mismos.

El rumen se considera como una cámara de fermentación en la cual la población microbiana se encuentra en un medio de cultivo.

Annison (1966) citado por Zúñiga (2005) establece que las siguientes condiciones en las que se encuentra el rumen:

- Temperatura de 38 a 42° C.

- Sistema anaerobio muy reductor. Su atmósfera esta compuesta de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>
- La ingestión de alimentos provee regularmente de substrato a los microorganismos.
- Los productos finales del metabolismo de los microorganismos se remueve continuamente, por lo que no se acumulan ni llegan a inhibir la acción enzimática.
- El contenido del rumen se regula por el paso a intervalos de partículas alimenticias de tamaño reducido hacia el omaso, a través del orificio retículo-omasal.
- Para mantener el volumen líquido, el pH, y la composición iónica, los rumiantes secretan gran cantidad de saliva (50-80 litros diarios), la cual es rica en bicarbonatos y otro iones. El principal factor para mantener el pH es la absorción de los ácidos grasos volátiles producidos durante la fermentación.

## **Rumen y biogas**

Carrillo (2003) cita que la combinación del reciclado de residuos animales con el cultivo de abonos verdes pueden proporcionar el nitrógeno necesario para la tierra agrícola. El reciclado puede hacerse mediante digestión anaeróbica, pues el contenido relativo de nitrógeno es mayor en el estiércol digerido que en el fresco. El lodo remanente en el digestor es una alternativa para mejorar los suelos hortícolas (1). Además este proceso permite obtener metano, un combustible gaseoso. La metanogénesis ocurre naturalmente en el rumen de los herbívoros.

El aumento del interés popular para contrarrestar la polución ambiental hace de la digestión anaeróbica el medio conveniente para tratar tanto los efluentes líquidos como los desechos sólidos, además de constituir una fuente alternativa de energía.

## Metanogénesis

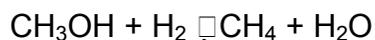
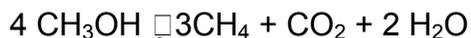
El dióxido de carbono es común en la naturaleza y es un producto importante del metabolismo energético de los organismos quimioorganotróficos. Los procariontes reductores de CO<sub>2</sub> más importantes son los metanógenos, un grupo de arqueobacterias anaeróbicas estrictas que emplean generalmente el H<sub>2</sub> como donante de electrones. Hay por lo menos diez sustratos que se convierten en metano por la acción de uno u otro metanógeno, todos los cuales liberan energía adecuada para la síntesis de ATP, incluyendo formiato, acetato, metanol, metilmercaptano y metilamina.

Se los divide en tres clases:

Substratos del tipo CO<sub>2</sub>



Sustratos con grupo metilo



Substrato de acetotróficas



La conversión de acetato a metano aparece como un proceso ecológico muy importante en digestores de residuos y en medios anóxicos de agua dulce, donde no hay una competencia excesiva por el acetato con otras bacterias. A pesar de que la producción de metano está muy extendida, son pocos los compuestos de carbono que sirven como precursores directos de la metanogénesis. Por lo tanto, es un proceso que depende de la producción de esos compuestos por otros organismos, a partir de la materia orgánica compleja. En muchos ambientes anóxicos los precursores inmediatos del metano son el  $\text{H}_2$  y el  $\text{CO}_2$  que se generan por las actividades de los organismos fermentadores. En el proceso general de producción de metano a partir de la fermentación de un polisacárido, como la celulosa, pueden intervenir hasta cinco grupos fisiológicos de procariontas.

### **Producción de estiércol en México**

El tamaño del animal influye en la cantidad total de alimento que consume, lo cual está en relación directa con la cantidad total de producción de excretas (materia fecal, orina) (cuadro 1). Uno de los problemas que causa el estiércol es cuando está emplazado cerca de un área urbana ya que será necesario transportarlo hasta un lugar en donde pueda ser almacenado o y/o tratarlo. En zonas rurales puede ser utilizado en terrenos para aplicarlo como abono orgánico.

Los afluentes que se originan de todos los desagües pueden ir a lagunas de decantación o estabilización, lo cual implica costos, debido a que se esta haciendo uso de maquinaria como tractores, carros auto transportadores, camionetas, etc. , y estos al consumir energía fósil (combustible), eliminan gases de combustión a la atmósfera (dióxido de carbona y oxido nitroso) que contribuyen al efecto invernadero (Gil, 2002).

Cuadro No. 6 Producción de estiércol por día y por especie.

<b>ESPECIE</b>	<b>NUMERO DE CABEZAS</b>	<b>KG / DÍA</b>	<b>TOTAL KG / DÍA</b>
Bovinos	31,739,000	35	1,110,620,000
Caballos, Asnos y mulas.	21,972,600	30	659,178,000
Cerdos	15,596,700	3.5	54,413,450
Ovinos	4,836,600	2.4	11,607,940
Caprinos	9,150,800	1.6	16,471,446
Aves de Engorda	63,449,300	0.14	18,284,616
Aves de postura	67,103,100	0.14	18,284,616
Guajolotes	9,465,300	0.7	6,675,710
Conejos	1,187,500	0.1	118,750,710
<b>TOTAL 1, 877, 319, 806 KG</b>			

Fuente: Arias 1978, SARH, 1979, citado por Rentería, 1985.

## BIBLIOGRAFÍA

- Capraispana . 2005. Sitio la WEB con dirección en Mafalda Impastato Planelles Avda de la Vega 12 - Alcobendas 28100 – Madrid y en internet:  
<http://www.capraispana.com/curiosidades/biogas/consideraciones.htm>
- Patagon. 2005. Sitio en la WEB con dirección  
[http://www.patagon.8m.com/ENER\\_ALT.html](http://www.patagon.8m.com/ENER_ALT.html)
- Cuadros J. y J. Menacho. 1994. Conferencia Internacional de Población y Desarrollo, El Cairo. Consulta en la WEB.  
<http://www.fespinal.com/espinal/castellano/visua/es84-1.htm>
- En Buenas Manos. com. 2005. Consulta en la WEB con dirección:  
<http://www.enbuenasmanos.com/articulos/muestra.asp?art=243>
- Asociación de Productores de Energías Renovables-APPA. 2005. Consulta en la WEB con dirección: <http://www.appa.es/>
- Asociación danesa de la industria eólica © Copyright 1997-2003 Actualizado el 4 de mayo 2003. Consulta en la WEB con dirección:  
<http://www.windpower.org/es/tour/wres/index.htm>
- Fernández A. E, S. Carrion, M<sup>a</sup> E. Jaen, L. Luque, A. Vizcaino. 2005. Alumnos de 4º ESO del I.E.S. Victoria Kent de Torrejón de Ardoz (Madrid). Consulta en la WEB con dirección:  
<http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Departamentos/DFyQ/energia/e-3/energias.htm>
- Royo. J y F. Sebastián. 2002. La biomasa como fuente de energía renovable, CIRCE, Universidad de Zaragoza, 1 Noviembre 2002. Consulta en la WEB con dirección: <http://www.cps.unizar.es/~isf/html/bigen01.html#secc1>

- Marcano J.E. 2005. Educación Ambiental en la republica dominicana. Glosario de Terminos. Consulta en la WEB con dirección: [http://www.jmarcano.com/glosario/glosario\\_e.html](http://www.jmarcano.com/glosario/glosario_e.html).
- Ambientum.com © Copyright Ambientum 2000; Madrid Paseo del Apeadero, 34, 28290 -Las Matas. Consulta en la WEB con dirección: <http://www.ambientum.com/>
- Panorama Energetico 2005 .Consulta en la WEB con dirección: [http://www.panoramaenergetico.com/energia\\_geotermica.htm](http://www.panoramaenergetico.com/energia_geotermica.htm)
- USHUAIA, TIERRA DEL FUEGO, (Argentina). Visitas desde Julio de 2003 <http://www.alfinal.com/monografias/energiadelmar.shtml>
- German Appropriate Technology Exchange [en línea] no. 112 (octubre 1999). Valencia, España. Disponible en: <http://www.phytoma.com/>[Consulta: 10 de oct. 2002] <http://afexparachicos.tripod.com/biogas.htm> y <http://www.monografias.com/trabajos15/utilizacion-biogas/utilizacion-biogas.shtml#top>
- Glosario de términos ambientales de EcoPortal.net, © 1999-2005 EcoPortal.net. Copyleft: <http://www.ecoport.net/content/view/full/169/offset/1>
- Wikipedia, la enciclopedia libre, modificada por última vez a las 15:06 2 jun, 2005. <http://es.wikipedia.org/wiki/Biogás>.
- CONSUMER.es EROSKI 2005. Consulta en la WEB con dirección: [http://www.consumer.es/accesible/es/medio\\_ambiente/energia\\_y\\_ciencia/2005/04/07/141021.php?from404=1](http://www.consumer.es/accesible/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2005/04/07/141021.php?from404=1).
- Transforma Regulación eléctrica: avances y tendencias; Año 2, número 4. Mayo de 2003. <http://www.cre.gob.mx/publica/transforma/2003/0503.pdf>.

- Escuela de Graduados en Administración y Dirección de Empresas (EGADE). Del ITESM. 2005. Consulta en la WEB con dirección: <http://egade.sistema.itesm.mx/aldia/doce/12-p5.htm>.
- Las energías renovables en México y el mundo 2005. Consulta en la WEB con dirección: <http://www.funtener.org/pdfs/semblanza.pdf>.
- Carrillo L. 2003. Microbiología Agrícola. Capítulo 5. Consulta en la WEB con dirección: <http://www.unsa.edu.ar/matbib/micragri/micagricap5.pdf>
- Bartomeu j, 2005. Ingeniero Agrónomo en especialidad de Medio Ambiente. Consulta en la WEB con dirección: <http://www.telefonica.net/web2/obiogas/quiensoy.htm>.
- Álvarez J. M., L Caneta y C Moyano . 2005. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE, Facultad de Ingeniería, Cátedra: Máquinas Térmicas II Biomasa y Biogás. Consulta en la WEB con dirección: <http://ing.unne.edu.ar/pub/biomasa.pdf>.
- Generación eléctrica no convencional Redacción SicaNews. Consulta en la WEB con dirección: [newsletter@sicaelec.com](mailto:newsletter@sicaelec.com); <http://www.paginadigital.com.ar/articulos/2002rest/2002terc/tecnologia/sica91.html>.
- Manual del biodigestor. daniel bustamante, con ayuda de la asociacion Tamesis Rebel Music y el Banco Agrario de Colombia. 2005. Consulta en la WEB con dirección: <http://www.galeon.com/importaculistas/paginas/biodigestor11.html>

- Instituto Virtual de Investigaciones Geográficas e Información Ambiental; Instituto Virtual Ingefor; Lima – Perú [ingefor@hotmail.com](mailto:ingefor@hotmail.com) Derechos Reservados 2004. Consulta en la WEB con dirección: <http://www.geocities.com/institutoingefor2/cursos/curso01/biogas1.html#1.1>
- Carrillo L. 2003. Microbiología Agrícola. Capítulo 5, Consulta en la WEB con dirección: <http://www.unsa.edu.ar/matbib/micragri/micagricap5.pdf>
- Zúñiga E. J.C. 2004. Producción y utilización de biogas y subproductos del proceso a partir de estiércol de bovino. Proyecto de investigación en proceso. Sección Agrotecnia del Dpto. de Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. México.
- Arias 1978, SARH, 1979, citado por Rentería, 1985. Monografía “Problemática, uso y manejo del estiércol de ganado bovino lechero”.