

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**

**ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**



**Efectos de Agregados al Estiércol de Bovino de Desechos de  
Manzana en la Producción de Biogás .**

**Por:**

**GIL BAUTISTA BAUTISTA**

**TESIS**

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México**

**Enero del 2008**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**

**DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**

**Efectos de Agregados al Estiércol de Bovino de Desechos de  
Manzana en la Producción De Biogás .**

**TESIS**

**Presentado por:**

**GIL BAUTISTA BAUTISTA**

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador, como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Agrónomo en Producción.

Aprobado por:

---

**Dr. Juan Carlos Zúñiga Enríquez**

**Asesor principal**

---

**M.C. Adolfo Ortegón Pérez**

**Asesor**

---

**Dr. Rubén López Cervantes**

**Asesor**

---

**M.C. Roberto Espinosa Zapata**

**Asesor**

Coordinador de la División de Agronomía

---

**Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Enero de 2008

## AGRADECIMIENTOS

### A MI ALMA TERRA MATER UAAAN

Por abrirme las puertas de sus aulas, brindándome felicidad y oportunidad de superación día con día, y a quien debo parte de lo que hoy soy.

Y también a todas aquellas personas que de alguna manera hacen posible la existencia de esta gran institución.

Al Dr. Juan Carlos Zúñiga Enríquez, por su valiosa amistad e incondicional ayuda en la realización del presente trabajo, y por aceptarme en la investigación de este proyecto, con admiración y respeto muchas gracias.

Al M.C. Adolfo Ortega Pérez por su gran ayuda en el asesoramiento en la revisión de la tesis, así como también sus consejos y su gran positivismo sobre el trabajo

Dr. Rubén López Cervantes por su participación en la revisión del presente trabajo

M.C. Roberto Espinosa Zapata por su valiosa participación en la presentación del trabajo de investigación

Al estado de Oaxaca (tierra del sol), a San Miguel Abejones, pueblo de grandes riquezas naturales, culturales y sociales

## DEDICATORIA

Dedico a este trabajo a dios, por el don de la vida principalmente, por guiar siempre mi sendero, y por ser mas a quien le debo la vida.

### A mis padres

**Sra. Hipólita Antonia Bautista Cruz** por ser la mujer que me defiende a capa y espada, me acompaña en mis enfermedades, desvelos y preocupaciones, que le estoy ocasionando desde mi infancia hasta hoy, gracias mama.

**Sr. Hipólito Ambrosio Bautista López** por ser una persona intachable, por luchar incansablemente, privándose de muchas cosas con tal de dármelas a mí. Porque a pesar del tiempo y la distancia siempre han estado ahí cuando mas los he necesitado.

Y no podría faltar a mis abuelitos por el inmenso amor, cariño, cuidado, consejos y palabras de aliento que han brindado, durante mi adolescencia hasta el día de hoy. Especialmente a tí abuelita por quererme tanto, porque te quiero una mama.

### A mis hermanos

Que son mis amigos de toda la vida. Con quienes he compartido la vida, gracias por todo.

A todos mis familiares, tanto como a la **Familia Bautista López, Bautista Cahuich, Bautista Hernández, Cruz Bautista** a todos ellos quienes incondicionalmente me han apoyado en solucionar retos de la vida.

Con todo respeto a todos aquellos compañeros que por diferentes motivos se han quedado en el camino de la superación profesional.

## INDICE DE CONTENIDO

Contenido	Pag.
ÍNDICE DE CUADROS.....	I
ÍNDICE DE FIGURAS .....	II
RESUMEN.....	III
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS E HIPOTESIS.....	4
REVISION DE LITERATURA.....	5
Origen e historia del biogás.....	5
Importancia.....	6
Panorama mundial de biogás.....	8
Como combustible.....	8
Producto químico.....	8
Lodos y líquido.....	9
Biofertilizantes ambiental.....	9
Definición de biogás.....	10
Propiedades físicas.....	10
Principales Componentes del Biogás de Forma General.....	11
Componente Concentración por Volumen. Característica.....	12
Características del Biogás.....	12

Propiedades Físicas Del Metano.....	13
Dióxido De Carbono.....	13
Propiedades Del Dióxido De Carbono.....	14
Acido Sulfhídrico.....	15
Propiedades.....	15
Uso de los Biodigestores en el Mundo.....	15
Definición de Biodigestor.....	16
Papel de los Biodigestores en la Producción de Biogás.....	17
Rentabilidad de un Biodigestor.....	18
Ventajas Medioambientales Y Económicas de los Biodigestores.....	19
Tipos De Biodigestores.....	20
Características de un Biodigestor.....	23
Microorganismos Dentro del Biodigestor.....	23
Importancia de la Fermentación Anaeróbica de la Materia Orgánica.....	24
Etapas de la Fermentación.....	25
Etapa de Solubilización.....	25
Etapa de acidogénesis.....	26
Acetogénesis Y Homoacetogénesis.....	26
Etapa de Metanogénesis.....	27
Beneficios Obtenidos en la Fermentación Anaeróbica.....	28
Factores que Afectan la Producción de Biogás.....	29
Tipo de Sustrato.....	28

Temperatura del Sustrato.....	28
Tiempo de Retención Hidráulico.....	29
Nivel de Acidez (pH).....	30
Agitación.....	31
Agua.....	31
Temperatura.....	31
Productos químicos.....	32
Relación Carbono/Nitrógen.....	31
MATERIALES Y METODOS.....	33
Localización de área de trabajo.....	33
Materiales.....	33
Metodología.....	34
Descripción de tratamientos .....	35
Fabricación de biodigestores y sus tratamientos .....	35
Parámetros a evaluar.....	36
RESULTADOS Y DISCUSION.....	37
Análisis de varianza (ANVA) volumen de biogás cc.....	37
Análisis de varianza (ANVA) temperatura de biodigestor.....	39
Análisis de varianza (ANVA) pH de biodigestor.....	40
Comparación de medias.....	40

Conclusión.....	55
Recomendaciones.....	56
Bibliografía.....	57



## INDICE DE CUADRO

No.		Pag.
1	Comportamiento de la temperatura media de los tres tratamientos en relación al volumen de biogás en el tratamiento 1.....	44
2	Comportamiento de la temperatura media de los tres tratamientos en relación al volumen de biogás en el tratamiento 2.....	46
3	Comportamiento de la temperatura media de los tres tratamientos en relación al volumen de biogás en el tratamiento 3.....	48
4	Comportamiento del pH media de los tres tratamientos en relación al volumen de biogás del tratamiento 1.....	49
5	Comportamiento del pH media de los tres tratamientos en relación al volumen de biogás del tratamiento 2.....	51
6	Comportamiento del pH media de los tres tratamientos en relación al volumen de biogás del tratamiento 3.....	53

## INDICE DE FIGURAS

Numero		Página
1	Comportamiento de los diferentes tratamientos en volumen de biogás en cc.....	41
2	Comportamiento de las temperaturas medias dentro de los biodigestores en los tres tratamientos.....	42
3	Comportamiento de pH media de los tres tratamientos de la mezcla.....	43
4	Comportamiento de volumen en cc del tratamiento 1 VS temperatura media.....	45
5	Comportamiento de volumen en cc del tratamiento 2 VS la temperatura media .....	47
6	Comportamiento de volumen en cc del tratamiento 3 VS temperatura media .....	48
7	Comportamiento de volumen en cc del tratamiento 1 VS Ph media.....	50
8	Comportamiento de volumen en cc del tratamiento 2 VS Ph media .....	52
9	Comportamiento de volumen en cc del tratamiento 3 VS Ph media.....	55

## RESUMEN

La presente investigación se llevo a cabo con el objetivo principal de encontrar el comportamiento de los desechos de la manzana sobre la producción de biogás, el uso de los desechos de la manzana fueron en diferentes dosis, los cuales se encontró una relación estrecha entre los diferentes variables que se midieron, pero cada uno de ellos el comportamiento fueron similares a diferencia del volumen de biogás producido.

Los parámetros evaluados fueron temperatura del exterior del baño (TAB) (ambiente), temperatura interior del biodigestor (TIB), pH de la mezcla del biodigestor (PhB) , y el volumen de biogás producido (VBP). Se utilizó una formula de una elipsoide,  $(3/4 \pi * a * b * c)$  para obtener dicho volumen en cc. El diseño experimental fue un bloques al azar y se utilizó una prueba de comparación de medias DMS ( $p < 0.05\%$ ), para aquellas variables que manifestaron diferencias estadísticas.

Los resultados obtenidos en volumen de producción de biogás no hubo diferencia significativa, sin embargo, analizando estos datos en bloques se tuvo diferencia significativa entre los tratamientos 3 en producción de biogás, igual que en la temperatura de los tres tratamientos, en relación a la variable de temperatura no presenta diferencia significativa entre los tratamientos, mientras que el pH de los mismos presentan diferencia significativa entre los tratamientos.

Sin embargo, desde el punto de vista grafico el tratamiento 3 estiércol-manzana (2) registra una producción 7 veces mayor ( $218,165.2 \text{ cm}^3$ ) que el tratamiento 1, ( $38645.2 \text{ cm}^3$ ). El comportamiento de la temperatura fue similar en los tres tratamientos con una media de  $31.5^\circ \text{ C}$ . Mientras tanto el nivel de pH entre estos tratamientos los desechos de la manzana tuvo efecto positivo a este variable, con la razón que esto bajan hasta los 7.2 y 7.3 respectivamente, comparándolos con el testigo 100% estiércol de bovino con un nivel de pH de 7.5.

## INTRODUCCION

En los últimos años ha crecido a nivel mundial el interés en las fuentes renovables de energía. La desaparición a mediano plazo de los combustibles fósiles (no renovables) ha obligado a gobiernos e instituciones a buscar nuevas fuentes que sirvan como sustitutos de los no renovables y a su vez permitan aplicar adecuadas políticas medioambientales. (werner, 1983).

Uno de los combustibles naturales con mayores potencialidades es el Biogás obtenido como resultado del proceso de descomposición de la materia orgánica. Como elemento fundamental se puede citar que dicho combustible se produce a partir de los desechos sólidos que genera la vida cotidiana, y por lo tanto constituye una alternativa muy viable para obtener energía. (www.Ambientum.com )

La biomasa es uno de los principales combustibles utilizados en México. Cerca del 80% de la energía generada a partir de biomasa proviene de leña, la cual es el principal combustible doméstico en las áreas rurales y segundo después del gas en las áreas urbanas. La producción de leña es principalmente de autoconsumo ya que entre el 80 y el 96% de los consumidores recolectan su propia leña.

Fuente: [http://www.fys.es/fys/cm\\_view\\_tnoticia.asp?id=2002860](http://www.fys.es/fys/cm_view_tnoticia.asp?id=2002860)

El consumo anual de leña se estima en 22 millones de m<sup>3</sup>. En los estados de la región sur, Oaxaca, Guerrero y Chiapas, el consumo es de los más altos del país, el cual es aproximadamente de 91 kg/mes/hab. (Semip energía rural en México).

A pesar de los avances que se han logrado en el país, mediante el uso de digestores para el tratamiento de desechos orgánicos, sometidos a fermentación en ausencia de aire para generar biogás. en México se requiere de un fuerte apoyo en actividades de difusión y divulgación para poder dar a conocer este tipo de energía a mayor escala, de aplicación y uso de esta tecnología, se puede ampliar y puede ser adaptada para la industria rural, como aserraderos en las áreas forestales y para la extracción y transformación de productos primarios; además se puede adecuar en calentamiento de invernaderos, incubadoras y en bodegas de almacenamiento de granos, tratamiento de semillas.

En la actualidad el problema energético ha afectado tanto a países industrializados como aquellos en vías de desarrollo, en los que existe grandes limitaciones para el crecimiento del sector rural

Se hace necesario, entonces, promover la producción de energías renovables y fertilizantes orgánicos, que permitan disminuir costos en la producción agrícola y ganadera. Una opción considerada factible, que ofrece grandes posibilidades en el medio rural, es la digestión anaeróbica de desechos orgánicos, provenientes de actividades pecuarias y agrícolas. Mediante este proceso, es posible obtener bioabonos y energía, en forma de gas metano, solucionando paralelamente el grave problema de contaminación ambiental, generado por desechos y excretas (Lagrange, 1979).

La producción de biogás ha superado los 5,3 millones de toneladas en el año 2006 en la india, representando un aumento del 13,6% con respecto al 2005. Los métodos para establecer su valor varían de acuerdo a los tipos de depósito, calidad y riqueza de metano. (Gronauer, 2000)

El biogás es un producto del metabolismo de bacterias metanogénicas que participan en la descomposición de tejidos orgánicos en ambiente húmedo y carente de oxígeno. El estiércol vacuno y los residuos cítricos se perfilan como una combinación de futuro para obtener biogás, una nueva energía renovable poco conocida hasta ahora.

La manzana como fermentador de acuerdo a esto posee las siguientes propiedades. Se caracteriza por presentar elevado contenido de azúcares solubles, bajo porcentaje de proteína y presencia de diversos compuestos orgánicos tales como ácidos orgánicos, pectinas, ceras y taninos (Manterola, y col., 1999). Los componentes más variables de la pulpa fresca son la materia seca (MS, 14-26%), la fibra cruda (FC, 14-23%) y la proteína cruda (PC, 4-8% base MS), variación influida por el tipo de manzana, su estado de madurez y diferencias en el procesamiento (Hardy, 1992; Manterola y Cerda, 1993). Su baja fracción proteica está principalmente asociada a la cáscara y semilla, por lo que el proceso industrial y la variedad son factores determinantes. Dado el bajo nivel de proteína del recurso, la digestibilidad aparente de la proteína (23-35%) es baja (Givens y Barber, 1987; Oltjen, 1977).

Por lo anteriormente mencionado, es importante determinar al nivel laboratorio con temperatura controlados el cómo se refleja la producción de biogás en diferentes tratamientos de materia orgánica que se está proyectando a lo largo de esta investigación. Por lo tanto, el presente trabajo y como una respuesta a las necesidades de información se han planteado los siguientes objetivos.

## **OJETIVO GENERAL**

Determinar la efectividad de los desechos de manzana como acelerador en la fermentación anaeróbica del estiércol de bovino en la producción de biogás.

## **Objetivos Específicos**

Evaluar el efecto que tienen diferentes dosis de desechos de manzana en la producción de biogás

Determinar el efecto del desecho de la manzana sobre el pH del biodigestor.

Evaluar el efecto de la temperatura en la producción de biogás con la combinación de estiércol de bovino y desechos de manzana.

## **HIPÓTESIS**

El desecho de manzana incrementara la producción de biogás

La manzana tendrá efecto en las condiciones de pH de la mezcla del biodigestor.

La temperatura influye la producción de biogás

## REVISION DE LITERATURA

### Historia Del Biogás

Desde hace siglos, la producción de biogás se viene realizando en países como China y la India (WERNER, 1983). La obtención de biogás se realiza a través de la fermentación anaeróbica, es uno de los procesos biológicos más frecuentes usados por la naturaleza para descomponer los materiales orgánicos. En el se encuentran gases como metano, dióxido de carbono, hidrógeno y trazas de otros gases (pero no amoníaco).

En el año 1776 el científico italiano Volta descubrió que el principal compuesto del gas natural era metano. Cien años después se descubrió el origen microbiológico de la formación de metano. En el año 1887 el científico Hoppe-Seyler pudo comprobar la formación de metano a partir de acetato. La misma observación hizo Omelianski en 1886 con guano de vacas ( estiércol ). En 1888 Gayon obtuvo gas al mezclar guano y agua, a una temperatura de 35°C. Mientras que Soeh ngen descubrió en 1906 la formación de metano a partir de hidrógeno y dióxido de carbono. En 1920 Imhoff puso en práctica el primer biodigestor en Alemania.

Fuente: <http://biocombustibles.blogspot.com/2007/07/biocombustibles-investigacin-trata-de.htm>

En 1808 Humpry Dhabhi produce gas metano (principal componente del biogás) en un laboratorio. Es considerado como el inicio de la investigación en biogás. Desde aquellas fechas hasta en la actualidad se ha avanzado sobre el tema y actualmente se



cuenta en instalaciones que van desde la pequeña escala doméstica hasta las aplicaciones agroindustriales.

Después de la Segunda Guerra Mundial se construyen cerca de 40 biodigestores en china, pero su desarrollo se frenó por los bajos precios de los combustibles fósiles. La siguiente ola de construcción de biodigestores se produjo en los años 70 por la crisis del petróleo. Pero por problemas técnicos, baja producción de gas, alta inversión y por lo tanto baja rentabilidad, este desarrollo se frenó bruscamente a fines de los años 80.

En China, India y Sudáfrica, debido a la escasez de recursos económicos estos construyeron biodigestores desarrollándose de tal manera que en la actualidad estos países cuentan con más de 30 millones funcionando, además desarrollaron técnicas de generación gaseosa a pequeña y gran escala.

La digestión anaeróbica es el proceso por el cual la materia orgánica, en ausencia de oxígeno, se convierte en metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Como resultado, se obtiene biogás y un biosólido estable y de bajo contenido de materia orgánica y patógenos (Metcalf y Eddy, 1995)

### **Importancia de Biogás**

El constante desarrollo industrial en el mundo, la constante necesidad de satisfacer el desarrollo social, y el continuo aprovechamiento de los recursos naturales ponen en riesgo el ambiente y el control de los mismos, es por esto que en el campo energético se debe tomar una nueva conciencia en el aprovechamiento de materiales considerados como impactantes al medio ambiente

La producción de basura en el mundo se ha incrementado considerablemente como consecuencia de la explosión demográfica, el desarrollo económico y el crecimiento de los grandes centros urbanos. El manejo y la disposición de la basura ha alcanzado un punto crítico en el que la disposición final se ha convertido en un asunto prioritario si se quieren respetar los requerimientos ambientales y de salud para la población. (Saldaña Jaime, 2004)

Los diferentes mecanismos biológicos que se dan en la naturaleza, la transformación de la materia orgánica por microorganismos anaeróbicos (fermentación), es la que mayor importancia tiene en el mantenimiento de la vida en el planeta por su contribución al ciclo de carbono.

El metano (principal componente de biogás) es más ligero que el aire, incoloro, inodoro e inflamable, este se produce por medio de un biodigestor aprovechando la fermentación anaeróbica ( proceso natural de la materia orgánica ) utilizando como materia orgánica el estiércol de bovino desechos agroindustriales. (Metcalf y Eddy, 1995)

Para una planta típica con 10000 pollos, se tiene una producción estimada de 1020m<sup>3</sup> de biogás por día (Galindo y Rincón 2003, Pava y Valderrama 2003), que con condiciones no controladas de temperatura interna en los digestores, equivalen aproximadamente a 2244 kWh de energía por día (Galindo y Rincón 2003, Pava y Valderrama 2003).

Un control más riguroso de las condiciones de operación, específicamente la temperatura, podría suministrar mayores valores de capacidad energética disponible,

dado que la producción de biogás puede aumentar con respecto a condiciones de operaciones controladas (Galindo y Rincón 2003, Duque et al 2006).

El principal componente del biogás es el metano también llamado gas de los pantanos, está compuesto por una molécula de carbono y cuatro de hidrogeno unidos por enlaces simples ( CH<sub>4</sub>), es un hidrocarburo, el; primero de la serie de los alcanos lineales. Es más ligero que el aire, cuya combustión se produce fuego de color azul y no contamina; es un gas a temperatura ambiente, tiene un punto de fusión de 182.5° C y con un punto de ebullición de -165.5° C (Fessenden J, R, Fessenden S,J )

### **Panorama Mundial De La Producción De Biogás**

El biogás constituye en el mundo actual una importante fuente alternativa de energía, que cada día toma auge dado el aumento de los precios del petróleo y las campañas ecológicas dirigidas al tratamiento de los residuales que contaminan el medio ambiente. Esta mezcla de gases se obtiene a partir de la descomposición en ambiente anaeróbico (sin oxígeno) de los residuos orgánicos como el estiércol animal o los desechos de los vegetales, por eso es un combustible económico y renovable, que tiene uso industrial y doméstico.

Todos los desechos originados en la producción de biogás son utilizables, los principales son: el combustible, los lodos, líquidos y agentes químicos.

**Como Combustible**, el biogás es eficaz en la cocción de alimentos, para la iluminación, la calefacción para las naves de pollos y cerdos, el funcionamiento de los motores de combustión interna y de cualquier equipo que trabaje con gas, y en la incubación de huevos.( Einecs, 20004)

**Como Agente Químico**, resulta un excelente conservante de granos porque se inundan las cámaras de almacenamiento y los insectos que atacan este alimento no resisten la atmósfera irrespirable que se crea en esos locales.

**Como Lodos Y Líquidos** se emplean en el mejoramiento de los suelos, el control de enfermedades y plagas, en las plantas y en la fertilización foliar.

Igualmente, en la piscicultura fomentan el fitoplancton, sirven de alimento a la fauna acuática y aumentan la crianza de peces.

Se ha demostrado al aplicar los fertilizantes de calidad obtenidos en la producción de biogás, porque disminuyen las poblaciones de insectos e incrementan los rendimientos de algunos tipos de arroz y del trigo.

**Como Biofertilizantes**, los lodos y líquidos, son superiores a los fertilizantes orgánicos que necesitan oxígeno para su descomposición, como la composta, mientras digeridos mejoran las cosechas y los rendimientos de los hongos comestibles y su eficacia está probada como nutriente en la lombricultura.

Estos residuales son ricos en proteínas y constituyen fuente fácil de obtener y económica, ya que en las propias establos, centros de cría de cerdos, pollos y otras instalaciones, pueden montarse los equipos para producir el biogás, y de ese proceso se generan subproductos aprovechables.

El biogás tiene mucha influencia hoy en los países subdesarrollados y en los industrializados aumenta la atención por este combustible para tratar de reducir la dependencia actual del petróleo, cada vez a más altos precios.

A finales del 2005: 2.700 plantas de biogás estaban instaladas en Alemania con una potencia eléctrica total de 650 megavatios

Ensayos realizados por IANIA determinan que con concentraciones de un 30% de restos de naranja y un 70% de estiércol de vacuno la producción de biogás obtenida es muy alta.

Por otro lado, se ha comprobado como la eliminación del flavedo de la naranja (que se encuentra en la parte más externa del cítrico) mejora el rendimiento en biogás. (Departamento de Calidad y Medio Ambiente de AINIA, 2003)

La cantidad de metano producida y excretada por un animal depende principalmente de las características del sistema digestivo del animal y la cantidad y calidad del alimento consumido.

Los gases exhalados por los rumiantes proceden de la respiración y la eructación. La frecuencia de estos eventos es de alrededor de 20 y 0,7 por minuto respectivamente (Ulyatt et al., 1999). Los rumiantes producen diariamente 0,25-0,5 m<sup>3</sup> de metano por animal (Johnson y Johnson, 1995).

En algunos países europeos (Alemania y Holanda), se estima que alrededor del 45 % del total de metano emitido, es procedente de los sistemas de producción animal, mientras que en Estados Unidos, el metano producido por los sistemas pecuarios representa un 6-10 % del total anual de emisiones gas.

### **Definición de Biogás**

1. El biogás es un gas rico en metano que puede ser quemado en motores para la producción de calor y electricidad. [http://www.suntechnics.com/es/bio\\_1bg.htm](http://www.suntechnics.com/es/bio_1bg.htm)
2. 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. <http://www.arsontechnology.com/combutxt.htm>

3. El biogás se produce mediante el proceso de fermentación de la materia orgánica en ausencia de aire, quedando como residuo del proceso un lodo estabilizado que es un excelente mejorador de suelos con un alto valor fertilizante.

<http://mx.msnusers.com/EcoEnergia/biogs.msnw>

El biogás es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos, (bacterias metanogénicas, etc.), y otros factores, en ausencia de aire. Cuando la materia orgánica se descompone en ausencia de oxígeno, actúa este tipo de bacterias, generando biogás (<http://es.wikipedia.org/wiki/Biog%C3%A1s>)

### **Principales Componentes del Biogás de Forma General**

Los principales componentes del BIOGAS son el metano (CH<sub>4</sub>) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Aunque la composición varía de acuerdo a la biomasa utilizada, su composición aproximada se presenta a continuación

Metano	CH <sub>4</sub>	40 – 70 % VOLUMEN
Dióxido de carbón	CO <sub>2</sub>	0 – 60 %
Sulfuro de hidrogeno	S <sub>2</sub> H	0- 3 %
Hidrogeno	H <sub>2</sub>	0 – 1 %

Fuente: [http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN\\_JUAN/712/biomasa\\_y\\_biog%C3%A1s.htm](http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN_JUAN/712/biomasa_y_biog%C3%A1s.htm)

### **Componente Concentración por Volumen. Característica**

De acuerdo a la compañía de Sistemas de Energía Internacional S.A. de C.V. clasifica los componentes de acuerdo a su concentración volumen y características del biogás en México. ( [www.seisa.com.mx](http://www.seisa.com.mx) )

<b>Componentes</b>		<b>características/ volumen</b>
Metano	( CH <sub>4</sub> )	55 % Explosivo
Bióxido de carbono	(CO <sub>2</sub> )	35% Acidez
Hidrógeno	(H <sub>2</sub> )	<5% Explosivo
Oxígeno	(O <sub>2</sub> )	<5% Inocuo
Mercaptanos	(CH <sub>3</sub> S)	1.1% Mal olor
Ácido sulfhídrico	(H <sub>2</sub> S)	<2% Mal olor

Existen otros componentes en cantidades muy pequeñas conocidas como *traza* estos componentes son bencenos, toluenos y bisulfatos

### **Características del Biogás**

El biogás es un poco más liviano que el aire y posee una temperatura de inflamación de alrededor de los 700 ° C (Diesel 350 ° C, gasolina y propano cerca de los 500 ° C). La temperatura de la llama alcanza 870 ° C. A demás está compuesto alrededor de 60 % de metano (CH<sub>4</sub>) y 40% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); y contiene mínima cantidades de otros gases, 1% de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S).

Entre más largo es el tiempo de retención, más alto es el contenido de metano, y con esto el poder calorífico. Con tiempos de retención cortos el contenido de metano puede disminuir hasta en un 50%.

El primer gas de una planta recién cargada contiene muy poco metano, por esa razón el gas producido en los primeros 3 a 5 días se debe dejar escapar sin utilizarlo.

El porcentaje de metano depende del material de fermentación, alcanzando los siguientes valores aproximadamente:

- Estiércol de gallina 60%

- Estiércol de cerdo 67%
- Estiércol de establo 55%
- Pasto 70%
- Desperdicios de cocina 50%

### Propiedades Físicas Del Metano

Formula química	CH <sub>4</sub>
Masa Molecular	16,04 g/mol.
Punto de Ebullición	-161° C
Punto de Fusion	-183° C
Solubilidad en agua	(Ml/100ml a 20° C) 3.3
Densidad relativa del gas	(referencia: aire =1 ): 0.6g/ml
punto de inflamación	Gas inflamable
Temperatura de auto ignición	537° C
Limites de explosividad ( % en volume en el aire	5 – 15

### Dióxido De Carbono

Joseph Black, un físico y químico escocés, descubrió el dióxido de carbono alrededor de 1750. A temperatura ambiental (20-25 °C), el dióxido de carbono es un gas inodoro e incoloro, ligeramente ácido y no inflamable.

El dióxido de carbono es una molécula con la fórmula molecular CO<sub>2</sub>. Esta molécula lineal está formada por un átomo de carbono que está ligado a dos átomos de oxígeno, O = C = O.



A pesar de que el dióxido de carbono existe principalmente en su forma gaseosa, también tiene forma sólida y líquida. Solo puede ser sólido a temperaturas por debajo de los 78 °C. Este se puede encontrar en forma líquida cuando está disuelto en agua.

### Propiedades Del Dióxido De Carbono

El dióxido de carbono posee ciertas propiedades físicas y químicas. A continuación las resumimos en una tabla.

Propiedad	Valor
Masa molecular	44.01
Gravedad específica	1.53 a 21 °C
Densidad crítica	468 kg/m <sup>3</sup>
Concentración en el aire	370,3 * 10 <sup>7</sup> ppm
Estabilidad	Alta
Líquido	Presión < 415.8 kPa
Sólido	Temperatura < -78 °C
Constante de solubilidad de Henry	298.15 mol/ kg * bar
Solubilidad en agua	0.9 vol/vol a 20 °C

Fuente: <http://biocombustibles.blogspot.com/2007/07/biocombustibles-investigacin-trata-de.htm>

### Acido Sulfhídrico

#### Propiedades

En la página web wikipedia (2006), menciona que el ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S (aq)) es un ácido inorgánico, formado por la disolución y disociación en agua del sulfuro de hidrógeno. Es decir que se le llama ácido sulfhídrico cuando se halla disuelto en agua.

Con bases fuertes forma sales, los sulfuros. En estado gaseoso se le conoce con el nombre de sulfuro de hidrógeno. Su punto de ebullición es de 212.86 K.

El ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) es un gas inflamable, incoloro con un olor característico a huevos podridos. Se le conoce comúnmente como “ácido hidrosulfúrico” o “gas de alcantarilla”.

De acuerdo a la pagina web (.atsdr.cdc.gov ) Generalmente se puede detectar el olor a bajas concentraciones en el aire, entre 0.0005 y 0.3 partes por millón (ppm) (0.0005 a 0.3 partes de ácido sulfhídrico en 1 millón de partes de aire). Sin embargo, en altas concentraciones, una persona puede perder la capacidad por olerlo. es liberado principalmente en forma de gas y se dispersa en el aire. Además es soluble en agua esta a su vez forma un ácido débil.

### **Nitrógeno**

De la misma forma la pag. Web wikipedia (2006) menciona que el nitrógeno es un gas no tóxico, incoloro, inodoro e insípido. Puede condensarse en forma de un líquido incoloro que, a su vez, puede comprimirse como un sólido cristalino e incoloro. El nitrógeno aparece en dos formas isotópicas naturales; artificialmente se han obtenido cuatro isótopos radiactivos.

### **Propiedades**

Tiene un punto de fusión de -210,01 °C, un punto de ebullición de -195,79 °C y una densidad de 1,251 g/l a 0 °C y 1 atmósfera de presión. Su masa atómica es 14,007.

### **Uso de los Biodigestores en el Mundo**

Según en la literatura, fue en la India donde se construyó la primera instalación para producir biogás, en fecha cercana al año 1900; a partir de ese momento se ha incrementado el número de biodigestores, y actualmente funcionan en ese país alrededor de doscientas mil unidades. China es hoy la región que tiene un mayor número de este tipo de instalaciones, aproximadamente 6,7 millones, India 1,6 millones ( construidos en los últimos 25 años) Brasil 8,3 mil Europa 1,2 mil EUA 300 unidades.( Lugones, Bárbaro 2006.)

Se conoce que casi tres mil millones de personas en el mundo emplean todavía la leña como fuente de energía para calentar agua y cocinar, lo que provoca, junto a otros efectos, que anualmente se pierdan en el mundo entre 16 y 20 millones de hectáreas de bosques tropicales y zonas arboladas. En respuesta a esta situación surgen varias alternativas para llevar a cabo la cocción de alimentos, que tienen bajo impacto ambiental y su fuente de energía es considerada renovable, una de ellas resulta la producción de biogás a partir de la fermentación de la materia orgánica. ( Lugones, Bárbaro 2006.)

### **Definición de Biodigestor**

Un biodigestor es un contenedor que produce biogás y abono natural a partir de material orgánico, principalmente excrementos (animales y humanos) y desechos vegetales. Se trata de un sistema sencillo y económico que recicla los residuos orgánicos convirtiéndolos en energía y fertilizantes para usos agrícolas, ideal para comunidades rurales y países en vías de desarrollo.( CIPAV 1995 ).

Según el EFM ( Environmental Fabrics de México ) define Un digestor o biodigestor es un contenedor cerrado, hermético e impermeable, dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar.

Biodigestores son maquinas simples que convierten la materia prima en subproductos aprovechable, en este caso gas metano y abono.

(<http://www.efdemexico.com/servicios/biodigestores.html>)

### **Papel de los Biodigestores en la Producción de Biogás**

La aplicación de biodigestión se inició antes del siglo XX cuando el biogás era quemado para dar iluminación en Inglaterra (Brown, 1987). En los años 1930s, se mantuvo un interés creciente en la aplicación de digestión anaeróbica, especialmente en zonas rurales, donde los productos de la digestión (biogás y efluente) pueden convertirse en productos aprovechables para los agricultores. El biogás es una fuente renovable de energía y el efluente (material digerido) tiene una alta concentración de nutrientes, bajo contenido de patógenos y se encuentra prácticamente libre de semillas viables de malezas (Brown, 1987; Marchaim, 1992).

Los biodigestores pueden jugar un papel importante en sistemas de cultivo integrados contribuyendo a la reducción de polución y agregando valor a los excrementos del ganado.

El impacto del biodigestor económico es variable la adopción de la técnica y los resultados exitosos dependen de aspectos como localización (disponibilidad de combustible tradicional) y la manera en la que la tecnología se introduce, adapta y mejora según las condiciones locales y técnicas. Se ha desarrollado para aplicar especialmente en países donde las condiciones socio-económicas facilitan su adopción rápida.

Dentro de los tratamientos de residuos destacan los biodigestores, en los cuales tiene lugar una digestión anaerobia de la materia orgánica, con lo que se logra la estabilización completa del material residual y a su vez, la obtención de un gas combustible, el biogás

Los biodigestores anaerobios son tanques cerrados donde la materia orgánica y el agua residual son transformados por acción de los microorganismos en biogás (gas metano 60%) y bioabono. Es un sistema completamente carente de oxígeno donde la formación de metano ocurre a través de una fermentación que requiere del metabolismo coordinado y combinado de diferentes grupos de microorganismos, principalmente bacterias, que actúan secuencial y simultáneamente. ( McCaskey, 1990

La utilización de estos aparatos ofrecen grandes ventajas para el tratamiento de los desechos orgánicos de las explotaciones agropecuarias, pues además de disminuir la carga contaminante de las mismas, extrae gran parte de la energía contenida en el material sin afectar (o inclusive mejorando) su valor fertilizante y controlando de manera considerable los malos olores.

Al usar los biodigestores se aprovechan los nutrientes contenidos en las excretas, reduciendo la contaminación ambiental, convirtiendo las excretas con contenidos de microorganismos patógenos en residuos útiles y sin riesgos de transmisión de enfermedades ( McCaskey, 1990 )

El método básico de operación consiste en alimentar el digestor con materiales orgánicos y agua, dejándolos un periodo de semana o meses dependiendo en las condiciones ambientales y químicas favorables.

El proceso bioquímico y la acción bacteriana se desarrollan simultáneamente y gradualmente, descomponiendo la materia orgánica hasta producir grandes burbujas que obligan a su salida a la superficie donde se acumule el gas (Verastegui, 1980 ).

### **Rentabilidad de un Biodigestor**

El Biodigestor se puede considerar como un equipo de doble proposito, esto debido a que produce 2 tipos de material, el biogás, y residuos que se pueden utilizar como fertilizantes.

Estudios en Alemania, demuestran que es posible obtener una utilidad de 100 dólares al año por animal.

El contenido de energía de biogás es 21,5 MJ/m<sup>3</sup>, con 60% de metano, esto significaría una producción de energía eléctrica 6,35 kWh/m<sup>3</sup>.

(<http://www.efdemexico.com/servicios/biodigestores.html>)

### **Ventajas Medioambientales Y Económicas De Los Biodigestores**

De acuerdo al (Ruben Espinel, fundador de CIPAV 1995. ) Menciona algunas de las ventajas que se destacan son los siguientes:

- Producen biogás, que puede ser usado como combustible para; cocinar alimentos sin que adquieran un olor o sabor extraño. Al utilizar esta fuente de energía se evita el uso de leña, contribuyendo a la disminución de la deforestación
- Permite aprovechar los excrementos, evitan problemas de contaminación de aguas, malos olores, criaderos de insectos y controlan los microorganismos capaces de generar enfermedades (patógenos)
- Mejora la capacidad de fertilizante del estiércol. El lodo producido en el proceso genera un efluente rico en nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio, que son aprovechados directamente por las plantas.

### **Tipos De Biodigestores**

#### **Biodigestor de flujo continuo**

Los biodigestores de flujo continuo, el biogás es almacenado sobre el fermentador y el material residual es depositado en un estanque abierto para luego ser utiliza-

do como fertilizante. El biodigestor es alimentado regularmente con un cierto volumen, y con un sistema de bombeo se le retira el mismo volumen de material residual ( Gronauer, 2000 ).

Estos tipos de biodigestores se utilizan principalmente para tratamientos de aguas negras en general son plantas muy grandes en las cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación, así como para su control. Por lo tanto, este tipo de plantas son mas bien instalaciones de tipo industrial, donde se genera gran cantidad de Biogás el que a su vez se aprovecha en aplicaciones industriales (Soluciones Prácticas-ITDG /Av. Jorge Chávez 275 Miraflores, Lima, Perú )

### **Principales ventajas**

- ✓ Pueden procesar una gran variedad de materia orgánica
- ✓ La carga puede hacerse a un campo abierto, para que no entorpece la operación del biodigestor
- ✓ Admiten cargas secas, que no adsorban humedad, así como de materiales que flotan en el agua.
- ✓ Su trabajo en ciclos, los hace especialmente aptos para los casos en que la disponibilidad de la materia prima no sea continua, si no periódica.
- ✓ No requiere prácticamente de atención diaria

### **Principales desventajas**

- ✓ La carga requiere un considerable y paciente trabajo
- ✓ La descarga, es una operación trabajosa

### **Biodigestor de Estanque**

En estos tipos poseen dos estanques. En el primero se realiza el proceso fermentativo y la homogenización de los con-fermentadores; el estanque de material residual está herméticamente cerrado y por lo tanto el gas producido en este espacio también es almacenado. ( Gronauer, 2000 ),

### **Biodigestores De Uso Particular O Comunal**

En el caso del biodigestor de uso comunal, tiene por función descomponer los residuos producidos en toda una comunidad. Los productores acumulan en un estanque todos los desechos en conjunto. Para que este sistema sea eficiente, las casas de la comunidad deben estar suficientemente cerca unas de otras, para minimizar las pérdidas de temperatura durante el transporte del agua caliente.

#### **De lote:**

Son los que se cargan de una sola vez en forma total y la descarga se efectúa una vez que han dejado de producir gas combustible.

#### **Horizontales o de Desplazamiento:**

Generalmente se construyen enterrados, son poco profundos y alargados semejando un canal. Utilizan el sistema de operación semi-continuo, entrando la carga por un lado y saliendo los lodos por el otro extremo.

#### **Biodigestores Discontinuos**

Este tipo de digestor se carga una sola vez en forma total y la descarga se efectúa una vez que ha dejado de producir gas combustible. Normalmente consiste en tanques



herméticos con una salida de gas conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás. (Soluciones Practicas-ITDG /Av. 2003)

Este es el tipo de sistema mas utilizado en el medio rural, cuando se trata de sistemas pequeños para uso domestico. (<http://biogas.freeservers.com/photo2.html> )

### **Ventajas**

- ✓ Permiten controlar la digestión con el grado de precisión que se requiera.
- ✓ Permite corregir cualquier anomalía que se presente en el proceso en cuanto es detectada.
- ✓ Permite manejar las variables relacionadas, carga especifica, tiempo de retención y temperatura.
- ✓ Solo en periodos prolongados, exigen ser vaciados y limpiados. estos orden son de 10 años
- ✓ Las operaciones de carga y descarga, de material a procesar y procesados, no requieren de ninguna operación especial.

### **Desventajas**

- ✓ La baja concentración de sólidos que se admiten.
- ✓ No posee un diseño apropiado para tratar materiales fibrosos, o aquellos cuyo peso especifico sea menor que el del agua.
- ✓ Problemas de limpieza de sedimentos, espumas e incrustaciones.
- ✓ Alto consumo de agua, por lo que el agregado del liquido se reduce.

### **Digestor Semicontinuo**

Es el tipo de digestor más usado en el medio rural, cuando se trata de digestores pequeños para uso doméstico. Los diseños más populares son el hindú y el chino.

Entre los de tipo hindú existen varios diseños, pero en general son verticales y enterrados. Se cargan por gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación. (soluciones practicas-ITDG, 2003)

### **Tipo Indú:**

Desarrollado a mitad del siglo XX (basado en experiencias de alemanes y franceses durante la Segunda Guerra)

- Opera a presión constante
- Gasómetro incorporado
- Objetivo: energético

### **Tipo Chino**

Más de cinco millones de estos tipos biodigestores se han construido en China y ha estado funcionando correctamente (FAO, 1992) pero, la tecnología no ha sido tan popular fuera de China.

Algunas características

- Basado en experiencias Indúes
- Opera con presión variable
- No tiene gasómetro
- Objetivo: sanitario y ambiental

### **Características de un Biodigestor**

De acuerdo a Hernández A. (1994) Para que un Biodigestor opere en forma correcta, deberá reunir las siguientes características:

- a) Debe ser hermético con el fin de evitar la entrada de aire, el que interfiere con el proceso, y fugas del Biogás producido.
- b) Debe estar térmicamente aislado para evitar cambios bruscos de temperaturas lo que usualmente se consigue construyéndolos enterrados.
- c) El contenedor primario de gas debe contar con una válvula de seguridad.
- d) Deber contar con medios para efectuar la carga y la descarga del sistema
- e) Los digestores deben tener acceso para mantenimientos.
- f) Contar con un medio de romper natas que se forman.

### **Microorganismos Dentro del Biodigestor**

Las bacterias son muy pequeñas, entre 1 y 10 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) de longitud, y son muy variables en cuanto al modo de obtener la energía y el alimento. Están en casi todos los ambientes: en el aire, el suelo y el agua. Algunas se encuentran en muchos alimentos y otras viven en simbiosis con plantas, animales y otros seres vivos. Un agente común de descomposición es el calor, que puede descomponer tanto los compuestos inorgánicos como los orgánicos. (Soluciones prácticas, Jorge Chavez. 2004 )

### **Importancia de la Fermentación Anaeróbica de la Materia Orgánica**

Durante la bioconversión de materiales orgánicos a metano las distintas etapas tienen distinta velocidad de degradación de la celulosa ocurre en semanas, la de las hemicelulosas y proteínas en días y la de las moléculas pequeñas, como azúcares, ácidos grasos y alcoholes, en horas, pero la lignina no es degradada en la mayoría de los sistemas de digestión anaeróbica.

Los materiales insolubles, tales como papel, paja y otros lignocelulósicos, pueden requerir un tratamiento de días (o aún años en ciertos rellenos sanitarios) mientras que puede lograrse hasta una reducción del 95% con una carga diaria de 20 kg / m<sup>3</sup> de digester cuando el residuo es soluble. (Evaluaciones críticas y diferenciadas: biofuelwatch [www.biofuelwatch.org.uk/index.php](http://www.biofuelwatch.org.uk/index.php). 2006)

Los materiales de fermentación están compuestos en su mayor parte por carbono (C) y nitrógeno (N). Si el contenido de este último es muy alto, la reproducción de las bacterias se inhibe debido a la alta alcalinidad. Los porcentajes más favorables de sólidos totales en el medio de fermentación interior deben estar entre 5 y 10%, ya que valores de 15% en adelante tienden a inhibir el proceso.

La fermentación seca representa un interesante aporte a la producción de biogás, frente a los procesos por vía húmeda, por la nueva posibilidad de uso de algunos sustratos biológicos. La rentabilidad de las plantas depende, como en los procesos de vía húmeda, de marcos legales específicos. Por lo general, en la fermentación seca de biomasa suelen ser las plantas grandes más rentables que las pequeñas. (<http://reports.eea.europa.eu/>)

### **Etapas de la Fermentación**

Etapas de la fermentación anaeróbica: La digestión anaeróbica de la materia orgánica es un proceso bioquímico complejo que se desarrolla en tres etapas, La materia orgánica está constituida por moléculas cuyo principal constituyente es el carbono, asociado a otros elementos, principalmente Nitrógeno, Hidrógeno y Oxígeno. ([www.solucionespracticas.org.pe](http://www.solucionespracticas.org.pe))

#### **Etapa de Solubilización:**

En esta etapa la materia orgánica es hidrolizada por la acción de enzimas producidas por bacterias hidrolíticas, facultativas, transformándose en compuestos sim-

ples y solubles tales como: aminoácidos, glicéridos, pépticos y azúcares.  
([www.solucionespracticadas.org.pe](http://www.solucionespracticadas.org.pe))

### **Etapa de acidogénesis:**

En esta etapa los compuestos simples solubles de la primera etapa sufren un proceso de fermentación por ácido bacterias que los convierten en ácidos simples de cadena corta. Estas bacterias formadoras de ácidos, llamadas acidogénicas son también facultativas, es decir viven tanto en presencia como ausencia de oxígeno.

En esta etapa las bacterias no metanogénicas actúan sobre los componentes orgánicos del sustrato, tales como celulosa, almidones, proteínas y grasas entre otras, transformándolos por hidrólisis en compuestos orgánicos solubles. De esta forma los carbohidratos se convierten en azúcares simples; las grasas, en ácidos grasos y glicerol y las proteínas se desdoblan en polipéptidos y aminoácidos, liberando también CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>. Posteriormente, esos productos son convertidos a ácidos orgánicos, fundamentalmente butírico, propiónico y acético.

- ✓ Reproducción es muy rápida
- ✓ Pocos sensibles a los cambios de acidez y temperatura
- ✓ Principales metabolitos, ácidos orgánicos

Fuente: ([http://reports.eea.europa.eu/eea\\_report\\_2006\\_7/en.](http://reports.eea.europa.eu/eea_report_2006_7/en.))

### **Acetogénesis Y Homoacetogénesis.**

En la homoacetogénesis ocurre igualmente la formación de acetato, pero autotróficamente, a partir de hidrógeno y dióxido de carbono. El papel que desempeñan estos microorganismos dentro de los sistemas anaerobios no está bien dilucidado. Sin embargo, su presencia evita que se pierda H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> durante el crecimiento sobre com-

puestos multicarbonados, lo que implica eficiencia termodinámica.  
([www.biofuelwatch.org.uk/index.php](http://www.biofuelwatch.org.uk/index.php))

### **Etapas de Metanogénesis:**

En esta etapa los ácidos orgánicos simples, devienen en substratos para la descomposición, estabilización y producción de metano mediante la producción de bacterias metanogénicas, estrictamente anaeróbicas, las cuales producen CH<sub>4</sub> por dos vías: fermentación de ácido acético y reducción de CO<sub>2</sub> por hidrógeno nascente.

La acción de las metanobacterias en la tercera etapa es el factor clave para el desarrollo de la fermentación anaeróbica de las bacterias, pues estos microorganismos son muy sensibles a los cambios bruscos de temperatura, viven solo en un rango muy estrecho de pH (6.6- 8.0). Además son sensibles a la toxicidad de ciertos materiales reduciéndose o hasta paralizándose la digestión.

([www.iea.org/textbase/work/2005/Biofuels/](http://www.iea.org/textbase/work/2005/Biofuels/))

Las metanobacterias autotróficas convierten el CO<sub>2</sub> en material celular a través de la vía del acetyl-CoA utilizada también por las bacterias homoacetogénicas y las reductoras de sulfato, pero a diferencia de estas últimas los metanógenos integran las vías biosintética y bioenergética porque comparten intermediarios comunes. Las reacciones de la vía del acetyl-CoA también están estrechamente relacionadas con la producción de metano a partir de compuestos de metilo o acetato ([www.jatropha.com](http://www.jatropha.com)).

Bacterias anaerobicas estrictas ( no pueden vivir en presencia de oxígeno )

- ✓ Reproducción es lenta ( baja tasa reproductiva )
- ✓ Muy sensible a los cambios de acidez y temperatura
- ✓ Principales productos finales metano y dióxido de carbono.

## **Beneficios Obtenidos en la Fermentación Anaeróbica**

1. Se aumenta la cantidad de Nitrogeno, Fósforo y Potasio y se producen micronutrientes para el suelo;
2. Se eliminan los malos olores, moscas y parásitos y disminuye las malezas en los cultivos;
3. Mejora la capacidad de retención de humedad y desenvolvimiento de microorganismos en el suelo;
4. Se homogeniza el biofertilizante facilitando la mezcla, pulverización y distribución en cultivos y pasturas.
5. Permite aprovechar los remanentes de los animales y evita problemas de contaminación de aguas, malos olores y proliferación de moscas.

Fuente (Giannina Solari. 2004 )

## **Factores que Afectan la Producción de Biogás**

Entre los factores más importantes a tenerse en cuenta se desarrollarán los siguientes:

### **Tipo de Sustrato**

La materia orgánica constituye el sustrato fundamental para la producción de biogás. El material de fermentación puede ser de origen animal, tales como estiércol del ganado vacuno, cerdos, ovejas, caballos, aves y otras de origen vegetal, tales como pulpa de café, hojas de papa, desechos de banana, remolachas, cascarilla de arroz

y otras; de origen doméstico, aguas residuales de letrina y cocina, sin contenido de jabón.

De acuerdo a los textos científicos cualquier tipo de sustrato o materia orgánica dependen del proceso microbiológico ya que el sistema no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores).

### **Temperatura del Sustrato**

La actividad biológica depende de la producción de gas aumenta con la temperatura. Al mismo tiempo se deberá tener en cuenta que al no generar calor el proceso la temperatura deberá ser lograda y mantenida mediante energía exterior. El cuidado en el mantenimiento también debe extremarse a medida que aumentamos la temperatura, dada la mayor sensibilidad que presentan las bacterias termofílicas a las pequeñas variaciones térmicas.

La temperatura realmente no afecta la producción absoluta de gas que realmente es dependiente de las características del sustrato. A medida que aumenta la temperatura también aumenta la actividad metabólica de las bacterias, requiriéndose menor tiempo de retención para que se complete el proceso de fermentación. Si el tiempo de retención es demasiado corto, las bacterias son desalojadas del biodigestor más rápido de lo que pueden reproducirse, deteniéndose así el proceso

### **Tiempo de Retención Hidráulico**

Las bacterias requieren de un cierto tiempo para degradar la materia orgánica. La velocidad de degradación depende en gran parte de la temperatura, ya que a mayo-



res temperaturas el tiempo de gas de producción de retención requerido para obtener una buena producción de gas es menor

### **Nivel de Acidez (pH)**

Una vez estabilizado el proceso fermentativo el pH se mantiene en valores que oscilan entre 7 y 8,5. Debido a los efectos buffer que producen los compuestos bicarbonato-dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$  - $\text{HCO}_3^-$ ) y Amonio -Amoníaco ( $\text{NH}_4^+$  - $\text{NH}_3$ ) el proceso en sí mismo tiene capacidad de regular diferencias en el pH del material de entrada.

De acuerdo a soluciones prácticas (2004) Con un pH entre 6,6 y 7,6 la digestión funciona, estando el óptimo entre 7 y 7,2.

El nivel de pH tiene un efecto en muchas fases del proceso de tratamiento de las aguas y afecta a la formación de costras de las fuentes de agua. El nivel de pH se puede determinar con varios métodos de análisis, tales como indicadores del color, pH-papel o pH-metros.

La acidez se mide con un medidor de PH o con cintas de colores que indican acidez y alcalinidad. Si el agua entra muy acida puede matar las bacterias. El agua normal debe tener acidez neutra que es 7 grados. El agua contaminada del café es entre 1 y 3.5 por ello se le añade el hidróxido de sodio para estabilizarla un poco y que la bacteria pueda asimilarla, una vez el agua en las lagunas se puede añadir cal o ceniza para bajar la acidez.

([http://vinculando.org/mercado/sistema\\_de\\_biogas\\_utilizacion\\_de\\_subproductos\\_del\\_cafe.html](http://vinculando.org/mercado/sistema_de_biogas_utilizacion_de_subproductos_del_cafe.html))

### **Agitación.**

La generación del biogás depende además del íntimo contacto entre bacterias, la materia prima en degradación y los compuestos intermediarios, producto de las diferentes etapas del proceso fermentativo. En consecuencia, la agitación de la masa en digestión es sumamente beneficiosa para el buen funcionamiento del proceso. Con biodigestores operando en el nivel mesofílico se requiere una leve agitación, siendo suficiente un movimiento intermitente realizado con algún elemento mecánico.

### **Agua.**

La presencia de agua es un factor necesario para la producción de biogás. Si falta el agua, la producción de biogás disminuye rápidamente y hasta se suspende, como puede ocurrir en los desiertos; pero lo contrario no es cierto, o sea, que un aumento de la cantidad de agua no influye significativamente sobre la producción de biogás.

### **Temperatura**

Al interior del cuerpo del biodigestor influye muy significativamente en la velocidad de degradación del material orgánico y en la producción de biogás. A mayor temperatura es más alta la tasa de producción y la cantidad de biogás que se produce.

Para que las bacterias formadoras de metano trabajen en forma óptima, se requiere mantenerlas a temperaturas que oscilen entre 30 y 60 °C dependiendo del tipo de bacterias que se adapten y desarrollen. Para el desarrollo óptimo del proceso, se distinguen tres rangos de temperatura, el rango Psicofílico entre 10 y 20 °C, el mesofílico de 30 a 40 °C y el termofílico de 55 a 60 °C. ([www.solucionespracticas.org.pe](http://www.solucionespracticas.org.pe))

### **Productos químicos.**

La mezcla de desechos industriales puede limitar o a veces aumentar la velocidad de producción de biogás; en efecto, la presencia de ácidos o bases, de metales o de desechos tóxicos, puede disminuir o suprimir parcialmente la producción. Al contrario, la presencia de lodos orgánicos provenientes de las PTAR, puede acelerar la producción.

### **Relación Carbono/Nitrógeno**

De acuerdo ( [www.solucionespracticas.org.pe](http://www.solucionespracticas.org.pe), 2004 ) El carbono y el nitrógeno son las fuentes principales de alimentación de las bacterias formadoras de metano; el carbono es la fuente de energía y el nitrógeno contribuye a la formación de nuevas células. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación óptima de estos dos elementos en la materia prima es de 30:1.

## MATERIALES Y METODOS

### Localización del Área de Estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en el periodo de 20 diciembre de 2007 al 4 de enero de 2008 en el laboratorio de biogás, sección Agrotecnia del departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, en la región sureste del estado y geográficamente se encuentra situada a 25° 23´ latitud norte y 101° 00´ longitud oeste a una altitud de 1743 msnm. De acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificado por García (1973). El clima es de tipo BS<sub>1</sub>KX<sup>1</sup>, que corresponde a un clima seco, semi-seco, templado, con lluvias escasas todo el año, con 1% de precipitación invernal mayor de 18% con respecto al total anual y verano cálido. La temperatura media anual es de 17.1°C, con una precipitación anual de 450 mm y la evaporación media anual es de 1956 mm. la cual es siempre mayor que la precipitación media anual (Valdés, 1985)

### Materiales

- 9 botes de plástico con capacidad de 19 litros.
- 9 tapas para los botes.
- 3 calentadores y/o Resistencia eléctricos para agua
- Silicón para el sellado de las tapas y fugas que pudieran presentarse
- 1 programador de tiempo (timer)
- Bolsas de lona para la recolección de biogás
- Termómetros
- Estiércol de bovino seco y cribado.

- Manzana deteriorada.
- Agua potable sin cloro
- Agua destilada
- Potenciómetro
- Vasos de precipitado
- Balanza analítica.
- Potenciómetro para la toma de pH, marca Orión.

## **METODOLOGIA**

### **Diseño estadístico**

El diseño estadístico que se utilizó para el establecimiento del experimento fue del bloques al azar, con tres tratamientos y tres repeticiones.

Descripción del modelo estadístico utilizado:  $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_{ij} + E_{ij}$  donde:

$Y_{ij}$  = es la variable en estudio, o bien es, la  $j$ '-ésima observación del  $i$ -ésimo tratamiento.

$\mu$  = es la media general

$\tau_i$  = efecto del  $i$ -ésimo bloque tratamiento,  $i = 1, 2, 3$  (tratamiento)

$\beta_{ij}$  = efecto del  $j$ -ésimo bloque,  $j = 1, 2, 3$  (bloques)

$E_{ij}$  = es el error experimental en la  $j$ -ésima medición del  $i$ -ésimo tratamiento

$E_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$  = error experimental se distribuye normalmente independientemente con media cero y varianza  $\sigma^2$  (Cepeda, 2006)

### **Descripción de los tratamientos**

El trabajo consta de 3 tratamientos con 3 repeticiones cada uno, dichos tratamientos se describen de la siguiente forma.

Cuadro 3.1 Descripción de los tratamientos utilizados en el experimento

<b>Tratamientos</b>	<b>Productos</b>
1	Estiércol 100%
2	Estiércol/manzana 1
3	Estiércol/manzana 2

### **Fabricación de biodigestores y sus tratamientos.**

Se colocaron botes de plástico de 19 lts realizando una mezcla del estiércol de bovino con el agua y manzana a una relación 1.5:10, esto se realizó el 20 de diciembre del 2007 en las instalaciones del laboratorio del biogás donde se establecieron 3 tratamientos con 3 repeticiones cada uno, dando como resultado 9 unidades experimentales

Al realizar la mezcla entre estos tres elementos agua, estiércol, y manzana se tomó el pH de agua de los 3 tratamientos lo cual fueron los siguientes pH agua (8.3) tratamiento 2 (9.5) tratamiento 3 (9.5) estos tres se sometieron a los baños tina con una temperatura de  $+_{35}^{\circ}$  C Esto es con el fin de obtener un ambiente adecuado para que las

bacterias empezaran a ocuparse del proceso de fermentación. Las lecturas de los parámetros a evaluar cada uno se empezaron a tomar de 24 Hrs aproximadamente durante 15 días en todos los tratamientos.

### **Parámetros A Evaluar**

**Temperatura del agua de recipiente:** se tomo la lectura cada 24 hrs durante 14 días en °C esto con el fin conocer el funcionamiento del sistema de calefacción dentro de la tina.

**Temperatura interior del biodigestor.** De la misma forma se tomaron lecturas en el mismo periodo anterior en °F dentro del biodigestor, esto con la finalidad de conocer el ambiente interior del sistema ya que de este depende la producción de biogás.

**pH de la mezcla:** Esta lectura se observa durante 15 días por cada 24 hras.

**Volumen en producción de biogás.** Se realizaron mediciones de las bolsas captadoras de biogás esto con la finalidad de determinar el volumen que se produce cada unos de las repeticiones. ( $\frac{3}{4} \pi * a * b * c$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSION

Se debe señalar, que este proyecto se realizo en la época más crítica del año en donde se presentan temperaturas bajas (diciembre- enero ) lo cual nos llevo a resultados que fueron afectados por el ambiente en donde se desarrollo dicho proyecto. Además durante el proceso de toma de datos fue afectado por la temperatura ambiente ; que es uno de los factores que tiene un efecto adversa en el sistema de fermentación anaeróbica, además actúa de forma negativa a los microorganismos del proceso fermentativo de las bacterias metanogénicas, al mismo tiempo en las acidogénicas.

Otro, de los puntos que es preciso dar a conocer es, en relación al volumen de biogás producido durante esta investigación, los datos que se presentara serán aproximada, ya que no se cuento con el aparato necesario para precisar en la toma de datos en proporción y la cantidad exacta, por lo que se tuvo que utilizar otras herramientas para realizar la aproximación de este parámetro.

## ANALISIS DE VARIANZA

### ANVA para producción de biogás en litros

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
TRATAMIENTOS	2	15.866653	7.933327	3.4059 ns	0.137
BLOQUES	2	59.865128	29.932564	12.8507*	0.020
ERROR	4	9.317032	2.329258		
TOTAL	8	85.048813			

NS= no significativo \* = significativo GL= grados de libertad



C.V. = 29.37%

El ANVA para producción de biogás no presenta diferencia significativa entre tratamientos y se tiene una coeficiente de variación alto. Estos dos factores están enmarcando las diferencias en los tratamientos.

El orden de los tratamientos por volumen de producción de biogás son: El número 3 con una producción total de 218,165.2  $\text{cm}^3$  con una producción por día de 14544.35  $\text{cm}^3$ .

El segundo mejor tratamiento fue el. 2, el cual inicio a producir gas en el segundo día del establecimiento del experimento en donde se obtiene un volumen total de 127,589.4  $\text{cm}^3$  en un periodo de 15 días, obteniendo una producción diaria de 8505.96  $\text{cm}^3$ , en donde se realizo la mezcla de los mismas cantidades pero a diferencia de 100 gr. de manzana como acelerador de la fermentación de la materia orgánica.

El más bajo en el tratamiento se registro en el tratamiento 1 testigo con una producción total de 38645.2  $\text{cm}^3$ , en un periodo de 15 días, con un volumen promedio por día de 2576,36  $\text{cm}^3$ . Con la misma cantidad de materia orgánica, la producción se inicio al cuarto día del establecimiento del experimento.

De acuerdo al ANVA realizado refleja que los tratamientos son estadísticamente iguales, con una C.V de 1.84 %. Este parámetro tiene un comportamiento similar en los diferentes tratamientos. Significa que el experimento se manejo de una forma adecuada y los datos obtenidos son confiables,

## ANALISIS DE VARIANZA

### ANVA de la temperatura

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
TRATAMIENTOS	2	1.007813	0.503906	1.5210 NS	0.323
BLOQUES	2	11.727539	5.863770	17.6993 **	0.012
ERROR	4	1.325195	0.331299		
TOTAL	8	14.060547			

NS= no significativo \* significativo \*\* altamente significativo

C.V. = 1.84%

De la misma forma que la variable anterior mencionada, este parámetro estadísticamente no se encontró diferencia entre los tratamientos pero en bloques hay diferencia altamente significativa.

Este variable es uno de los factores quizás el más importante a considerar durante el proceso en producción de gas metano. Actúa directamente en los demás variables que se encuentran dentro de la mezcla del biodigestor, además tiene un efecto directo en la fermentación anaeróbica en sus diferentes etapas, sin embargo, refleja directamente al funcionamiento de los microorganismos y en consecuencia el volumen de gas producido.

Se observa que en el ANVA(\*\*) el factor pH es altamente significativo, obteniendo como resultado una diferencia entre los tratamientos con una C.V.=0.4al realizar la prueba de DMS al 0.05% establece una diferencia entre tratamientos, donde el tra-

tamiento 1 tiene el grado más alto en pH, a diferencia del tratamiento 3 con un pH es mas bajo.

### ANVA DEL NIVEL DE PH

### ANALISIS DE VARIANZA

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	2	0.108948	0.054474	49.9301**	0.003
BLOQUES	2	0.028931	0.014465	13.2587**	0.019
ERROR	4	0.004364	0.001091		
TOTAL	8	0.142242			

NS= No significativo \* = significativo \*\* (Altamente significativo)

C.V. = 0.45%

### Nivel de significancia de 05

### TABLA DE MEDIAS

Tratamientos	Medias
1	7.5000 A
2	7.333B
3	7.2333 C

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

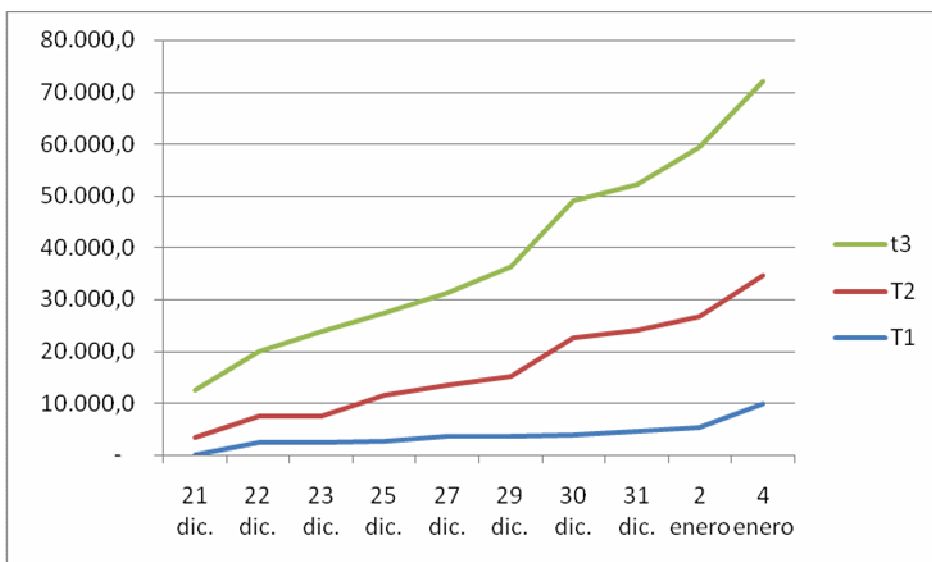
DMS = 0.0749

Esta prueba refleja claramente que el tratamiento No 1 presenta un alto nivel de pH de 7.5, en comparación al tratamiento No. 3 en donde refleja un grado de pH más bajo de 7.20. La diferencia que podemos notar entre tratamiento es de 0.20 respectivamente.

Estos resultados muestran la importancia que tuvo la manzana sobre el nivel del pH en cada uno de los tratamientos. Cabe señalar que estos resultados están dentro del rango recomendados por diferentes autores, mencionando algunos de ellos; Mejía (2005) menciona que el rango de pH óptimo 6.6- 7.6. En soluciones prácticas pone en disposición que en un rango muy estrecho de pH de 6.6 – 8.0 los microorganismos se comportan en forma adecuada.

Además es necesario considerar que durante el proceso de este experimento se presentaron temperaturas críticas de 2º C hasta los – 2º C. esto repercute de una forma inversamente en la toma de lecturas

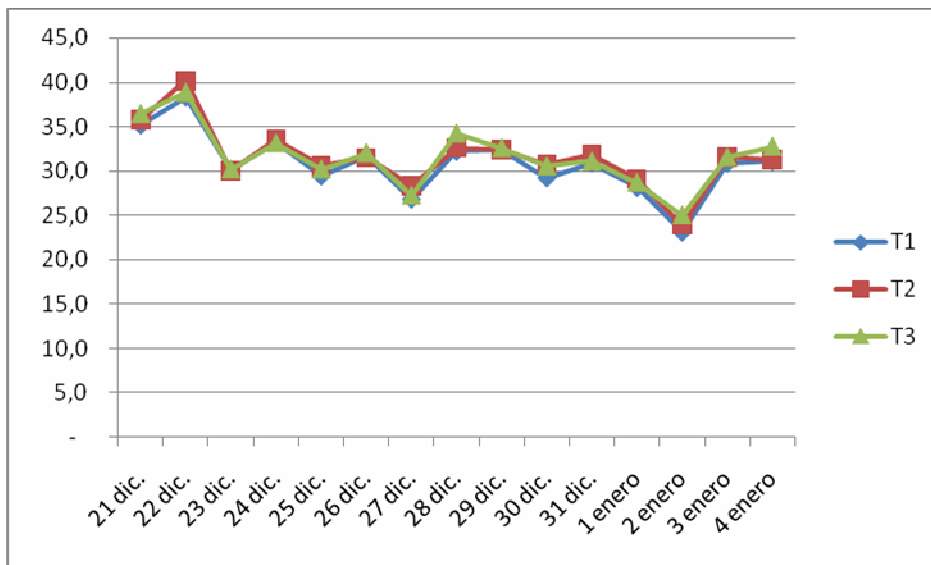
**Grafica 1. Comportamiento de los diferentes tratamientos en volumen de biogás en cc.**



T1= Materia Organica    T2 = Materia Organica/ manzana    T3 = Materia Organica/ manzana

De acuerdo a la grafica 1 se puede observar el comportamiento de los tres tratamien-  
tos en volumen cc, el tratamiento No. 3 la producción fue en un nivel más alto a dife-  
rencia del tratamiento 1 y 2, esto donde el tratamiento tres tiene una producción 7 ve-  
ces mayor que el tratamiento 1, y relación al tratamiento 2 tiene una producción de tres  
veces mayor ( 127,589.4 cc).

**Grafica 2 Comportamiento de las temperaturas medias dentro de los biodigesto-  
res en los tres tratamientos**

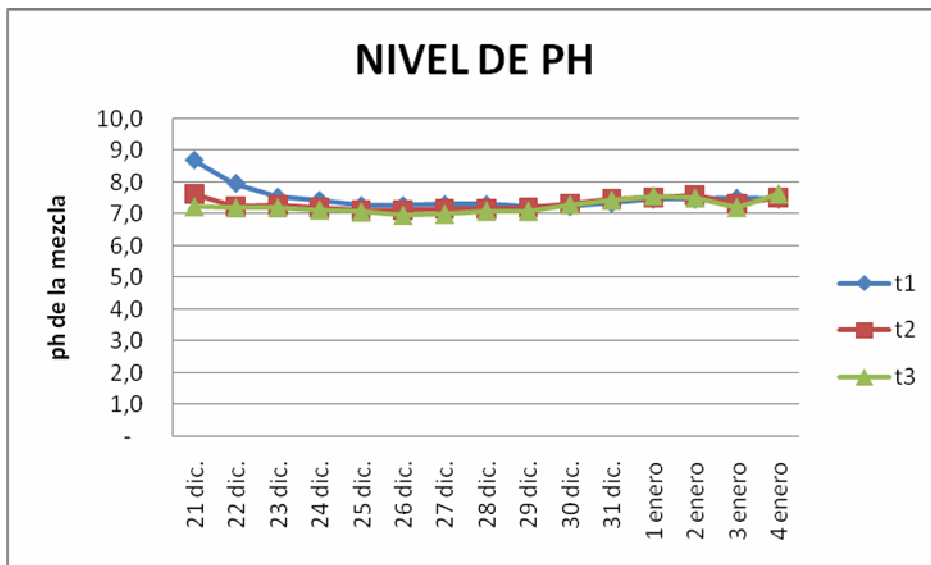


T1= Materia Orgánica      T2 = Materia Orgánica/ manzana      T3 = Materia Orgánica/ manzana

De acuerdo a la grafica No. 2 muestra el comportamiento de la temperatura en los tres  
tratamientos fueron similares, también estadísticamente, pero los tres niveles están  
dentro del rango recomendados por diferentes autores. Los cambios bruscos de tem-  
peratura las bacterias metanogénicas pueden paralizar su funcionamiento, ya que son  
muy sensibles en estos cambios. Mientras que las bacterias ácido génicas aun pueden  
soportar temperaturas más extremas que las anteriores, porque pueden vivir con/sin  
oxígeno pueden vivir a bajas temperaturas.

Como se puede considerar que la mayor eficiencia en la digestión de la materia orgánica con una conversión entre los 30° C a los 40° C mesofilos y entre los 55° C a 60° C termofilicos. (Revista terra volumen 19 numero 4 2001.)

**Grafica 3 Comportamiento del pH en los tres tratamientos de la mezcla.**



T1= Materia Orgánica

T2 = Materia Orgánica/ manzana

T3 = Materia Orgánica/ manzana

Se puede observar en la grafica No 3. El comportamiento de los tres tratamientos fue similar en promedio, pero es necesario aclarar el periodo de cambio de cada uno de ellos, en el tratamiento No. 1 el pH tardo 6 días para bajar 7.2 mientras que el tratamiento No 2 tardo 2 días para bajar 7.3 y por último el tratamiento No 3 tardo dos días en bajar un nivel de 7.3. Igual que el segundo, pero durante el periodo de la investigación el comportamiento fue similar. En donde los tres resultados están dentro del nivel recomendado.

De acuerdo a soluciones prácticas los microorganismos viven solo en un rango muy estrecho de pH (6.6- 8.0). Además menciona para que una planta de biogás tra-

baje debe ser neutro o alcalinidad 7.0 a 8.0, de la misma forma menciona que una planta de biodigestores puede regular el control de pH.

Para lograr una mejor eficiencia en la producción de biogás es necesario contar con un pH de 6.5 a 7.5, si este es muy ácido la acción de las bacterias metanogénicas se inhiben y aumenta la proporción de gas carbónico en el biogás (Taiganides et. al 1963)

Nuestros resultados concuerdan con lo mencionado ya que tuvimos un rango de 7.3 – 7.5 en los tres tratamientos lo cual nos reflejan resultados estrictos.

De acuerdo a varios autores mencionan que la temperatura ideal para la producción de biogás es la mesofílica (.ingenieroambiental.com 2006, textos científicos.com 2006) recomiendan que la temperatura óptima fluctúa desde los 35 a 37° C, en donde la fermentación es rápida y efectiva. En soluciones prácticas recomiendan una temperatura desde los 30° C – 60° C. Desde el punto de vista de velocidad de descomposición de la materia orgánica y para la fermentación rápida y efectiva

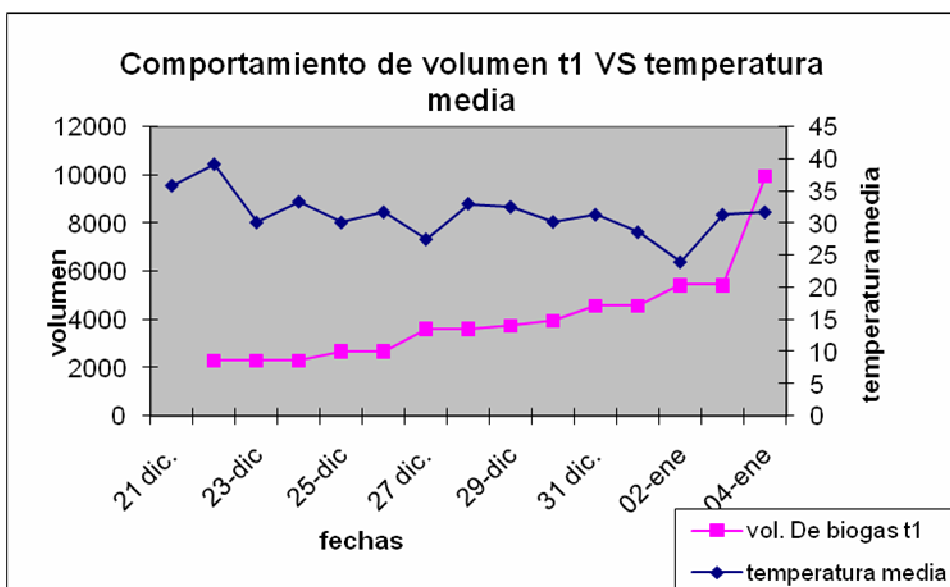
#### **Cuadro 1 comportamiento de volumen tratamiento 1 VS temperatura media**

<b>Fecha</b>	<b>Vol. de tratamiento 1 cc</b>	<b>Temperatura Media</b>
21 Dic.	0	35.8
22 Dic.	2316.4	39.1
23-Dic	2316.4	30.1
24-Dic	2316.4	33.3
25-Dic	2697.6	30.1
26 Dic.	2697.6	31.7
27 Dic.	3628.9	27.5
28 Dic.	3628.9	33
29-Dic	3753.2	32.5

30 Dic.	3968.2	30.2
31 Dic.	4574.2	31.3
01-Ene	4574.2	28.6
02-Ene	5441.3	24
03-Ene	5441.3	31.3
04-Ene	9949.2	31.7

En la grafica 4 y el cuadro 1 se puede observar el comportamiento entre la temperatura y el volumen de biogás acumulativa. Para el caso del tratamiento 1 la fecha en la cual se puede apreciar en el esquema en donde se puede observar que después de 9 días de instalación del trabajo empezó a producir en forma acelerada la producción de biogas. En donde la temperatura media se presento en estas fechas una media de 31° C a 33° C.

**Grafica 4 Comportamiento de volumen tratamiento 1 VS temperatura media**





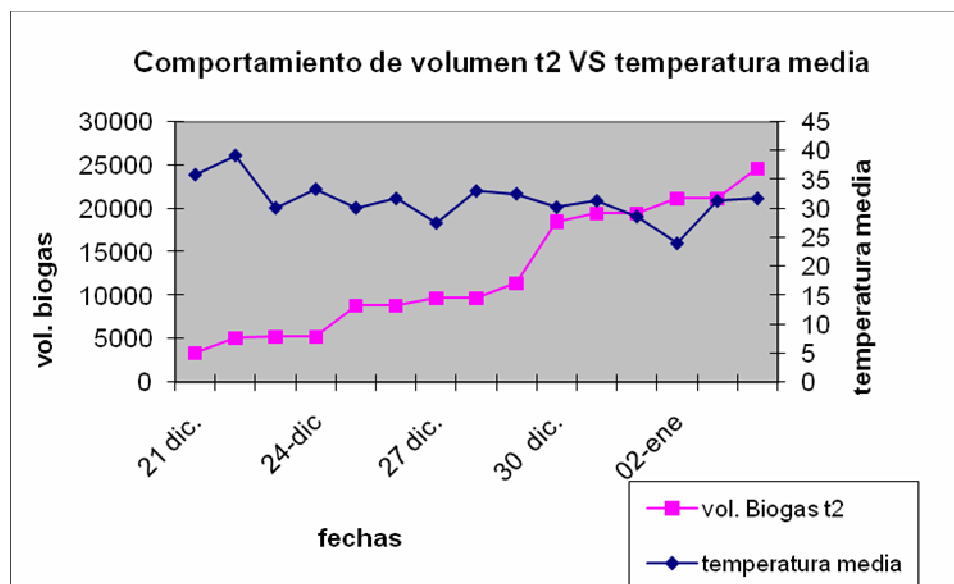
También es necesario considerar que durante el experimento el comportamiento de las temperaturas fue similar en todos los tratamientos. A demás los datos obtenidos en temperaturas están dentro del nivel que recomiendan los autores.

**Cuadro 2 Comportamiento de volumen tratamiento 2 VS temperatura media**

<b>Fecha</b>	<b>Vol. Biogás T2</b>	<b>Temperatura Media</b>
21 dic.	3440.4	35.8
22 dic.	5093.6	39.1
23-dic	5308.6	30.1
24-dic	5308.6	33.3
25-dic	8818.1	30.1
26 dic.	8818.1	31.7
27 dic.	9758.2	27.5
28 dic.	9758.2	33
29-dic	11429.5	32.5
30 dic.	18508.7	30.2
31 dic.	19480.7	31.3
01-ene	19480.7	28.6
02-ene	21155.9	24
03-ene	21155.9	31.3
04-ene	24595.7	31.7

Para el tratamiento 2 se puede observar en la grafica 5, cuadro No. 2, en donde se establece que el volumen de gas fue mayor numéricamente a diferencia del tratamiento 1. La temperatura media fue de 31° C - 33° C, en donde se visualiza gráficamente que la manzana tuvo efecto en la producción de biogás. También refleja que la temperatura no tuvo efecto negativo en la producción ya que se puede notar que el nivel fue incrementado. Durante el periodo que se presentaron temperaturas ambientales bajas.

**Grafica 5 Comportamiento de volumen tratamiento 2 VS temperatura media**



Considerando la grafica la producción acelerada de la producción de biogás empezó después de 4 días del establecimiento del experimento.

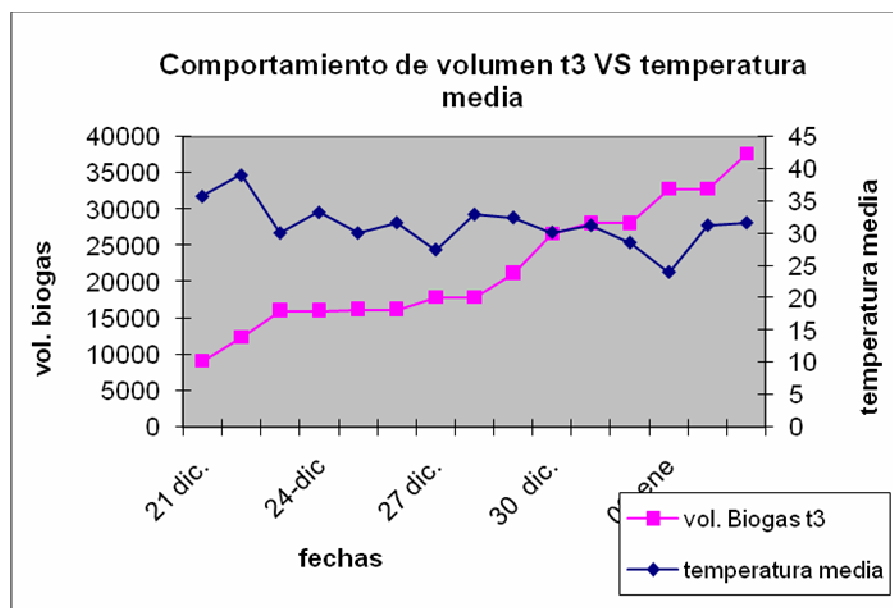
Tomando en cuenta la manzana, la composición química de esto varía de acuerdo al estado en que se encuentra, ya que los azúcares son fuente de energía para los microorganismos, los aminoácidos están directamente en la formación de la fermentación.

**Cuadro 3 comportamiento de volumen tratamiento 3 VS temperatura media**

Fecha	vol. Biogas t3	temperatura media
21 dic.	9096.7	35.8
22 dic.	12357.8	39.1
23-dic	16034.3	30.1
24-dic	16034.3	33.3
25-dic	16231.6	30.1

26 dic.	16231.6	31.7
27 dic.	17805	27.5
28 dic.	17805	33
29-dic	21198	32.5
30 dic.	26609.1	30.2
31 dic.	28125	31.3
01-ene	28125	28.6
02-ene	32890.5	24
03-ene	32890.5	31.3
04-ene	37637.3	31.7

**Grafica 6 comportamiento de volumen tratamiento 3 VS temperatura media**



Para el caso del tratamiento 3, se observa en la grafica 6 Cuadro 3. En este tratamiento fue el mejor durante la investigación no solo en producción de gas si no también en nivel de pH. Gráficamente muestra que la fecha de producción acelerada empezó el segundo día del establecimiento del experimento, en donde presenta que la temperatura no tuvo efecto negativo en relación a la producción, es una señal que presenta que

la manzana tuvo un efecto positivo en la producción ya que esta como fuente de energía para los diferentes microorganismos que se encuentran dentro del biodigestor y en sus diferentes niveles.

La temperatura elevada hace aumentar y las descomposiciones de materiales entre moléculas y acelera la descomposición, en te temperaturas extremas se verifica entre los 15° C y los 30° C. mientras que debajo de 5° c se detiene, e incluso la fermentación se obstruida.

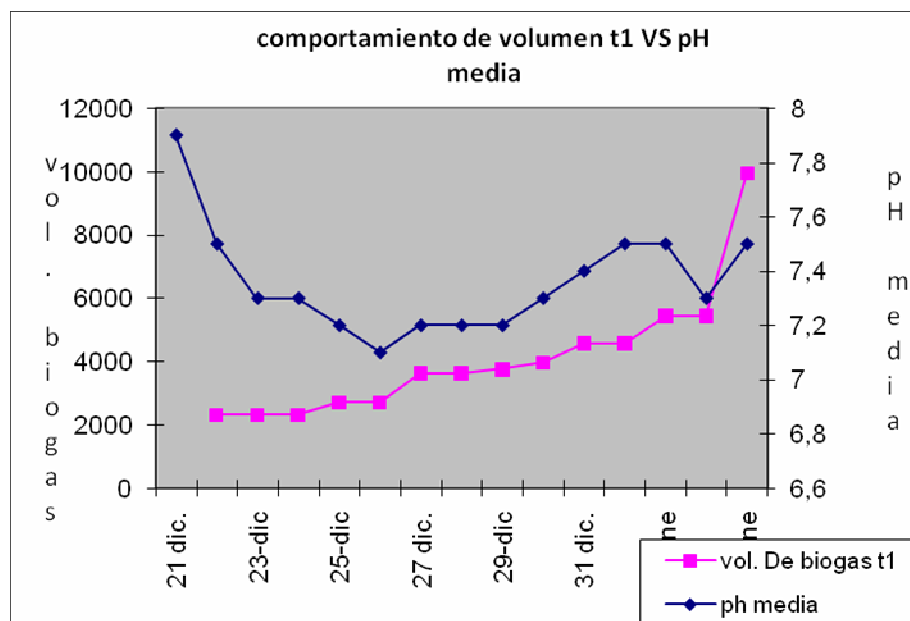
Las recomendaciones de Schomer ( 1965) citado por Ryal (1974) la mejor temperatura para conservar la mayoría de las manzanas, es justamente de la temperatura congelante de las manzanas de -1.1° C a -0.55° C. Por consiguiente la acción del frio tal como se aplica paraliza la acción de los microorganismos que alteran las sustancias.

#### **Cuadro 4 Comportamiento de volumen tratamiento 1 VS pH media**

<b>Fecha</b>	<b>Vol. De Biogas T1</b>	<b>Ph Media</b>
21 dic.		7.9
22 dic.	2316.4	7.5
23-dic	2316.4	7.3
24-dic	2316.4	7.3
25-dic	2697.6	7.2
26 dic.	2697.6	7.1
27 dic.	3628.9	7.2
28 dic.	3628.9	7.2
29-dic	3753.2	7.2
30 dic.	3968.2	7.3
31 dic.	4574.2	7.4
01-ene	4574.2	7.5
02-ene	5441.3	7.5
03-ene	5441.3	7.3

04-ene	9949.2	7.5
--------	--------	-----

**Grafica 7 comportamiento de volumen tratamiento 1 VS pH media**



De acuerdo a la grafica 7 cuadro 4 se observa que el comportamiento del pH en relación a la producción de biogás en el tratamiento No. 1. Se presenta que el pH inicial de 9.5 empieza en forma descendente en un periodo de 9 días se tiene un pH de 7.2. en donde se observa que empieza a incrementarse. Al final del experimento se registro un pH de 7.6 durante toda la investigación se registraron pH alcalino.

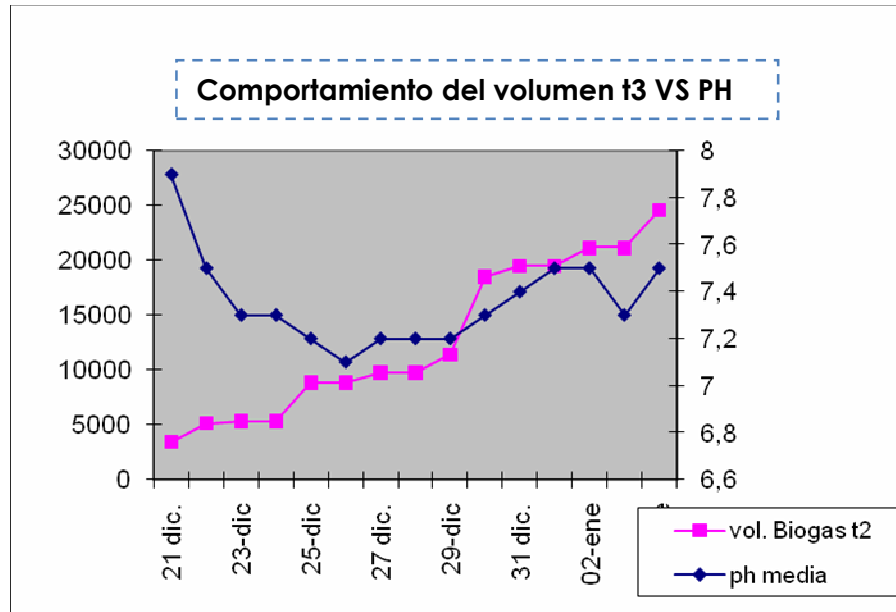
En relación a la producción de biogás en un periodo de 9 días la producción fue lenta, después de este tiempo el volumen se fue en forma más acelerada con un pH de 7.2. de este tratamiento, las fechas en donde se observa claramente el incremento la producción de biogás de acuerdo a la grafica se inicia el 2 de enero de forma acelerada.

**Cuadro 5. Comportamiento de volumen tratamiento 2 VS pH media**

<b>Fecha</b>	<b>Vol. Biogás T2</b>	<b>Ph Media</b>
21 dic.	3440.4	7.9
22 dic.	5093.6	7.5
23-dic	5308.6	7.3
24-dic	5308.6	7.3
25-dic	8818.1	7.2
26 dic.	8818.1	7.1
27 dic.	9758.2	7.2
28 dic.	9758.2	7.2
29-dic	11429.5	7.2
30 dic.	18508.7	7.3
31 dic.	19480.7	7.4
01-ene	19480.7	7.5
02-ene	21155.9	7.5
03-ene	21155.9	7.3
04-ene	24595.7	7.5

En la grafica 8 cuadro 5. En el caso del tratamiento 2 se observa que en el experimento se tuvo un pH alcalino de 9.5 inicial. Igual que el tratamiento 1, pero a diferencia que en periodo de 2 días el nivel llega con pH de 7.8, es necesario considerar que durante el tiempo del experimento se tuvo un pH de 7.3 promedio el tratamiento. Se claramente el efecto que tiene la manzana sobre este parámetro ya que en u periodo corto baja el grado de este. En relación a la producción de biogás es una forma ascendente durante todo el tiempo del experimento, pero se destaca que la producción más alta se obtuvo después de 5 días del establecimiento del proyecto. Con un PH registrada en este periodo de 7.1, durante el transcurso del tiempo el pH empieza a incrementarse.

**Grafica 8 comportamiento de volumen tratamiento 2 VS pH media**



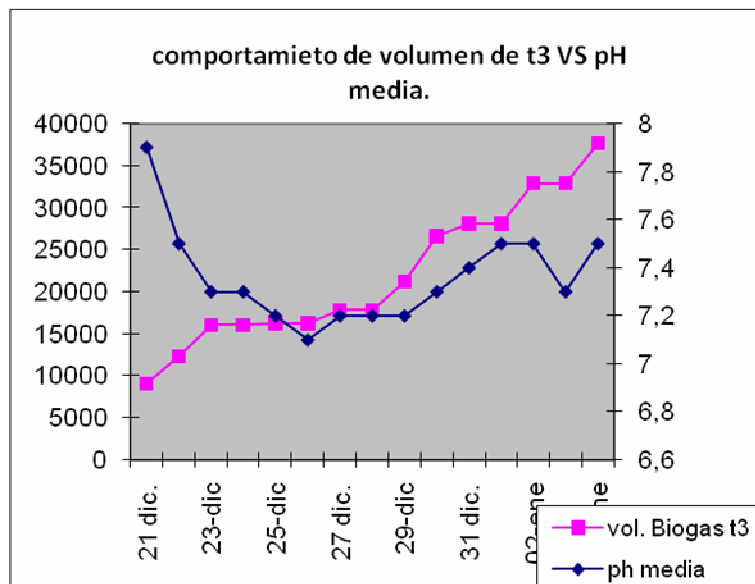
De la misma forma el comportamiento del pH en el tratamiento1 siempre fue alcalina, pero que está dentro del grado recomendado por los diferentes autores.

**Cuadro 6 comportamiento de volumen tratamiento 3 VS pH media**

Fecha	Vol. Biogás T3	pH Media
21 Dic.	9096.7	7.9
22 Dic.	12357.8	7.5
23-Dic	16034.3	7.3
24-Dic	16034.3	7.3
25-Dic	16231.6	7.2
26 Dic.	16231.6	7.1
27 Dic.	17805	7.2
28 Dic.	17805	7.2

29-Dic	21198	7.2
30 Dic.	26609.1	7.3
31 Dic.	28125	7.4
01-Ene	28125	7.5
02-Ene	32890.5	7.5
03-Ene	32890.5	7.3
04-Ene	37637.3	7.5

**Grafica 9 comportamiento de volumen tratamiento 3 VS pH media**



En la grafica 9 cuadro 6 se muestra gráficamente la relación que existe entre el pH promedio de los tres tratamientos con el volumen en cc de biogás del tratamiento 3. En este tratamiento fue el mejor durante la investigación ya que registro volúmenes altos en comparación a los otros tratamientos, además registro los niveles mas bajos de pH que a los otros tratamientos. Estos significa que la manzana tuvo un efecto positivo en relación a la producción de biogás y el nivel de pH.



Se puede observar que la producción empieza a partir cuando se registran niveles de pH de 7.3 aproximadamente. Lo cual el volumen conforme transcurre el tiempo sigue en aumento.

En virtud de que este tratamiento también se tuvo una mezcla de materia orgánica con manzana, lo cual repercute el efecto que tuvo un pH bajo por la acción de microorganismos se alteran y como consecuencia incrementan la fermentación de las sustancias orgánicas, como levaduras, carbohidratos, grasas, proteínas, y otros compuestos que se presentan en el producto.

En estudios de post-cosecha realizado por Dilley (1972) se investigaron los cambios más importantes y etapas de desarrollo en la maduración y se encontró que los azúcares se incrementan desde un punto de vista, que es cuando decrece la acidez.

## CONCLUSIONES

- En el tratamiento 3 empezó a producir biogás en forma acelerado el segundo día del establecimiento del experimento, a diferencia del tratamiento 2 que genero al cuarto día, mientras tanto el tratamiento 1 que es el testigo la producción empezó después de 9 días del establecimiento del trabajo.
- La temperatura de la mezcla del biodigestor es esencial para el buena producción de biogás.
- Le temperatura afecta directamente al pH, ya que tiene un efecto adverso en la producción de biogás
- La producción de biogás en cada unos de los tratamientos fueron diferentes.
- El mejor tratamiento que tuvo un volumen alto en producción fue el tratamiento 3 (estiércol/manzana 2) con una cantidad de biogás 218,165.2 cc a una temperatura de 31.6° C y un pH de 7.2 respectivamente.
- El segundo mejor tratamiento fue el 2 (estiércol/manzana 1) con una producción total de 127,589.4 cc con una temperatura de 31.5° C y un pH de 7.3 respectivamente.
- El peor tratamiento se tuvo en el 1 ( estiércol 100% ) con una producción total de 38,645.2 cc con una temperatura promedia de 30.9 y un pH de 7.5.
- Los desechos de la manzana tiene un efecto positivo en la producción de biogás, se puede observar en la grafica 1 con una gran diferencia con respecto a los otros dos tratamientos.
- El desecho de la manzana tuvo un efecto favorable en el grado de pH ya que fue el mas bajo durante este experimento. Del mismo modo que la temperatura ya que fue le mas el alto.

## RECOMENDACIONES

- I. Tomar en cuenta la temperatura del ambiente, ya que depende directamente de la temperatura interior del biodigestor
- II. Utilizar como fuente de calentamiento del biodigestor energías renovables, para serlo sustentable
- III. No dejar que la temperatura cambie bruscamente, porque tiene un efecto directo en los diferentes microorganismos de la fermentación.
- IV. Tomar en cuenta el mejor tratamiento de este experimento como base para posteriores investigaciones.
- V. Seguir buscando una mezcla adecuada de desperdicio de manzana para la óptima producción de biogás.
- VI. Realizar investigaciones con otras mezclas, como desechos de naranjo, café, y otros
- VII. Comparar desechos de manzana de diferentes variedades
- VIII. Realizar combinaciones de diferentes productos que presentan excedentes en el agro mexicano.

## BIBLIOGRAFIA

Brown, N. 1987. Biogas systems in development. *Appropriate Technology* 14(3): 5-7.

[http://www.suntechnics.com/es/bio\\_1bg.htm](http://www.suntechnics.com/es/bio_1bg.htm)

<http://biocombustibles.blogspot.com/2007/07/biocombustibles-investigacin-trata-de.htm>

Castillo, G., ITCR Hashimoto A.G., Y.R Chen. Methane and Protein from animal feedlot wastes, *Journal of Soil and Water Conservation* 1979. Experiencias de los autores (Chavez, Chi, Gutierrez) <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/biogas.htm>

Chaves Jorge, Miraflores, Lima Perú, soluciones prácticas, 2004. [www.solucionespracticas.org.pe](http://www.solucionespracticas.org.pe).

Cepeda Dovala, A.R., J.G. Medina T., J.M. Cepeda D, y L.M. Lasso m. (2006) Estudio ambiental, desertificación en el estado de Coahuila. Sistema de producción en zonas áridas y semiáridas. Investigación aplicada. Departamento de ciencias del suelo. UAAAN, Saltillo Coahuila. Mexico.

CIPAV 1995. Biodigestores plásticos de flujo continuo, generador de gas y bio-abono a partir de aguas servidas. Edición Rubén Espinel. Fundación CIPAV: 18 pp.

<http://www.efdemexico.com/servicios/biodigestores.html>

Dilley, d. r, 1973 postharvest, fruit preservation protein synthesis, ripening and senescence. *J food sci.* 37, 518-519.

Fessenden J, R, Fessenden S, J, química orgánica, editorial Iberoamericana; Nebraska 1983.

Giannina Solari. Tesis: Diseño de Construcción de un sistema de digestión Batch de 10 metros cúbicos para la producción de biogás en el Fundo Agropecuario de la Universidad Alas Peruanas. Lima 2004

[itgganadero.com/itg/portal/documentos.asp?id=182&d=1](http://itgganadero.com/itg/portal/documentos.asp?id=182&d=1)

Galindo J A y Rincón G D 2003 Adaptación sistemas de biogás para granjas de pollos de engorde. Proyecto de grado: Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá

[itgganadero.com/itg/portal/documentos.asp?id=182&d=1](http://itgganadero.com/itg/portal/documentos.asp?id=182&d=1)

Gronauer, 2000. Landwirtschaftliche Biogastechnologie. Proc. Technische Universität München – Weihenstephan Institut und Bayerische Landesanstalt für Landtechnik. Freising. Deutschland

[http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN\\_JUAN/712/biogas\\_historia\\_usos\\_y\\_aplicaciones.htm](http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN_JUAN/712/biogas_historia_usos_y_aplicaciones.htm)

Hernández A. 1994. Depuración de aguas residuales. Tercera edición. Ed. Paraninfo S.A.España.

[http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/energia\\_y\\_ciencia/2006/05/22/152178.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2006/05/22/152178.php)

Johns Hopkins University. Landfill Methane Utilization Technology Workbook, Applied Physics Laboratory, Laurel, MD, Contract No. 31-109-38-5686 (Feb.1981). b Fuente: ABC Estudios y Proyectos, S.A. de C.V. Construcción y Evaluación de Pozos de Monitoreo de Biogás en el Relleno Sanitario de Prados de la Montaña. México, D.F. Contrato No. SU-90-1-132.

[http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN\\_JUAN/712/produccion\\_de\\_biogas.htm](http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN_JUAN/712/produccion_de_biogas.htm)

LAGRANGE, B. Biomethane: Principles, Techniques, Utilizations. Edisud/Energies alternatives. Aix-ex-Provence, France, v. 2, 317 pp., 1979  
<http://www.fao.org/docrep/T2363S/t2363s0y.htm>

Lenntech Agua residual & purificación del aire Holding B.V. Rotterdamseweg 402 M 2629 HH Delft, Holanda España México Estados Unidos Chile Perú Argentina (<http://biogas.freeservers.com/photo2.html>)

Lugones López Bárbaro, Ing. Mecánico, Especialista de Cubaenergía, miembro de la CUBASOLAR tel. (537) 2059948 E-mail: [barbaro@cien.energia.inf.cu](mailto:barbaro@cien.energia.inf.cu)

Merino I. Halon b 1990, población y medio ambiente en Costa Rica, asociación demográfica Costarricense, San José C.R P. consultado el 9 de marzo del 2006

<http://www.eleconomista.es/empresas-finanzas>

O,S Emilio ( 1994) paquete de diseños experimentales. Facultad De Agronomía De La Universidad Autónoma De Nuevo león, versión 2.5 Marín, Nuevo León, México

Pava F y Valderrama F 2003 Instalación y ensayo de un biodigestor que utiliza gallinaza proveniente de la cría de aves para engorde. Proyecto de grado: Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

[itgganadero.com/itg/portal/documentos.asp?id=182&d=1](http://itgganadero.com/itg/portal/documentos.asp?id=182&d=1)

Dilley, d. r, 1073 posthervest, fruit preservation protein synthesis, ripening and a senescence. J food sci. 37, 518-519.

Secretaría Técnica del Departamento de Agricultura, Ganadería y Alimentación del Gobierno de Navarra 2005-2006)

<http://mx.msnusers.com/EcoEnergia/biogs.msnw>

SINGH, R. B. 1974 The biogas plant. Generating methane from organic wastes. Gober Gas Res. Ajitmal, Etawah (U.P.) India. 40 pp..

[www.uc.cl/agronomia/c\\_extension/Revista/Ediciones/16/tecnologia.pdf](http://www.uc.cl/agronomia/c_extension/Revista/Ediciones/16/tecnologia.pdf)

Smith PH, Bordeaux FM, Wilkie A, Yang J, Boone D, Mah RA, Chynoweth D, Jerger D. Microbial aspects of biogas production. En: Methane from biomass: a systems approach. Smith WH, Frank JR, AbelsonPH, eds. Elsevier Applied Science Publishers, Barking, Essex, 1988.

<http://www.ecoperiodico.com/articulos/20070728/informe-sobre-el-consumo-de-biogas-en-europa>

WERNER, E. 1983. Bioconversión: producción de energía utilizando desperdicios agrícolas. In: El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América Latina. Bol. Suelos No. 51. FAO. 253 pp.

[www.uc.cl/agronomia/c\\_extension/Revista/Ediciones/16/tecnologia.pdf](http://www.uc.cl/agronomia/c_extension/Revista/Ediciones/16/tecnologia.pdf)

Wheatley A, editor. Anaerobic Digestion: A Waste Treatment Technology. Elsevier Science Publishers Ltd, Barking, Essex, 1990. cap. 1, 5

<http://www.ecoperiodico.com/articulos/20070728/informe-sobre-el-consumo-de-biogas-en-europa>

[http://www.elhabanero.cubaweb.cu/2005/octubre/nro1401\\_oct05/cienc\\_05oct362.html](http://www.elhabanero.cubaweb.cu/2005/octubre/nro1401_oct05/cienc_05oct362.html)

Por: Adelina Vásquez 2007

<http://www.arsontechnology.com/combtxt.htm>

<http://mx.msnusers.com/EcoEnergia/biogs.msnw>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Biog%C3%A1s>

<http://www.soliclima.com/news/modules.php?name=News&file=article&sid=1498>  
[http://www.lasprovincias.es/valencia/prensa/20070907/ocio/energia-limpia-extrae-naranjas\\_20070907.html](http://www.lasprovincias.es/valencia/prensa/20070907/ocio/energia-limpia-extrae-naranjas_20070907.html)

[http://www.fys.es/fys/cm\\_view\\_tnoticia.asp?id=2002860](http://www.fys.es/fys/cm_view_tnoticia.asp?id=2002860)

Unna evaluations optimists: The Contribution of Bioenergy to a New Energy Paradigm

[www.iea.org/textbase/work/2005/Biofuels/Biofuels\\_Ugarte\\_Paper.pdf](http://www.iea.org/textbase/work/2005/Biofuels/Biofuels_Ugarte_Paper.pdf)

The Jatropha-System: An integrated approach to rural development

[www.jatropha.de](http://www.jatropha.de) Evaluaciones críticas y diferenciadas: biofuelwatch

[www.biofuelwatch.org.uk/index.php](http://www.biofuelwatch.org.uk/index.php)

How much bioenergy can Europe produce without harming the environment?

[http://reports.eea.europa.eu/eea\\_report\\_2006\\_7/en](http://reports.eea.europa.eu/eea_report_2006_7/en).

[http://es.encarta.msn.com/encyclopedia\\_761574216/Di%C3%B3xido\\_de\\_carbono.html](http://es.encarta.msn.com/encyclopedia_761574216/Di%C3%B3xido_de_carbono.html)