

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE AGRONOMIA



“Evaluación de la temperatura para la producción de Biogas”

Por:

JOSE LUIS CAUICH RAMIREZ

TESIS

**Presentado como Requisito Parcial
para Obtener el Título de:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Mayo de 2006

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

“Evaluación de la temperatura para la producción de Biogas”

Por:

JOSE LUIS CAUICH RAMIREZ

TESIS

**Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito
parcial para obtener e título de:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Presidente del jurado

Sinodal

Ph.D. Juan Carlos Zúñiga Enríquez

M.C. Adolfo Ortegón Pérez

Sinodal

Sinodal

M.C. Enrique Esquivel Gutiérrez

M.C. Carlos I. Suárez Flores

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE AGRONOMIA

M.C. Arnoldo Oyervides García

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, mayo de 2006

AGRADECIMIENTOS.

Primeramente le doy gracias a DIOS por brindarme la oportunidad de terminar una etapa mas de mi carrera y así haberme otorgado la gracia de lograr uno de los mas grandes anhelos de mi vida, por darme los conocimientos necesarios para salir triunfante en toda las adversidades, por estar siempre acompañándome en cualquier momento de mi vida y nunca dejarme desistir , por haberme dado unos padres tan maravillosos y por el mas preciado regalo que nos ha otorgado a cada uno de los seres humanos que es “la vida” .

A mi ALMA MATER con el mucho respeto que se merece por haberme dado lugar todo este tiempo de mi carrera en sus aulas para mi preparación, en su biblioteca, en su comedor y en cada uno de sus instalaciones y así culminar una etapa mas de mi vida profesional logrando mi meta tan anhelada.

Al Dr. Juan Carlos Zúñiga Enríquez por el gran apoyo y profesionalismo mostrado en la conducción de esta investigación, por compartir sus conocimientos y consejos; además, de brindarme su amistad y paciencia para sacar adelante este trabajo y por su enseñanza brindada en aulas.

AL M.C. Adolfo Ortegón Pérez Por sus enseñanzas otorgado en clases y por su colaboración y aportaciones dadas para la culminación de este proyecto de tesis.

Al M.C. Enrique Esquivel Gutiérrez por su disponibilidad de tiempo, apoyo, participación y colaboración brindada para la realización de este trabajo de tesis.

Al M.C. Carlos I. Suárez Flores por su amable colaboración en la realización de presente trabajo y por sus enseñanzas brindadas en aulas.

A la Ing. Nicolasa Acosta Cano por su disponibilidad, participación y aportaciones brindadas durante la realización de este trabajo. Además de su amistad y confianza incondicional que me ha brindado.

Al departamento de fitomejoramiento ya que mediante sus maestros académicos me brindaron la base y conocimientos necesarios para seguir adelante en toda mis actividades como estudiante. Al igual que a cada una de las personas que de una u otra manera contribuyeron en mi formación profesional, desde el inicio de mis estudios de primaria, secundaria, preparatoria hasta mi formación profesional.

A mis compañeros de la generación C de ingeniero agrónomo en producción, por el compañerismo y amistad que mantuvimos durante nuestra formación como profesionista y por los gratos momentos que pasamos de lo mucho o poco que juntos convivimos.

DEDICATORIA

A mis padres:

- Elsy Maria Ramírez Kuk
- Luís Fernando Cauich Cocón

Por su gran apoyo y confianza en mí, que con sus esfuerzos y dedicación hicieron posible mis estudios, por nunca dejar que me faltara nada, siempre estar al pendiente de mí, por que no les importó nada por tal de cumplirme siempre en lo económico y en lo emotivo. “los quiero mucho”. “Gracias Dios por darme unos padres tan maravillosos”.

A mis hermanos:

- Jesús Armando Cauich Ramírez
- Lidia Patricia Cauich Ramírez
- Wendy Maribel Cauich Ramírez.

Por su especial atención a todo cuanto a acontecido durante mi formación profesional brindándome su apoyo, comprensión, cariño. Con infinito agradecimiento sea para ellos mi cariño y admiración.

A toda la familia:

A todos mis tíos, tías, Primos, abuelos, que integran esta familia por haberme brindado su cariño, amistad, En especial a mi abuela la Sra. Olga Ramírez, por siempre brindarme su apoyo, palabras de aliento, confianza, además de ser como una segunda madre para mí.

A mis amigos:

A Jesús Alfonso “roshi”, Darinel Torres “rey”, Alberto Aguirre “fosi”, Hernán Alfonso “sapo” o mi cuñado, Erick Morales “soya”, Gleyber Che “pelón”, Raúl “parca”, Adalberto Hu “kikin”, Armando Arbes “tenshin”, José Alberto “picudo”, Miguel Tzec “diablo”, Neftali Pérez, Josué Tamay, Yoni Pool. Por que siempre convivieron y compartieron experiencias con migo, ya sea en aulas o fuera de ellas, además de su gran amistad que han mostrado siempre. Por ser más que unos amigos los considero como hermanos por sus apoyos, consejos y amistad incondicional que me han brindado.

A la mujer más bella que he conocido en mi vida *“Panyani A. Gómez”*, ya que para mí el amor lleva su nombre. Por ser la más especial de mí y por siempre será lo mejor, la cosa más tierna y hermosa que he conocido en mi vida. Oscuros son los días sin ella, mi vida enferma sin su mirada, el sol se oculta sin su sonrisa; Ella es mi razón de existir. Además de todo esto, por los consejos que siempre me brindó y las grandes cosas que vi nacer en ella. Ahora “Si tan solo pudiera amarte, quererte, si tan solo me dejaras llegar a ti para detenerme en tu ternura y gozar de tu dulzura, si me dejaras entrar en tus sueños de placer seria tu esclavo de amor para hacerte feliz”

NO TE RINDAS.

Cuando las cosas vallan mal, como a veces pasa.

Cuando el camino se ponga cuesta arriba.

Cuando al querer sonreír debas ahogar las lagrimas.

Cuando tus preocupaciones te tengan agobiado,

descansa si te urge pero no te rindas.

Y si el fracaso llama a tu puerta y te invita a mirar

hacia atrás, no le des entrada, lucha, mira hacia delante,

no te rindas.

El que es valiente no se rinde ¡lucha por salir adelante!

TOMA TIEMPO

Toma tiempo para pensar, este es el origen del poder.

Toma tiempo para leer, este es la fuente de la sabiduría.

Toma tiempo para orar, este es el mayor poder de la tierra.

Toma tiempo para perdonar, este es el secreto de la paz.

Toma tiempo para amar y ser amado, este es el privilegio dado por dios.

Toma tiempo para cultivar la amistad, este es el camino de la felicidad.

Toma tiempo para jugar, este es el secreto de la eterna juventud.

Toma tiempo para reír, esta es la alegría del alma.

Toma tiempo para dar, esta es la esperanza de ayudar.

Toma tiempo para trabajar, este es el precio del éxito.

INDICE DE CONTENIDO

Índice de cuadros	XI
Índice de figuras	XIII
Índice de gráficos	XIV
INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	3
HIPOTESIS	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Definición de Biogas.....	4
Antecedentes sobre la tecnología del Biogas.....	6
Situación del Biogas a nivel mundial.....	8
El Biogas en México.....	9
Características, Composición, Propiedades y Presión del Biogas.....	10
Características de Biogas.....	11
Composición del Biogas.....	11
Propiedades del Biogas.....	13
Presión del Biogas.....	13
Uso o aplicaciones del Biogas.....	15
Diferentes Aplicaciones del Biogas.....	16
Utilización y almacenamiento del Efluente.....	25
Fermentación Anaerobia.....	26
Principios de la Fermentación.....	27
Metanogénesis.....	27
Prerrequisitos necesarios para iniciar el proceso.....	28
Etapas intervinientes.....	28
Fase de Hidrólisis.....	28
Fase de Acidificación.....	29
Fase Metanogénica.....	29
Objetivos buscados en la fermentación Anaerobia.....	32
Formación del metano.....	34
Fermentación Propiónica.....	35
Fermentación Acética.....	35
Fermentación Butílica.....	36
Bacterias Metanogénicas.....	37
Factores a tener en cuenta para un buen funcionamiento de una planta de Biogas.....	38
Tipo de materia prima o material de carga	40
Temperatura del sustrato.....	42

	ix
Velocidad de Carga Volumétrica.....	45
Tiempo de Retención (T.R.).....	47
Valor de Acidez (pH).....	50
Contenido de Sólidos.....	52
Inclusión de Inoculantes.....	52
Agitación-Mezclado.....	53
Inhibidores.....	54
Dilución de Carga.....	56
Nivel de Amoníaco.....	57
Relación Carbono/Nitrógeno.....	57
Beneficios de la tecnología del biogas.....	59
Biodigestores.....	60
Características del Digestor.....	60
Criterios para considerar en el diseño de un biodigestor.....	61
Factores Humanos.....	61
Factores biológicos.....	61
Factores físicos.....	61
Factores de construcción.....	62
Factores unitarios.....	62
Tipos de Biodigestores.....	63
Digestor por lote.....	64
Digestor de régimen semicontinuo.....	64
Digestores horizontales.....	64
Digestor de régimen continuo.....	64
Otros tipos de biodigestores.....	65
Biodigestor tipo hindú.....	65
Biodigestor tipo chino.....	67
Plantas hechas de polietileno.....	68
Instalaciones industriales.....	70
Digestores de segunda y tercera generación.....	72
Ventajas y desventajas en el uso de biodigestores.....	73
Ventajas.....	73
Desventajas.....	76
Operación de una planta de biogas.....	77
Biogas, una economía y ecología fuente de energía.....	79
MATERIALES Y METODOS.....	81
Localización geográfica y caracterización del área experimenta.....	81
Materiales utilizados.....	82
Metodología y establecimiento del experimento.....	83
Fase I.....	83
Parámetros evaluados.....	86
Fase II.....	87
Parámetros evaluados.....	89

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	93
Producción de gas.....	93
Producción de biogas.....	94
Potencial hidrogeno (pH).....	97
Efecto del pH en la producción de Biogas.....	99
Temperatura.....	103
Efecto de la temperatura en la producción de Biogas.....	106
Efecto de la temperatura en el pH.....	112
CONCLUSIONES.....	119
RECOMENDACIONES.....	121
BIBLIOGRAFIA.....	122

INDICE DE CUADROS

Cuadro	descripción	Página
1	Características del gas metano	10
2	Poder calórico de diferentes combustibles y equivalentes referidos al biogas.	12
3	Principales artefactos que utilizan biogás juntamente a su consumo medio y su eficiencia	16
4	Utilización y Consumo de Biogás	23
5	Consumo del biogas en l/hr y kcal/hr considerando un poder calórico de 6000 kcal/m ³ .	24
6	Cantidad de biogas que fluiría a través de 100 cm ² y 1" ² para diferentes presiones.	24
7	Característica de los microorganismos intervinientes en la fase acidogenica y metanogenica durante el proceso de fermentación.	31
8	Indicativo sobre cantidades de estiércol producido por distintos tipos de animales y el rendimiento en gas de los mismos tomando como referencia el kilogramo de sólidos volátiles.	42
9	Concentración de rangos de temperatura de acuerdo al tipo de bacterias que predominan en cada una de ellas.	44
10	Distribución de la producción diaria de gas para materiales con distintas proporciones de celulosa en función al tiempo de retención.	49
11	Valores de concentraciones de ciertos inhibidores comunes.	55
12	Relación carbono: nitrógeno de diversos desechos disponibles en el medio rural.	58
13	Distribución de los tratamientos en la producción de biogas. UAAAN. Septiembre-octubre. 2005.	87
14	Análisis de varianza (ANVA) para la evolución en la producción de gas en cuatro tratamientos. Buenavista, Saltillo. Coahuila. Sept-Oct. 2005.	93
15	Análisis de varianza (ANVA) para la evolución del pH en cuatro tratamientos en la producción de biogas. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Sept-Oct.2005.	97
16	Análisis de varianza (ANVA) para la evolución de la temperatura en tres tratamientos para la producción de biogas. Buenavista, Saltillo. Coahuila. 2005.	103
17	Efecto de la temperatura en relación con la producción de gas por día para el tratamiento 1. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Sept-Oct. 2005.	108

18	Efecto de la temperatura en relación con la producción de gas por día para el tratamiento 2. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Sept-Oct. 2005.	109
19	Efecto de la temperatura en relación con la producción de gas por día para el tratamiento 3. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Sept-Oct. 2005	111
20	Efecto de la temperatura en relación con la producción de gas por día para el tratamiento 4. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Sept-Oct. 2005	112
21	Coefficiente de correlación (r) de las variables evaluadas en 4 tratamientos para la producción de biogas. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Sept-Oct. 2005.	117

INDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
1	Aplicaciones del biogas	15
2	Característica de cada una de las etapas involucradas en la fermentación anaeróbica con los principales compuestos químicos intervinientes.	30
3	Esquema de los diferentes campos de aplicación de la tecnología de la digestión anaerobia con sus objetivos buscados	32
4	Esquema general de la formación de gas metano durante la fermentación anaerobia de una instalación de un digester experimental.	34
5	Curva típica de las etapas de crecimiento bacteriano dentro de los digestores	53
6	biodigestores tipo hindú para la producción de biogas	66
7	Esquema del digester chino	68
8	Esquema del digester de polietileno tipo saco y ejemplo del digester de polietileno tipo gusano.	69
9	biodigestor con estructura semiesférica de polietileno de película delgada	70
10	biodigestores con instalaciones industriales de producción de biogás	71
11	Esquema de un biodigestor de segunda generación	73
12	Diagrama de operación de una planta de biogas.	77
13	Localización de la universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en la republica mexicana	81
14	Recipiente metálico en que se colocaron los biodigestores	85
15	Calentador eléctrico con capacidad para calentar 25 lts de agua.	85
16	Diseño del biodigestor utilizado en el experimento de biogas. UAAAN. 2005.	85
17	Ubicación de los biodigestores y tratamientos en el recipiente a “baño maría”. UAAAN. 2005.	86
18	Ubicación de los biodigestores y tratamientos en el recipiente a “baño maría”.	88

INDICE DE GRAFICAS

Grafica	Descripción	Página
1	Evolución de la producción de gas en centímetros cúbicos (cc) en diferentes tratamientos.	95
2	Relación entre la evolución en la producción de biogas con respecto al factor A (con y sin control).	96
3	Relación entre la evolución en la producción de biogas con respecto al factor B (% de sólidos), Fase. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Sept-Oct. 2005.	96
4	Evolución del pH en cuatro tratamientos en la producción de biogas. UAAAN, Buenavista, Saltillo Coahuila, México, Sep-Oct. 2005.	98
5	Efecto del pH en la producción de biogas en el tratamiento 1	100
6	Efecto del pH en la producción de biogas en el tratamiento 2.	11
7	Efecto del pH en la producción de biogas en el tratamiento 3.	102
8	Efecto del pH en la producción de biogas en el tratamiento 4	103
9	Relación entre el promedio de temperaturas de los diferentes tratamientos (interior del biodigestor), con la temperatura ambiente y la temperatura exterior del agua (recipiente metálico base).	106
10	Efecto de la temperatura en relación a la producción de gas acumulativo por día para el tratamiento 1.	108
11	Efecto de la temperatura en relación a la producción de gas acumulativo por día para el tratamiento 2.	109
12	Efecto de la temperatura en relación a la producción de gas acumulativo por día para el tratamiento 3.	110
13	Efecto de la temperatura en relación a la producción de gas acumulativo por día para el tratamiento 4.	111
14	Efecto de la temperatura en relación con el pH para el tratamiento 1.	114
15	Efecto de la temperatura en relación con el pH para el tratamiento 2.	115
16	Efecto de la temperatura en relación con el pH para el tratamiento 3.	116
17	Efecto de la temperatura en relación con el pH para el tratamiento 4.	117

INTRODUCCIÓN.

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.

Hoy en día, el 90 % de las necesidades energéticas son satisfechas con la utilización de estos combustibles fósiles, 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.

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, tiene 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).

Por otra parte, cada día vemos los aumentos a los precios del petróleo y el gas a nivel mundial y las dificultades que presentan su explotación, transporte, comercialización, etc., originando en muchas ocasiones conflictos bélicos o inestabilidad política, todo ello para satisfacer el creciente aumento en el uso

mundial del petróleo y los combustibles, produciendo un profundo efecto en las políticas energéticas de las naciones, al incrementar las reservas aparentemente ilimitadas de fuentes de energía.

Ante estas situaciones es necesario proponer alternativas que contribuyan a disminuir el uso de los recursos naturales no renovables o 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.

OBJETIVOS.

- Generar biogas a partir de estiércol de bovino.
- Determinar la velocidad de digestión del estiércol de bovino en 4 tratamientos de biosolidos.
- Determinar la cantidad de biogás producido en cada uno de las concentraciones.
- Establecer bases para nuevos estudios en el uso del estiércol de bovino para la producción de biogás.
- Estudiar el efecto de la temperatura, en relación a la producción de biogás.
- Estudiar el comportamiento de los sólidos totales y solubles y su efecto en la producción y calidad del biogas.

HIPÓTESIS.

Ha1: Las diferentes concentraciones de estiércol presentan diferencias en cuanto a sólidos totales y solubles.

Ha2: Las diferentes concentraciones de estiércol presentan diferencias en cuanto a la producción del biogas.

Ha3: La temperatura influye en la concentración de sólidos totales y solubles.

Ha4: Se espera que la temperatura influya en la producción de biogas.

Ha5. La temperatura influye en el comportamiento del pH.

REVISIÓN DE LITERATURA.

DEFINICION DE BIOGÁS.

Según Huilinao, et al. (2002), llaman el termino biogás a la mezcla de gases resultantes de la descomposición de la materia orgánica realizada por la acción bacteriana en condiciones anaeróbicas.

El biogás se produce en un recipiente cerrado o tanque denominado biodigestor, el cual puede ser construido con diversos materiales como ladrillo, 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 mataderos) 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 biogás (gas metano).

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)

construidos para producir metano, se ha solucionado (por lo menos en gran parte), las necesidades de combustibles para fines domésticos en áreas rurales.

Otra definición de biogás es la que se refiere al gas que se produce mediante un proceso metabólico de descomposición de la materia orgánica sin la presencia del oxígeno del aire. Este biogás es combustible, tiene un alto valor calórico de 4 700 a 5 500 kcal/m³ y puede ser utilizado en la cocción de alimentos, para la iluminación de naves y viviendas, así como para la alimentación de motores de combustión interna que accionan, máquinas herramientas, molinos de granos, generadores eléctricos, bombas de agua y vehículos agrícolas o de cualquier otro tipo. La generación natural de biogás es una parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono. El metano producido por bacterias es el último eslabón en una cadena de microorganismos que degradan material orgánico y devuelven los productos de la descomposición al medio ambiente.

Otra definición dada por el glosario de términos ambientales de EcoPortal.net (1999) dice que es un gas producido en la fermentación de los residuos domiciliarios, en general tienen un alto contenido de metano, es susceptible de ser usado con fines de generación de electricidad o de uso domiciliario.

De acuerdo con Wikipedia (2005), hace referencia a otra definición del biogás la cual menciona que 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 la materia orgánica se descompone en ausencia de aire, actúa este tipo de bacteria, generando biogás.

Otra definición según esi.unav.com (2005), la define como un gas combustible, mezcla de metano con otras moléculas, formado en reacciones de descomposición de la materia orgánica.

Según Werner (1989) el biogás es una mezcla de gases cuyos principales componentes son el metano y el bióxido de carbono, el cual se produce como resultado de la fermentación de la materia orgánica en ausencia de aire, por la acción de un grupo de microorganismos. Cuando esta mezcla de gases se produce en forma natural, se le llama “gas de los pantanos”, fue descubierto y reportado por Shirley en 1667 y es el responsable de los llamados “fuegos fatuos”. Volta fue el primero en reconocer una relación entre el gas de los pantanos y la vegetación en descomposición en el fondo de los lagos.

ANTECEDENTES SOBRE LA TECNOLOGIA DEL BIOGAS.

Según textoscientíficos.com (2006), las primeras menciones sobre biogás se remontan al año 1600 de nuestra era identificado por varios científicos como un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica.

Este mismo autor menciona que en el año 1890 se construye el primer biodigestor a escala real en la India y ya en 1896 en Exeter, Inglaterra, las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad.

Tras las guerras mundiales, comienza a difundirse en Europa las llamadas fábricas productoras de biogás cuyo producto se empleaba en tractores y

automóviles de la época. En todo el mundo se difunden los denominados tanques Imhoff para el tratamiento de aguas cloacales colectivas. El gas producido se lo utilizó para el funcionamiento de las propias plantas, en vehículos municipales y en algunas ciudades se lo llegó a inyectar en la red de gas comunal.

Durante los años de la segunda guerra mundial comienza la difusión de los biodigestores a nivel rural tanto en Europa como en China e India que se transforman en líderes en la materia.

Esta difusión se ve interrumpida por el fácil acceso a los combustibles fósiles y recién en la crisis energética de la década del 70, se reinicia con gran ímpetu la investigación y extensión en todo el mundo incluyendo la mayoría de los países latinoamericanos.

Los últimos 20 años han sido fructíferos en cuanto a descubrimientos sobre el funcionamiento del proceso microbiológico y bioquímico gracias al nuevo material de laboratorio que permitió el estudio de los microorganismos intervinientes en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno).

Estos progresos en la comprensión del proceso microbiológico han estado acompañados por importantes logros de la investigación aplicada obteniéndose grandes avances en el campo tecnológico.

Los países generadores de tecnología más importantes en la actualidad son: China, India, Holanda, Francia, Gran Bretaña, Suiza, Italia, EE.UU., Filipinas y Alemania.

SITUACIÓN DEL BIOGÁS A NIVEL MUNDIAL.

German Appropriate Technology Exchange (2005), dicen 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.

Los mismos autores señalan que en la India, alrededor de 500 000 familias 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 Europa existen alrededor de 564 instalaciones productoras de gas biológico que representan unos 269 000 m³ de digestores. De estos, 174 000 m³ de digestores corresponden a instalaciones industriales, el resto, 95 000 m³ corresponden a instalaciones agrícolas. Holanda y Dinamarca son los países que marcan la pauta.

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

En Japón, se presentó 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 del biogás, como los desechos de cocina por ejemplo.

EL BIOGÁS EN MÉXICO

Según la Comisión Reguladora de Energía, citada por Transforma (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 respecto a otras fuentes de generación (incluso alternas). Sin embargo, debe considerarse que este costo ya incluye 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 la actividad obligatoria como la disposición de la basura en un relleno sanitario para cumplir con las normas ecológicas.

Según Saldaña citado en the International Conference on Technology Policy and Innovación (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.

CARACTERÍSTICAS, COMPOSICIÓN, PROPIEDADES Y PRESIÓN DEL BIOGAS.

Según textoscientificos.com (2006), se llama biogás a la mezcla constituida por metano CH₄ en una proporción que oscila entre un 50% a un 70% y dióxido de carbono conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno. En el cuadro siguiente menciona algunas de sus características:

Cuadro 1. Características del gas metano

CARACTERISTICAS	CH₄	CO₂	H₂-H₂S	OTROS	BIOGAS 60/40
Proporciones % Volumen	55-70	27-44	1	3	100
Valor Calórico MJ/m³	35,8	-	10,8	22	21,5
Valor Calórico kCal/m³	8600	-	2581	5258	5140
Ignición % en aire	5-15	-	-	-	6-12
Temp. ignición en °C	650-750	-	-	-	650-750
Presión crítica en Mpa	4,7	7,5	1,2	8,9	7,5-8,9
g/l	0,7	1,9	0,08	-	1,2
Densidad relativa	0,55	2,5	0,07	1,2	0,83
Inflamabilidad Vol. en % aire	5-15	-	-	-	6-12

Fuente: Sitio Web: www.textoscientificos.com, 2006

Características del biogas.

Según Monroy y Viniegra (1990), mencionan que el biogas es incoloro, por lo que es difícil detectarlo; pero por tener una densidad menor que la del aire su peligrosidad asfixiante y explosiva es mínima.

La temperatura crítica del metano es de 82 °C y una presión crítica de 48.8 kg/cm² característica que obliga a utilizar el gas en su estado natural ya que el equipo para licuarlo consume demasiada energía y lo hace incosteable en unidades de poca producción.

El biogas esta formado de metano, bióxido de carbono y que puede deducirse su poder calorífico tomando en cuenta de que en su composición incluye de 60 a 70 % de metano (CH₄) y de 30 a 40 % de bióxido de carbono (CO₂), el cual será del orden de 5780 a 6230 Kcal/m³. El poder calórico en estas condiciones la convierte en un combustible apreciable, tanto en el ámbito domestico, alumbrado, y cocción de alimentos, como la industria, en la producción de energía calorífica, mecánica o eléctrica al ser usado en calderas o en motores de combustión interna.

Composición del biogás.

Siguiendo con los mismos autores la composición y propiedades del biogas pueden variar pero, en general son:

- Metano (CH₄) 55 a 70 %.
- Bióxido de carbono (CO₂) 35 a 40 %.

- Nitrógeno (N₂) 0.5 a 5 %.
- Sulfuro de hidrógeno (SH₂) 0.1 %.
- Hidrógeno (H₂) 1 a 3 %.

El poder calórico del biogas en estas condiciones lo convierte en un combustible apreciable, tanto en el ámbito domestico, alumbrado y cocción de alimentos, como en la industria, en la producción de energía calorífica, mecánica o eléctrica al ser usado en calderas o en motores de combustión interna.

Cuadro 2. Poder calórico de diferentes combustibles y equivalentes referidos al biogas.

Combustible	Kcal/m ³	Kcal/kg	M ³ equivalentes a 1000 m ³ de biogas
BIOGAS	5335		1000
GAS NATURAL	9185		581
METANO	8847		603
PROPANO	22052		242
BUTANO	28588		187
ELECTRICIDAD	860 Kcal/Kw-hr		6203 Kw-hr
CARBON		6870	776 Kg
PETROLEO		11357	470=553 lts
COMBUSTOLEO		10138	526 kg=528 lts

Fuente: Monroy y Viniestra, 1990

Propiedades del biogás.

Mismos autores hacen mención de que las propiedades del biogás dependen de la presión, de la temperatura y la humedad. Los factores para caracterizar 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 m³

Presión del biogás.

Mismos autores mencionas que las presiones a las que con regularidad se comprime el biogás son de 7 a 10 Kg/cm² en instalaciones pequeñas, de 28 a 35 Kg./cm² en instalaciones de tratamientos de aguas negras de tamaño regular y de 135 a 200 Kg./cm² en grandes instalaciones.

Ventajas de comprimir el gas:

- Se facilita su transporte por tubería a los diferentes puntos de servicio
- Su volumen se reduce considerablemente y es posible abastecer cilindros para usar el biogás en vehículos con motores de combustión interna de cuatro tiempos.
- Se reduce el volumen del contenedor primario del digester.

- El gas puede ser empleado en motores diesel o gasolina estacionarios, diseñados o adaptados para gas.
- La homogeneidad del gas aumenta por tener volúmenes considerables almacenados en el mismo punto.

Desventajas al comprimir el gas:

- Casi el 25 % de la energía procedente del digestor necesita ser utilizada para comprimir el gas. A su vez la eficiencia de comprensión es 25 %.
- Se estaría comprimiendo 1/3 de gas que no es combustible
- Las posibilidades de fuga aumentan
- Los problemas de mantenimiento son mayores
- Hay problemas de especialización del personal.

Siguiendo con los mismos autores, también hacen mención de que la densidad y su composición del biogas son factores importantes que se deben tomar en cuenta para la seguridad que se debe tener al manejar este combustible, pues tomando en cuenta que la densidad del aire es de 1.293 g/l, la del metano 0.27 g/l y la del bióxido de carbono es de 1.98 g/l, y considerando una composición entre 30 y 40 % de CO₂ la densidad del biogas llega a 1.09 g/l lo que lo hace mas ligero que el aire y puede diluirse fácilmente perdiendo peligrosidad. Si la proporción de CO₂ rebasa 45.7 %, el biogas se vuelve mas denso que el aire subiendo su limite de peligrosidad por varios factores. El biogas puede ser

asfixiante cuando hace que el oxígeno del aire baje al 17.3 %, y se llega al 13 % es positivamente sofocante.

USOS O APLICACIONES DEL BIOGÁS

Según textoscientificos.com (2006), hace mención de que en principio el biogás puede ser utilizado en cualquier equipo comercial diseñado para uso con gas natural. El gráfico que se encuentra a continuación resume las posibles aplicaciones.

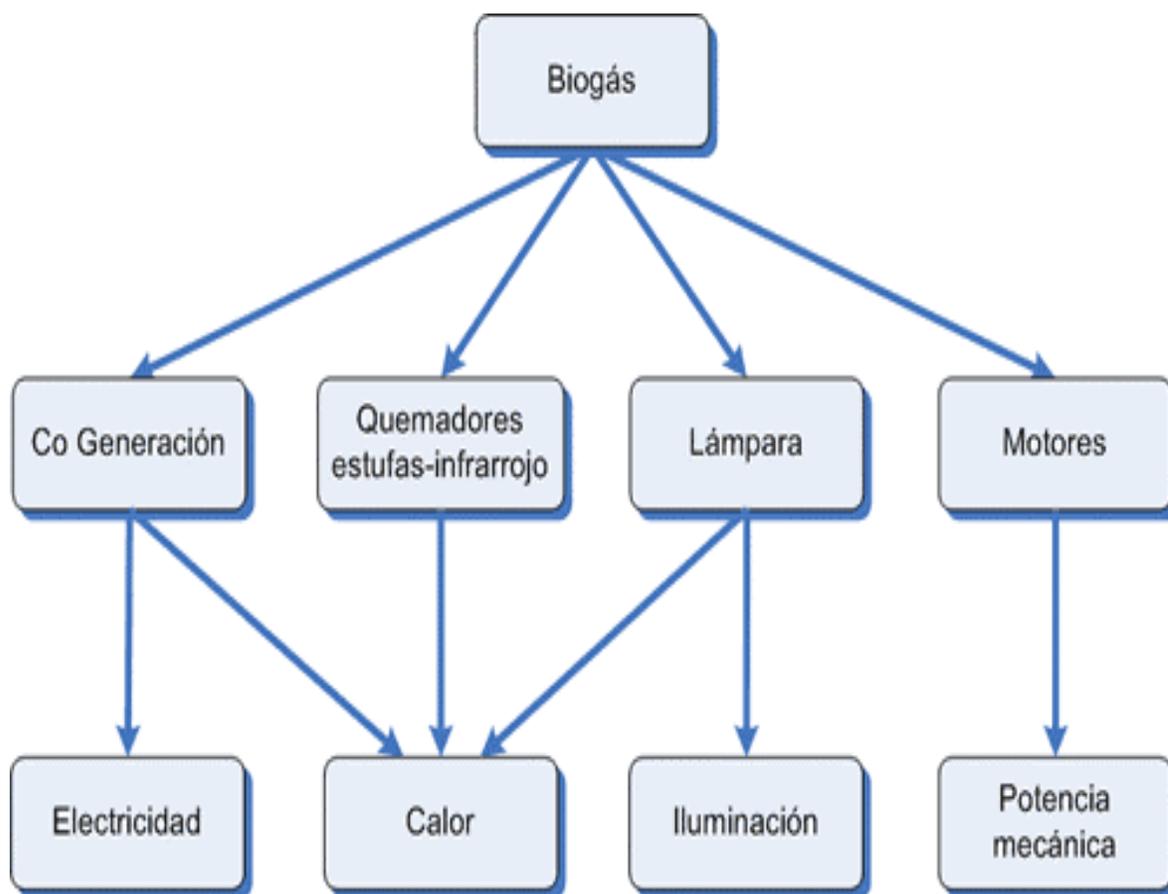


Figura 1. Aplicaciones del biogás (www.textoscientificos.com, 2006)

Diferentes aplicaciones del biogás

En el cuadro 3 se han listado los principales artefactos que utilizan biogás juntamente a su consumo medio y su eficiencia.

Cuadro 3. Principales artefactos que utilizan biogás juntamente a su consumo medio y su eficiencia

ARTEFACTO	CONSUMO	RENDIMIENTO (%)
<i>Quemador de cocina</i>	300 - 600 l/h	50 - 60
<i>Lámpara a mantilla (60W)</i>	120 - 170 l/h	30 - 50
<i>Heladera de 100 L</i>	30 - 75 l/h	20 - 30
<i>Motor a gas</i>	0,5 m ³ /Kwh o Hph	25 - 30
<i>Quemador de 10 kW</i>	2 m ³ /h	80 - 90
<i>Infrarrojo de 200 W</i>	30 l/h	95 - 99
<i>Co generador</i>	1 Kw elect. 0,5 m/kwh 2Kw térmica	hasta 90

Fuente: Sitio Web: [www. textoscientificos.com](http://www.textoscientificos.com), 2006

Las cocinas y calentadores son fácilmente modificables, agrandando el paso del gas de los quemadores. La amplia disponibilidad de este tipo de equipos hace promisorio e interesante su utilización a gran escala.

Las lámparas a gas tienen una muy baja eficiencia y el ambiente donde se las utilice debe estar adecuadamente ventilado para disipar el calor que generan.

Las heladeras domésticas constituyen un interesante campo de aplicación directo del biogás debido a que tienen un consumo parejo y distribuido a lo largo de las 24 horas del día, lo cual minimiza la necesidad de almacenaje del gas. Estos equipos funcionan bajo el principio de la absorción (generalmente de ciclo amoníaco refrigerante - agua absorbente). Recientemente se han desarrollado equipos para el enfriamiento de leche y/u otros productos agrícolas, lo que abre un importante campo de aplicación directa y rentable del mismo.

Los quemadores infrarrojos comúnmente utilizados en la calefacción de ambientes (especialmente en criadores y parideras) presentan como ventaja su alta eficiencia lo cual minimiza el consumo de gas para un determinado requerimiento térmico.

Mismo autor hace mención que el *Biogas* también es utilizado en:

- *motores de combustión interna*
- *En el área rural.*
- *Tratamientos de líquidos cloacales*
- *En rellenos sanitarios*

Motores de combustión interna.

El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto a gasolina como diesel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, por otro lado una desventaja es su baja

velocidad de encendido. En los motores de Ciclo Otto el carburador convencional es reemplazado por un mezclador de gases. Estos motores son arrancados con nafta y luego siguen funcionando con un 100% de biogás con una merma de la potencia máxima de 20% a 30%.

A los motores de Ciclo Diesel se les agrega un mezclador de gases con un sistema de control manteniendo el sistema de inyección convencional. De esta manera estos motores pueden funcionar con distintas proporciones de biogás-diesel y pueden convertirse fácil y rápidamente de un combustible a otro lo cual los hace muy confiables.

El gasoil no puede ser reemplazado en los motores funcionando a campo del 85% al 90%, debido a que la autonomía conseguida es menor comparada con la original.

La proporción de H_2S en el biogás causa deterioros en las válvulas de admisión y de escape de determinados motores obligando a un cambio más frecuente de los aceites lubricantes. El grado de deterioro en los motores varía considerablemente y los resultados obtenidos experimentalmente suelen ser contradictorios.

Los motores a biogás tienen amplio espectro de aplicación siendo los más usuales el bombeo de agua, el picado de raciones y el funcionamiento de ordeñadoras en el área rural. El otro uso muy generalizado es su empleo para activar generadores de electricidad.

Un párrafo aparte merecen los sistemas de cogeneración. Dichos sistemas buscan la mayor eficiencia en el aprovechamiento de la energía contenida en el biogás.

En estos casos la potencia mecánica provista por el eje del motor es aprovechada para generar electricidad a través de un generador. Simultáneamente y por medio de una serie de intercambiadores de calor ubicados en los sistemas de refrigeración (agua y aceite) del motor y en la salida de los gases de escape, se recupera la energía térmica liberada en la combustión interna. De este modo se logra un mejor aprovechamiento de la energía.

La difusión de estos sistemas estará condicionada por la rentabilidad final; sin embargo, representa la utilización más racional del biogás ya que se obtiene una forma de energía extremadamente dúctil como la electricidad al mismo tiempo que una fuente de calor muy necesaria para la calefacción de digestores en zonas frías.

El uso vehicular del biogás es posible y en la realidad se ha empleado desde hace bastante tiempo. Sin embargo su difusión está limitada por una serie de problemas:

- A fin de permitir una autonomía razonable el gas por su volumen debe ser almacenado en contenedores cilíndricos de alta presión (200 a 300 bar.); este tipo de almacenamiento implica que el mismo deba ser purificado antes de su compresión.

- La conversión de los motores es cara (instalación similar a la del GNC) y el peso de los cilindros disminuye la capacidad de carga de los vehículos.
- Por último, la falta de una adecuada red de abastecimiento y la energía involucrada en la compresión a gran escala de este tipo de uso.

Biogas en el área rural.

El biogas en el área rural ha sido muy importante, dentro de ella se pueden diferenciar dos campos claramente distintos. En el primero, el objetivo buscado es dar energía, sanidad y fertilizantes orgánicos a los agricultores de zonas marginales o al productor medio de los países con sectores rurales de muy bajos ingresos y difícil acceso a las fuentes convencionales de energía.

En este caso la tecnología desarrollada ha buscado lograr digestores de mínimo costo y mantenimiento fáciles de operar pero con eficiencias pobres y bajos niveles de producción de energía.

El segundo tipo de tecnología está dirigido al sector agrícola y agroindustrial de ingresos medios y altos. El objetivo buscado en este caso es brindar energía y solucionar graves problemas de contaminación. Los digestores de alta eficiencia desarrollados para esta aplicación tienen un mayor costo inicial y poseen sistemas que hacen más complejo su manejo y mantenimiento.

Ambos tipos de digestores se encuentran hoy día en continua difusión. Los reactores sencillos han tenido una amplia aceptación en China, India, Filipinas y Brasil; debido a que en estos países se ejecutaron importantes planes

gubernamentales que impulsaron y apoyaron con asistencia técnica y financiera su empleo. En el resto de los países del mundo la difusión alcanzada por este tipo de digestores no ha sido significativa

Con respecto a los digestores de alta eficiencia la mayoría se encuentran instalados en Europa (se estima un total de 500 digestores en los países de la CEE.); en el resto del mundo no se ha superado aún la etapa de unidades demostrativas o emprendimientos particulares aislados.

Tratamientos de líquidos cloacales

El tratamiento de líquidos cloacales mediante sistemas anaeróbicos solos o combinados con tratamientos aeróbicos es una técnica muy difundida en todo el mundo desde hace más de 40 años. Para tener una idea de su importancia el gas generado por esta técnica en Europa alcanzaba en el año 1975 un total de casi 240 millones de m³ anuales de biogás.

Recientes progresos en equipos de cogeneración han permitido una más eficiente utilización del gas generado y los continuos avances en las técnicas de fermentación aseguran un sostenido desarrollo en este campo.

Debe tenerse en cuenta que la incorporación de esta tecnología obliga a una estricta regulación en cuanto a tipo de productos que se vierten en los sistemas cloacales urbanos; por este motivo en algunos países donde los desechos industriales son vertidos sin tratar en las cloacas los reactores anaeróbicos han tenido graves problemas de funcionamiento y en muchos casos han sido abandonados.

Rellenos sanitarios

El relleno sanitario, práctica muy difundida en el mundo para eliminar las enormes cantidades de desperdicios generados en las grandes ciudades han evolucionado incluyendo hoy en día modernas técnicas de extracción y purificación del gas metano generado, el cual en décadas pasadas generaba graves problemas, entre los cuales figuraba el ambiental, por muerte de la vegetación que se encontraba en las zonas cercanas, malos olores que molestaban a los residentes y explosivas mezclas de gases que se acumulaban en los sótanos de la vecindad.

El avance de esta técnica ha permitido que importantes ciudades del mundo, como es el caso de Santiago de Chile en América Latina, incluya un importante porcentaje de gas procedente de esta fuente en la red de distribución urbana de gas natural.

Todos los campos de aplicación analizados muestran que la tecnología bajo estudio se encuentra en una franca etapa de perfeccionamiento y difusión.

Las causas que motivarán y regularán su futura expansión se encuentran centradas en dos aspectos críticos del futuro como son la energía y la contaminación.

Según Eco-gel (2006), menciona que el biogas tiene mucha influencia hoy en los países subdesarrollados y en los industrializados y que aumenta la atención por este combustible para tratar de reducir la dependencia actual del petróleo, cada vez a más alto precio.

Cuadro 4. Utilización y Consumo de Biogás

Equipo	Consumo de biogás en m ³ /hora
Estufa de cocina	0.150 – 0.200
Fogón para cocinar alimentos de los alimentos o frutas	0.300
Lámpara de gas equivalente a una bombilla de 60 W	0.100
Calentadores para lechones o cría de levante	0.250
Calentadores para cría de pollos	0.150
Nevera de absorción de amoníaco	-
Motor biogás – diesel por b.h.p	0.420
Producción de 1 kWh de corriente eléctrica con una mezcla biogás diesel	0.700

Fuente: Sitio Web: [www. Eco-gel.com](http://www.Eco-gel.com), 2006; formulación de un programa de normalización para aplicaciones de energías alternativas. UPME. Marzo 2003.

Generación de 1 metro cúbico de biogás totalmente combustionado:

- 1.25 kw/h de electricidad
- 6 horas de luz equivalente a un bombillo de 60 watt
- funcionamiento de un refrigerador de 1 m3 de capacidad durante 1 hora
- funcionamiento de una incubadora de 1 m3 de capacidad durante 30 minutos
- funcionamiento de un motor de 1 HP durante 2 horas

Cuadro 5. Consumo del biogas en litros/hr y kcal/hr considerando un poder calorífico de 6000 kcal/m³.

Uso	litros/hr	kcal/hr
Lámpara de capucho	100	600
Quemador para estufa	320	1620
Quemador para horno	420	2520
Estufa con 4 quemadores y 1 horno	2068	12408
Soplete de gas para plomero	250	1500
Motor de combustión interna	500	---

Fuente: Monroy y Viniegra, 1990.

Cuadro 6. Cantidad de biogas que fluirá a través de 100 cm² y 1" ² para diferentes presiones.

PRESION DEL BIOGAS		FLUJO DEL BIOGAS	
(EN PULGADAS DE AGUA)	MM H ₂ O	Ft ³ /min/in ² (ESPREA)	M ³ /MIN/100 MM ²
4	100	42.5	0.186
5	125	47.5	0.208
6	150	52.0	0.228
7	175	56.0	0.246
8	200	60.0	0.263
9	225	64.0	0.281

Fuente: Monroy y Viniegra, 1990.

Utilización y Almacenamiento de Efluente

Según Eco-gel (2006), el efluente resultante del proceso de digestión anaerobia en el tanque del biodigestor puede ser distribuido directamente al suelo o almacenado para su posterior utilización.

Sus alternativas de uso son variadas. Una de ellas consiste en separarlo en fibra para tratamiento de suelos o para compostaje y en líquido como fertilizante debido a su alto contenido de nutrientes. Este subproducto ayuda a los agricultores rurales o urbanos, a reducir sus requerimientos de fertilizantes sintéticos y ha iniciar un cultivo de tipo orgánico; también es muy útil en el reacondicionamiento de suelos donde se hayan utilizado métodos menos sostenibles.

También se puede utilizar para estimular el crecimiento de algas en estanques piscícolas y/o para proveer alimento a los peces. Debido a su alto contenido orgánico se está utilizando en algunas instalaciones como suplemento alimenticio concentrado, especialmente para ganado bovino estabulado, aunque se recomienda que esta aplicación sea evaluada para cada caso específico.

Los sólidos resultantes de la digestión del estiércol se comercializan solos o mezclados para compostaje y/o para recuperación de suelos, existiendo un importante mercado regional para estos productos.

En calidad de agente químico, resulta un excelente conservante de granos porque se inundan las cámaras de almacenamiento y los insectos que atacan ese alimento no resisten la atmósfera irrespirable que se crea en esos locales.

FERMENTACIÓN ANAEROBIA.

La German Appropriate Technology Exchange (2005), menciona que la fermentación anaerobia es un proceso natural, conocido con el nombre desde tiempos 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 Biogás o gas metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), además de un efluente líquido alcalino que es un excelente abono orgánico. Menciona 3 etapas que intervienen dentro de este proceso, las cuales son:

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 (CH_3COOH) 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.

Textoscientificos.com (2006), menciona que la fermentación anaeróbica es un proceso natural que ocurre en forma espontánea en la naturaleza y forma parte del ciclo biológico. De esta forma podemos encontrar el denominado "gas de los pantanos" que brota en aguas estancadas, el gas natural metano de los yacimientos petrolíferos así como, el gas producido en el tracto digestivo de los rumiantes como los bovinos. En todos estos procesos intervienen las denominadas bacterias metanogénicas.

Principios de la fermentación anaeróbica

Según textoscientificos (2006), la generación de biogás, mezcla constituida fundamentalmente por metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y pequeñas cantidades de hidrógeno (H_2), sulfuro de hidrógeno (SH_2) y nitrógeno (N_2), constituye un proceso vital dentro del ciclo de la materia orgánica en la naturaleza.

Las bacterias metanogénicas en efecto, constituyen el último eslabón de la cadena de microorganismos encargados de digerir la materia orgánica y devolver al medio los elementos básicos para reiniciar el ciclo.

Se estima que anualmente la actividad microbiológica libera a la atmósfera entre 590 y 880 millones de toneladas de metano.

Metanogénesis

Una idea general sobre el proceso microbiológico involucrado en la formación de metano, es necesaria para poder comprender mejor el diseño y funcionamiento de los denominados reactores o digestores productores de biogás.

Prerrequisitos necesarios para iniciar el proceso

La fermentación anaeróbica involucra a un complejo número de microorganismos de distinto tipo los cuales pueden ser divididos en tres grandes grupos principales. La real producción de metano es la última parte del proceso y no ocurre si no han actuado los primeros dos grupos de microorganismos.

Las bacterias productoras del biogas son estrictamente anaeróbicas y por lo tanto, sólo podrán sobrevivir en ausencia total de oxígeno atmosférico. Otra característica que las identifica es la sensibilidad a los cambios ambientales debido a lo cual será necesario un mantenimiento casi constante de los parámetros básicos como la temperatura.

Las dificultades en el manejo de estas delicadas bacterias explican que la investigación sistemática tanto de su morfología como de la bioquímica fisiológica sólo se halla iniciado hace cincuenta años.

Hoy en día gracias a estudios muy recientes podemos conocer mejor el mecanismo y funcionamiento de este complejo sistema microbiológico involucrado en la descomposición de la materia orgánica que la reduce a sus componentes básicos CH_4 y CO_2 .

Etapas intervinientes

Fase de hidrólisis

Las bacterias de esta primera etapa toman la materia orgánica virgen con sus largas cadenas de estructuras carbonadas y las van rompiendo y

transformando en cadenas más cortas y simples (ácidos orgánicos) liberando hidrógeno y dióxido de carbono. Este trabajo es llevado a cabo por un complejo de microorganismos de distinto tipo que son en su gran mayoría anaerobios facultativos.

Fase de acidificación

Esta etapa la llevan a cabo las bacterias acetogénicas y realizan la degradación de los ácidos orgánicos llevándolos al grupo acético $\text{CH}_3\text{-COOH}$ y liberando como productos Hidrógeno y Dióxido de carbono. Esta reacción es endoexergética pues demanda energía para ser realizada y es posible gracias a la estrecha relación simbiótica con las bacterias metanogénicas que substraen los productos finales del medio minimizando la concentración de los mismos en la cercanía de las bacterias acetogénicas. Esta baja concentración de productos finales es la que activa la reacción y actividad de estas bacterias, haciendo posible la degradación manteniendo el equilibrio energético.

Fase metanogénica

Las bacterias intervinientes en esta etapa pertenecen al grupo de las achibacterias y poseen características únicas que las diferencian de todo el resto de las bacterias por lo que las diferencian de todo el resto de las bacterias por lo cuál, se cree que pertenecen a uno de los géneros más primitivos de vida colonizadoras de la superficie terrestre. La transformación final cumplida en esta etapa tiene como principal substrato el acético junto a otros ácidos orgánicos de cadena corta y los productos finales liberados están constituidos por el metano y el

dióxido de carbono. El siguiente gráfico (figura 2) resume las distintas características de cada una de las etapas vistas que por simplificación se han agrupado en dos fases (ácida que involucra la de hidrólisis y acidificación y la metanogénica), con los principales compuestos químicos intervinientes.

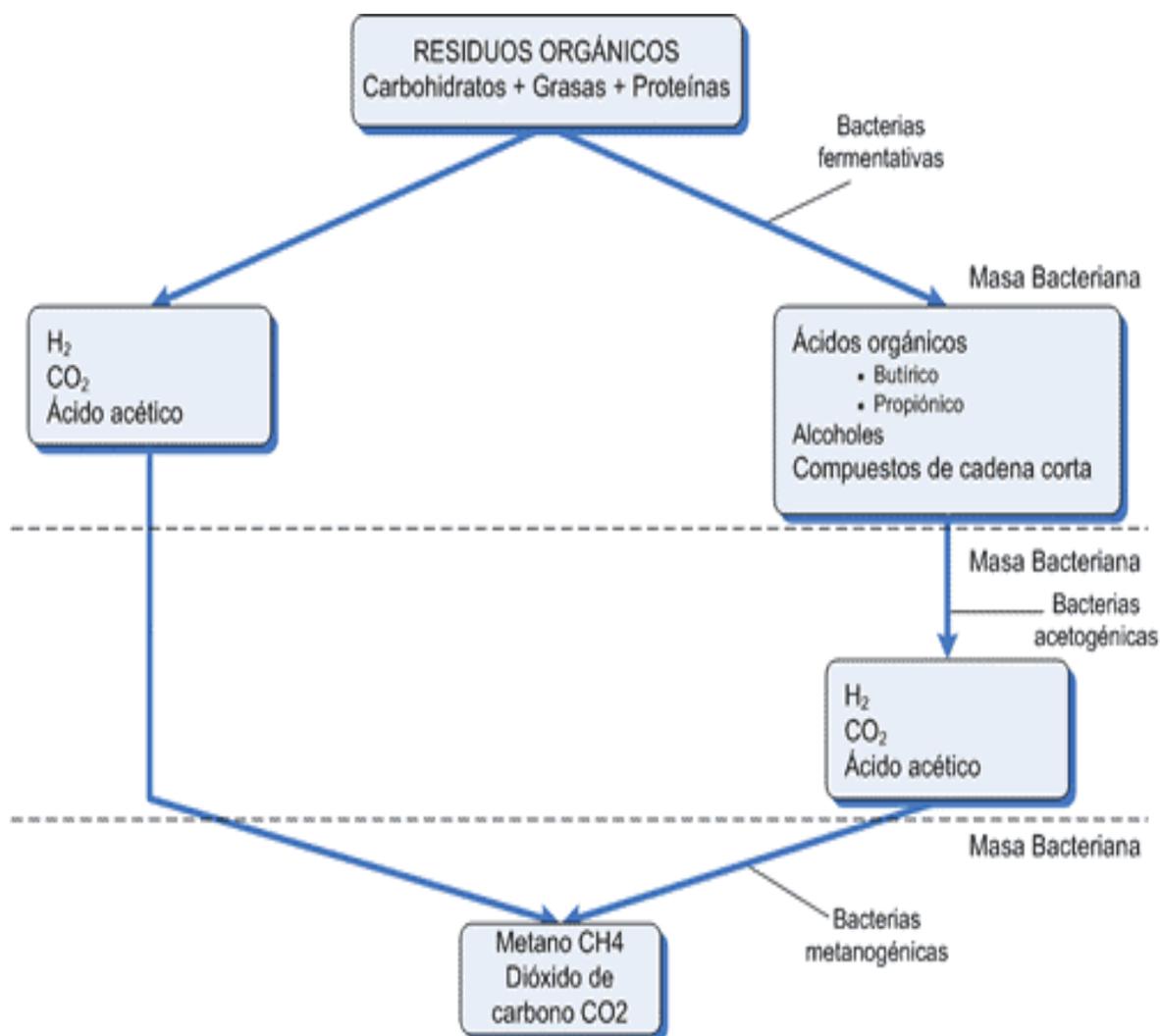


Figura 2. Característica de cada una de las etapas involucradas en la fermentación anaeróbica con los principales compuestos químicos intervinientes. (www.textoscientificos.com, 2006).

Los microorganismos intervinientes en cada fase tienen propiedades distintas que son muy importantes y se las debe conocer para lograr comprender

el equilibrio y funcionamiento óptimo de un digestor. Estas características han sido resumidas en el cuadro 7 para su mejor comprensión.

Cuadro 7. Característica de los microorganismos intervinientes en la fase acidogenica y metanogenica durante el proceso de fermentación.

Fase acidogenica	Fase metanogénica
Bacterias facultativas (pueden vivir en presencia de bajos contenidos de oxígeno).	Bacterias anaeróbicas estrictas (No pueden vivir en presencia de oxígeno).
Reproducción muy rápida (alta tasa reproductiva).	Reproducción lenta (baja tasa reproductiva).
Poco sensibles a los cambios de acidez y temperatura.	Muy sensibles a los cambios de acidez y temperatura.
Principales metabolitos, ácidos orgánicos.	Principales productos finales, metano y dióxido de carbono

Fuente: Sitio Web: www.textoscientificos.com, 2006.

Como vemos el proceso ha sido simplificado aún más reduciendo el mismo a dos fases principales la ácida generadora de productos intermedios y la metanogénica. Del cuadro anterior se desprende que una alteración en los parámetros de funcionamiento incidirá negativamente sobre la fase metanogénica preponderantemente, lo cual significará una merma importante en la producción de gas y una acidificación del contenido pudiéndose llegar al bloqueo total de la fermentación. Debido a la lenta velocidad de recuperación de las bacterias metanogénicas, la estabilización de un digestor “agriado” será muy lenta, de allí la importancia del cuidado de los parámetros que gobiernan el proceso y que veremos a continuación en detalle.

Según Monroy y Viniegra (1990), Durante el proceso de fermentación ocurre una acidificación en el que las bacterias hidrogenicas convierten las

sustancias complejas o polisacáridos en compuestos asimilables por lo que posteriormente las bacterias acidogénicas la transforman en ácidos orgánicos (etanol, propionato, acetato, formato, butirato).

OBJETIVOS BUSCADOS DE LA DIGESTION ANAEROBIA

Según textoscientificos.com (2006), menciona que a lo largo de los años transcurridos, la tecnología de la digestión anaeróbica se fue especializando, abarcando actualmente diferentes campos de aplicación con sus objetivos.

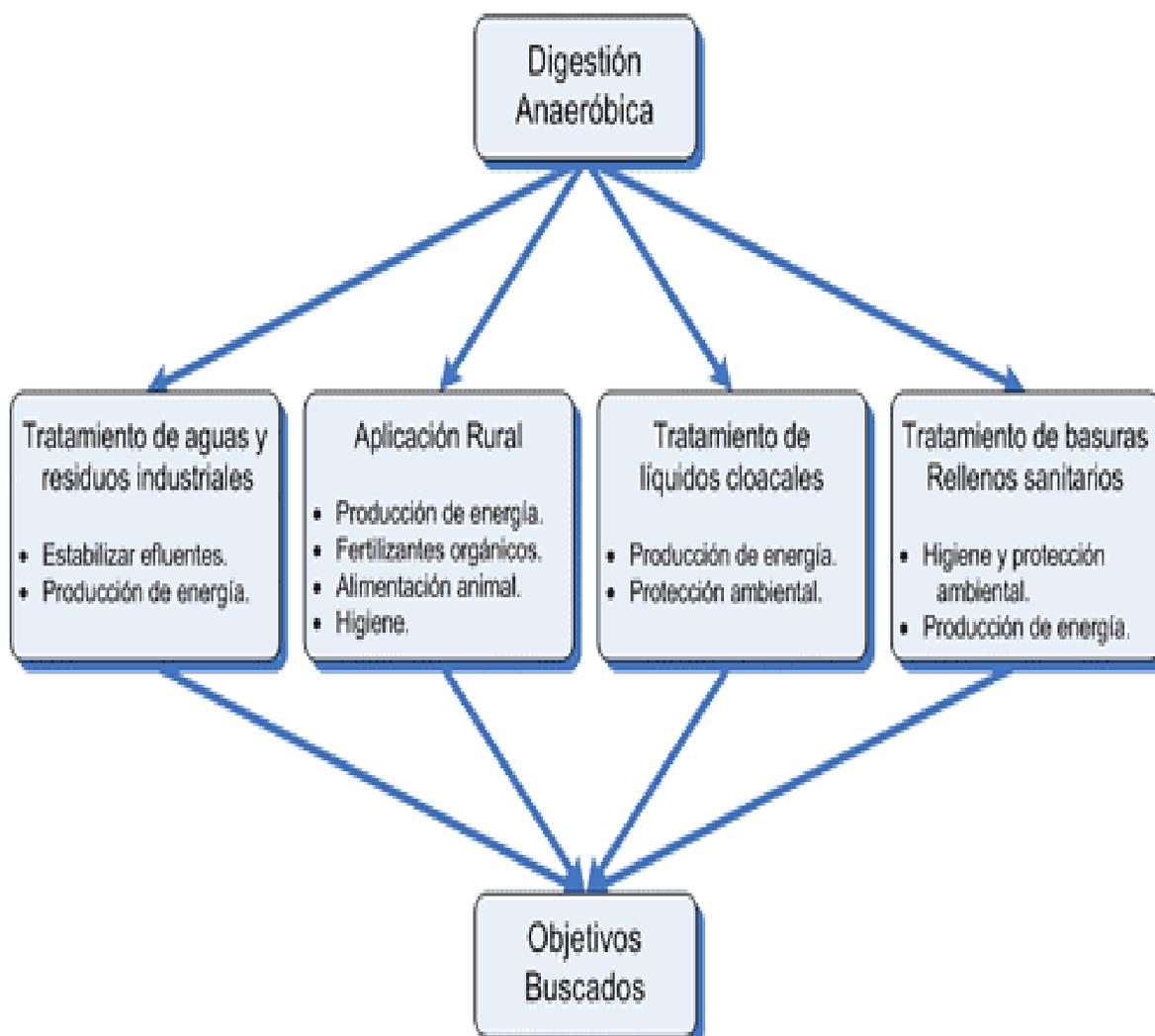


Figura 3: Esquema de los diferentes campos de aplicación de la tecnología de la digestión anaerobia con sus objetivos buscados. (www.textoscientificos.com,2006).

Como puede apreciarse en la figura 3 según los campos de aplicación de la tecnología de la fermentación anaeróbica los objetivos buscados son diferentes o tienen un distinto orden de prioridades. Analizaremos brevemente la evolución y estado actual de cada uno de los campos descritos.

Las plantas de tratamiento de desechos industriales, han tenido una importante evolución en los últimos años y, habiendo superado una primera etapa a nivel piloto en Europa y China, se encuentran actualmente siendo difundidas para determinados fines en combinación con tratamientos aeróbicos convencionales.

Estos reactores anaeróbicos son de enormes dimensiones (más de 1000 m³ de capacidad), trabajan a temperaturas mesofílicas (20°C a 40°C), o termofílicas (más de 40°C) poseen sofisticados sistemas de control y están generalmente conectados a equipos de cogeneración que brindan como productos finales calor, electricidad y un efluente sólido de alto contenido protéico, para usarse como fertilizante o alimento de animales.

A nivel latinoamericano, se ha desarrollado tecnología propia en la Argentina para el tratamiento de vinazas, residuo de la industrialización de la caña de azúcar. En Brasil y Colombia se encuentran utilizando sistemas europeos bajo licencia. El número de reactores de este tipo aún no es importante en el mundo (ejemplo: 130 en la Comunidad Económica Europea) pero los continuos descubrimientos, reducciones de costos y mejoramiento de la confiabilidad hacen suponer un amplio campo de desarrollo en el futuro.

FORMACION DEL METANO.

Según Monroy y Viniegra (1990), el proceso de formación del metano no es propiamente una fermentación, aunque es siempre un proceso anaerobio estricto, y que se denomina en términos genéricos como respiración anaeróbica. La formación del metano se haya precedido de la fermentación, la cual puede ser de diversos tipos, a saber: alcohólica, acética, butírica, propionica, formica, etc.

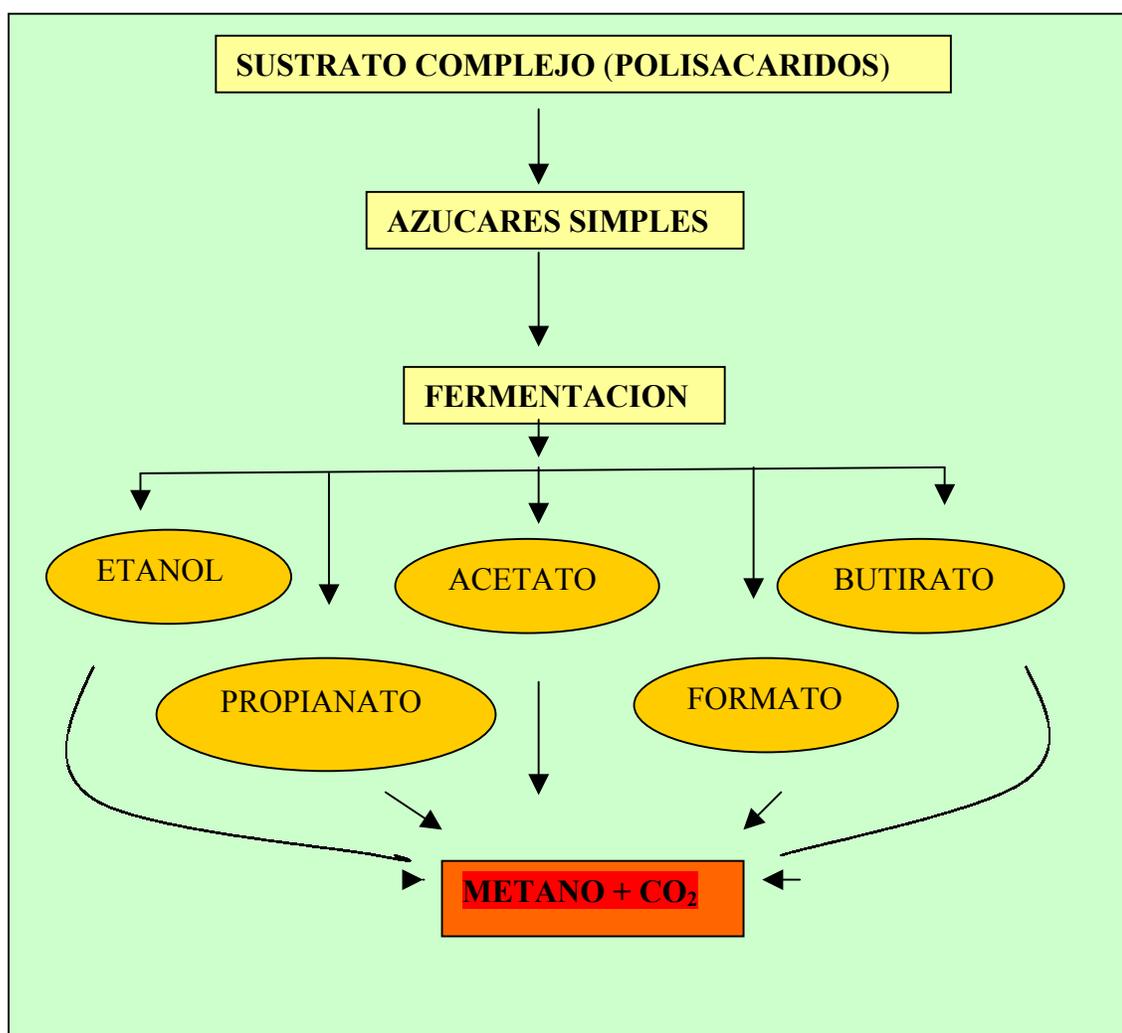


Figura 4. Esquema general de la formación de gas metano durante la fermentación anaerobia de una instalación de un digester experimental. Monroy y Viniegra (1990).

Fermentaron propionica:

Los microorganismos involucrados en este tipo de fermentación pertenecen principalmente a los géneros *Propionibacterium* y *Clostridium*.

Esta fermentación presenta características peculiares, en el sentido de que para la obtención del propiónico participa un complejo enzimático parecido al que se encuentra en el ciclo del ácido tricarboxílico, al menos de oxaloacetato a succinato, hasta la obtención del succinil-CoA (acetil fosfato). Se ha mostrado que después de la fermentación láctica obtenida con inóculos mixtos de estiércol de bovino pasa a propiónico después de 30 horas; es decir, partiendo del lactato, los niveles de ácido propiónico aumentan, sucediendo lo mismo con el ácido acético, el cual aparece siempre en la fermentación propionica como un producto secundario.

Fermentación acética:

En condiciones aerobias, la formación del acetato se inicia con la descarboxilación del piruvato y formación de acetil-CoA, siendo prácticamente la única vía para la formación del ácido acético: A diferencia de la respiración aerobia por fermentación hay una variedad de formas a través de las cuales se pueden llegar a la formación del ácido acético y que pueden ser resumidas en las siguientes tres alternativas:

- a) El piruvato se convierte en acetil-CoA con la formación de H_2 y CO_2 (que no proviene de formato).

- b) El pirubato se convierte en acetyl-CoA (o acetyl fosfato) con la formación de formato, que es descompuesto en CO₂ y H₂.
- c) El pirubato es descarboxilado en acetaldehído y CO₂.

Sin embargo de los tres procesos, el característico del genero *clostridium* es el a), pues el b) corresponde a las enterobacterias, y el c) a las levaduras. Algunas especies de *clostridium* llegan a producir hasta tres moles de acetato, como en el caso del *Cl. Thermoaceticum*, que no libera hidrogeno molecular.

Fermentación butírica:

La fermentación butírica se acompaña de la fermentación de ácido acético (o butírico). Desde un punto de vista energético, la formación de acético como producto final va en detrimento del metabolismo bacteriano, ya que este producto tiende a bajar mucho el pH, lo cual hace difícil la reoxidación de NADH (o NADPH), por el cual, la célula canaliza el acetato hacia un producto más reducido, como propiedades del pH menos ácido, como el ácido butírico.

Esta fermentación, como la propionica, es de tipo cíclico y con características similares a la beta-oxidación de los ácidos grasos, pues durante el ciclo se forman compuestos similares, aunque energéticamente muy diferentes.

El proceso se inicia con la condensación de dos moléculas de acetyl-CoA para la formación de acetoacetyl-CoA compuesto, con el cual se seguirá un proceso reductivo, hasta la formación del producto final, el ácido butírico. El balance energético puede parecerse al de la trayectoria a) de la fermentación

acética, ya que en esta fermentación están involucradas involucrados algunas especies de *clostridium*.

En los sistemas de producción de gas metano, a partir de diversos desechos orgánicos (usualmente el estiércol de bovino), se pueden presentar las fermentaciones mencionadas, puesto que la diversidad microbiana así lo permite, es decir, se ha observado que la mejor producción de metano o biogas es mas factible con los catabolitos de asociaciones microbianas complejas, en la que participan los géneros *Propionibacterium*, *enterobacterias*, *Clostridium*, *Butirobacterium*, etc., en relación estrecha con las bacterias formadoras del metano (metanogénicas).

BACTERIAS METANOGENICAS

Según Monroy y Viniegra (1990), el metano (CH₄), es conocido desde el siglo XVIII como un gas que se desprende de ambientes anaeróbicos ricos en materia orgánica. Es el denominado gas de los pantanos, sin bien en los mismos se haya mezclado con CO₂ y N₂. Puede ser recogido y quemarse con facilidad. El metano es el resultado de la actividad de un grupo muy especializado de bacterias que convierten los productos de fermentación de otros microorganismos anaherobios (especialmente CO₂, H₂, formiato y acetato) bien en metano o bien en metano y CO₂.

Las bacterias metanogénicas han sido relativamente poco estudiados debido a la dificultad que presenta su aislamiento y mantenimiento en cultivo puro. Son bacilos o cocos, móviles o inmóviles, grampositivos o gramnegativos,

estrictamente anaerobios, mucho más sensible al oxígeno y los agentes oxidantes, como el nitrato, que las demás bacterias anaerobias. No pueden utilizar como reductores ni los aminoácidos ni los azúcares. La metanogénesis es obligada, y para reducir el CO_2 a metano solo puede oxidar H_2 , formiato, metanol, metilaminas o acetato, y posiblemente el etanol y el propanol en casos muy especiales.

Las bacterias metanogénicas no han sido estudiadas tanto como otros grupos bacterianos, aunque algo se conoce de ciertas especies del género *Methanobacterium*, *Methanobacillus*, *Methanococcus* y *Methanosarcinas*. Por otro lado, se sabe que las metanobacterias son anaerobias estrictas que se desarrollan en pH neutros (siendo muy sensible a los cambios de este) y que crecen dentro de un amplio intervalo de temperatura. Sin embargo son pocos los conocimientos acerca de la obtención de energía y de los eventos involucrados en el proceso.

FACTORES A TENER EN CUENTA PARA UN BUEN FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA DE BIOGÁS.

Según German Appropriate Technology Exchange (2005), menciona que el proceso de producción de biogás depende de varios parámetros que afectan la actividad bacteriana.

Según ingenieroambiental.com (2006), en el artículo “energías alternativas” hace mención a que la actividad metabólica involucrada en el proceso metanogénico se ve afectada por diversos factores. Debido a que cada grupo de

bacterias intervinientes en las distintas etapas del proceso responde en forma diferencial a esos cambios no es posible dar valores cualitativos sobre el grado que afecta cada uno de ellos a la producción de gas en forma precisa.

Factores a tener en cuenta

Según ingenieroambiental.com (2006), menciona que la actividad metabólica involucrada en el proceso metanogénico se ve afectada por diversos factores. Entre los factores más importantes a tenerse en cuenta se desarrollarán los siguientes:

- Material de carga.
- Temperatura del sustrato.
- La carga volumétrica.
- Tiempo de retención hidráulico.
- Nivel de acidez (Ph).
- Contenido de sólidos.
- Relación Carbono/Nitrógeno.
- Agregado de inoculantes.
- Grado de agitación o mezclado.
- Dilución de la carga.
- La presencia de compuestos inhibidores del proceso.
- Nivel de amoníaco.

Tipo de materia prima o material de carga.

Con respecto a este factor ingenieroambiental.com (2006), menciona que los digestores anaeróbicos pueden ser alimentados con diversos desechos orgánicos. El rendimiento de los mismos está influenciado en gran parte por el contenido en materia orgánica del material, una idea aproximada de dicho contenido nos da el % de sólidos volátiles.

Se denomina así a la cantidad de sólidos que se volatilizan al someter la muestra a 550°C en porcentajes sobre el total (restante luego de 12 horas en la mufla). Otras características que también inciden en la producción son la presencia de antibióticos, detergentes y materiales de difícil digestión como las ligninas (material leñoso).

En el caso de los estiércoles es muy importante tanto la especie del cual proviene, como también el tratamiento al que fue sometido. A medida que se va degradando el material disminuye su parte orgánica y por lo tanto esto se evidencia en una disminución del porcentaje de sólidos volátiles.

De acuerdo con textoscientificos.com (2006), dice que las materias primas fermentables incluyen dentro de un amplio espectro a los excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas de las industrias (producción de alcohol, procesado de frutas, verduras, lácteos, carnes, alimenticias en general), restos de cosechas y basuras de diferentes tipos, como los efluentes de determinadas industrias químicas.

El proceso microbiológico 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).

Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo en la digestión de ciertos desechos industriales puede presentarse el caso de ser necesaria la adición de los compuestos enumerados o bien un post tratamiento aeróbico.

Las sustancias con alto contenido de lignina no son directamente aprovechables y por lo tanto deben someterse a tratamientos previos (cortado, macerado, compostado) a fin de liberar las sustancias factibles de ser transformadas de las incrustaciones de lignina.

En lo atinente a estiércoles animales la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que hayan recibido los mismos. Los valores tanto de producción como de rendimiento en gas de los estiércoles presentan grandes diferencias. Esto es debido al sinnúmero de factores intervinientes que hacen muy difícil la comparación de resultados.

Como norma se deberá tomar en cuenta que a raíz de estar trabajando en un medio biológico sólo los promedios estadísticos de una serie prolongada de mediciones serán confiables siempre y cuando figuren las condiciones en las cuales fueron realizadas las pruebas.

En cuanto al volumen de estiércol producido por las distintas especies animales son variables de acuerdo fundamentalmente al peso y al tipo de

alimentación y manejo de los mismos (cuadro 8). Cuando se encare un proyecto específico se recomienda realizar una serie de mediciones en el lugar donde se emplazará el digestor.

Cuadro 8. Indicativo sobre cantidades de estiércol producido por distintos tipos de animales y el rendimiento en gas de los mismos tomando como referencia el kilogramo de sólidos volátiles.

ESPECIE	PESO VIVO	kg ESTIERCOL/día	L/kg.S.V.	%CH ₄
Cerdos	50	4.5 - 6	340 - 550	65 - 70
Vacunos	400	25 -40	90 - 310	65
Equinos	450	12 - 16	200 - 300	65
Ovinos	45	2,5	90 - 310	63
Aves	1.5	0.006	310 - 620	60
Caprinos	40	1.5	110 - 290	63

L/kg.S.V.= litros por kilogramo de Sólidos Volátiles.

Fuente: Sitio Web: www.textoscientificos.com, 2006.

Temperatura del sustrato

Según ingenieroambiental.com (2006), hace referencia a que este parámetro encuentra importancia no solo en su valor sino también su constancia a través del tiempo.

Según su actividad, las bacterias metanogénicas pueden dividirse según su temperatura ideal de actividad, en mesófilas (30-37°C) y termófilas (50-57°C).

Su razón de que el proceso fermentativo interior no genera una apreciable cantidad de calor, las temperaturas antes citadas deben lograrse mediante calor exterior. Es esta la razón por la cual no obstante el proceso termofílico el que produce mayor cantidad de gas, el mesofílico lleva como ventaja el tener mayor energía neta producida.

El proceso termofílico presenta ventajas en los casos en los que la cantidad de material a digerir es muy grande, dado que a mayores temperaturas el material permanece menos tiempo dentro del digestor (tiempo de retención) y en consecuencia acelera el pasaje evitando el tener que disponer de enormes digestores para realizar la fermentación.

La estabilidad de la temperatura elegida es de suma importancia, dado que las variaciones rápidas mayores en más o menos 2°C influyen negativamente en la estabilidad del digestor y en la producción de gas. Es más conveniente trabajar a menores temperaturas, si resulta difícil mantener las temperaturas mas elevadas. Es aconsejable, cuando se trate de regiones frías, calefaccionar el digestor y obtener así mayores rendimientos y mejor funcionamiento del sistema, o bien aislar convenientemente el biodigestor.

Según textoscientificos.com para que se inicie el proceso se necesita una temperatura mínima de 4° a 5° C y no se debe sobrepasar una máxima de alrededor de 70°C.

En el cuadro 9 se realiza generalmente una diferenciación en tres rangos de temperatura de acuerdo al tipo de bacterias que predominan en cada una de ellas.

Cuadro 9: Concentración de rangos de temperatura de acuerdo al tipo de bacterias que predominan en cada una de ellas y sensibilidad.

BACTERIAS	RANGO DE TEMPERATURAS	SENSIBILIDAD
<i>Psicrofílicas</i>	menos de 20°C	± 2°C/hora
<i>Mesofílicas</i>	entre 20°C y 40°C	± 1°C/hora
<i>Termofílicas</i>	Más de 40°C	± 0,5°C/hora

Fuente: Sitio Web: www.textoscientificos.com, 2006

La actividad biológica y por lo tanto la producción de gas, aumenta con la temperatura. Al mismo tiempo se deberá tener en cuenta que al no generar calor al 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.

Todas estas consideraciones deben ser evaluadas antes de escoger un determinado rango de temperaturas para el funcionamiento de un digestor, ya que a pesar de incrementarse la eficiencia y producción de gas, paralelamente aumentará los costos de instalación y la complejidad de la misma. Los digestores que trabajan a temperaturas meso y termofílicas poseen generalmente sistemas de calefacción, aislamiento y control los cuales son obviados en digestores rurales económicos que trabajan a bajas temperaturas.

La temperatura está íntimamente relacionada con los tiempos que debe permanecer la biomasa dentro del digestor para completar su degradación (Tiempo de Retención Hidráulica, TRH). A medida que se aumenta la temperatura

disminuyen los tiempos de retención y en consecuencia se necesitará un menor volumen de reactor para digerir una misma cantidad de biomasa.

Según German Appropriate Technology Exchange (2005), menciona que la temperatura es un factor importante a tener en cuenta para una adecuada fermentación es la temperatura de la masa durante el proceso. Existen tres rangos de temperatura.

1. 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.
2. Mesofílico. Opera entre los 17 °C y los 40 °C (60 a 104 °F), la temperatura ideal es 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.
3. Termofílico. 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.

Velocidad de carga volumétrica

Según Ingenieroambiental.com (2006), con este término se designa al volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor. Este valor tiene una relación de tipo inversa con el tiempo de retención, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención. Expresa este

parámetro la cantidad de carga de material orgánico que se introduce en el día en el digestor y por unidad de volumen del mismo.

Se expresa como kg. de sólidos volátiles por día y metro cúbico de digestor (kg. S.V./m³ dig.x día) siendo este parámetro de gran importancia pues determina rendimiento para el tipo de digestor.

Todos los parámetros enunciados están interrelacionados entre si, ya que modificaciones en algunos de ellos provoca alteraciones en los demás, siendo ella la razón de que deben tenerse muy en cuenta para el diseño y el dimensionamiento de un digestor.

Es importante tener el dato de los potenciales materiales de carga, para poder modificar la velocidad de carga y obtener la misma producción. Eso sí los potenciales materiales de carga van a estar estrechamente relacionados con el volumen de carga del digestor.

Según textoscientificos.com (2006), existen diferentes formas de expresar este parámetro, siendo los mas usuales los siguientes: kg de materia/día; kg de materia seca/día, kg de sólidos volátiles/día; todos expresados por metro cúbico del digestor.

Las cantidades de sólidos y sólidos volátiles se extraen afectando a las cantidades en Kg. de material cargado, con los porcentajes de sólidos o sólidos volátiles que se obtiene por análisis. (Porcentaje de sólidos sometiendo al sustrato a desecación, 105°C hasta peso constante y extrayendo el siguiente coeficiente: (peso húmedo - peso seco)/peso húmedo). El porcentaje de sólidos volátiles se

obtiene sometiendo la muestra seca a la mufla, 560°C durante tres horas y extrayendo el siguiente coeficiente:

$$1 - \frac{\text{peso seco} - \text{peso ceniza}}{\text{peso seco}}$$

Un factor importante a tener en cuenta en este parámetro es la dilución utilizada, debido a que una misma cantidad de material biodegradable podrá ser cargado con diferentes volúmenes de agua.

Tiempos de Retención (T.R.)

Según textoscientificos.com (2006), este parámetro sólo puede ser claramente definido en los “sistemas discontinuos o batch” donde el T.R. coincide con el tiempo de permanencia del sustrato dentro del digestor.

En los digestores continuos y semicontinuos el tiempo de retención se define como el valor en días del cociente entre el volumen del digestor y el volumen de carga diaria.

De acuerdo al diseño del reactor, el mezclado y la forma de extracción de los efluentes, pueden existir variables diferencias entre los tiempos de retención de líquidos y sólidos debido a lo cual suelen determinarse ambos valores, para lo cual, el T.R. está íntimamente ligado con dos factores: el tipo de sustrato y la temperatura del mismo.

La selección de una mayor temperatura implicará una disminución en los tiempos de retención requeridos y consecuentemente serán menores los

volúmenes de reactor necesarios para digerir un determinado volumen de material.

La relación costo beneficio es el factor que finalmente determinará la optimización entre la temperatura y el T.R., ya varían los volúmenes, los sistemas paralelos de control, la calefacción y la eficiencia.

Con relación al tipo de sustrato, generalmente los materiales con mayor proporción de carbono retenido en moléculas resistentes como la celulosa demandarán mayores tiempos de retención para ser totalmente digeridos.

Según Ingenieroambiental.com (2006), En los digestores continuos y semicontinuos el tiempo de retención se define como el valor en días del cociente entre el volumen del digestor y el volumen de carga diaria.

El T.R. esta íntimamente ligado con dos factores: el tipo de sustrato y la temperatura del mismo. La selección de una mayor temperatura implicará una disminución en los tiempos de retención requeridas y serán menores los volúmenes de reactor necesarios para digerir un determinado volumen de material. El T.R. está íntimamente ligado con dos factores: el tipo de sustrato y la temperatura del mismo. Con relación al tipo de sustrato, generalmente los materiales con mayor proporción de carbono retenido en moléculas resistentes como la celulosa, demandará mayores tiempos de retención para ser totalmente digeridos. La selección de una mayor temperatura implicará una disminución en los tiempos de retención requeridos y consecuentemente serán menores los volúmenes de reactor necesarios para digerir un determinado volumen de material. En el cuadro siguiente (cuadro 10) se observar como se distribuye en

función al tiempo de retención la producción diaria de gas para materiales con distintas proporciones de celulosa.

Cuadro 10. Distribución de la producción diaria de gas para materiales con distintas proporciones de celulosa en función al tiempo de retención.

MATERIA PRIMA	T.R.H.
Estiércol vacuno líquido	20 - 30 días
Estiércol porcino líquido	15 - 25 días
Estiércol aviar líquido	20 - 40 días

Fuente: sitio web www.ingenieroambiental.com, 2006

A modo de ejemplo se dan valores indicativos de tiempos de retención usualmente más utilizados en la digestión de estiércoles a temperatura mesofílica.

El límite mínimo de los T.R. está dado por la tasa de reproducción de las bacterias metanogénicas debido a que la continua salida de efluente del digestor extrae una determinada cantidad de bacterias que se encuentran en el líquido.

Esta extracción debe ser compensada por la multiplicación de las bacterias que pertenecen dentro del reactor. Por esta razón, en los últimos años se han buscado diseños de cámaras de digestión que procuran lograr grandes superficies internas, sobre las cuales se depositan, como una película, las bacterias u otros sistemas que logran retener a las metanogénicas, pudiéndose lograr de este modo T.R. menores.

Según German Appropriate Technology Exchange (2005), cita al respecto que la velocidad de degradación depende en gran parte de la temperatura, pues a

mayor temperatura el tiempo de retención requerido es menor. En el rango criofílico sería aproximadamente 120 días, mientras que en el mesofílico puede durar entre 40 y 55 días. En el rango termofílico tardaría unos 4 a 5 días.

Valor de acidez (pH)

Según Ingenieroambiental.com (2006), menciona que este parámetro nos indica la forma en la cual se desenvuelve la fermentación dentro del digestor. Se mide mediante papeles indicadores o aparatos electrónicos llamados peachimetros, ambos indican un valor numérico llamado Ph. En esta escala el valor 7 indica la neutralidad, los valores inferiores acidez y los superiores alcalinidad.

Cuando los valores superan el Ph 8 esto indica una acumulación excesiva de compuestos alcalinos y el digestor corre el riesgo de putrefacción, los valores inferiores a 6 indican una descompensación entre la fase ácida y la metanogénica, pudiéndose bloquear esta última. Normalmente los digestores no presentan las alteraciones mencionadas exceptuando el período de estabilización luego del arranque inicial o cuando se los somete a violentos cambios ambientales o en el material de alimentación.

Los digestores acidificados pueden volver a estabilizarse luego de un prolongado período. Por esta razón se aconseja no someter a los digestores a fuertes cambios en la temperatura de funcionamiento ni en el material de carga. Si se cumplen estas premisas los digestores funcionan sin interrupción y tienen la capacidad de mantener la estabilidad a pesar de que el material con el cual se los alimenta tenga variaciones en su acidez.

Textoscientificos.com (2006), menciona que 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 (CO_2 - HCO_3) y Amonio -Amoníaco (NH_4 - NH_3) el proceso en sí mismo tiene capacidad de regular diferencias en el pH del material de entrada.

Las desviaciones de los valores normales, es indicativo de un fuerte deterioro del equilibrio entre las bacterias de la fase ácida y la metanogénica, provocado por severas fluctuaciones en alguno de los parámetros que gobiernan el proceso.

Según German Appropriate Technology Exchange (2005), menciona al respecto que en operación normal de un digestor, el pH fluctúa entre 6.8 y 7.6 siendo un buen índice del equilibrio ecológico requerido. Un aumento en el pH es índice de exceso de amoníaco; en tanto que una disminución en el pH es índice de un aumento en el contenido de ácidos grasos volátiles, lo que provoca una menor producción de biogás.

Según Monroy y Viniegra (1990), mencionan que una solución demasiado ácida puede frenar bruscamente el proceso de fermentación. Si el pH aumenta, traerá como consecuencia la formación de CO_2 y el proceso de digestión disminuirá; pero si el pH baja, las bacterias no serán capaces de utilizar los materiales ácidos adecuadamente y el proceso se detendrá completamente. Debido entonces a que las condiciones de trabajo para las bacterias metanogénicas son muy estrictas y en un rango muy limitado y cercano a 8.

Contenido de sólidos

Según Ingenieroambiental.com (2006), menciona que la movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y, por lo tanto, puede verse afectada la eficiencia y producción de gas. Por otro lado podemos encontrar en la literatura datos de producciones de gas importantes logradas en rellenos sanitarios con un alto contenido de sólidos.

En este punto tampoco existen reglas fijas; mediciones realizadas utilizando mezclas de estiércoles animales en agua han determinado que para digestores continuos el porcentaje de sólidos óptimo oscila entre el 8% y el 12%.

Según German Appropriate Technology Exchange (2005), hace mención al respecto que experimentalmente, se ha demostrado que una carga en el digestor que contenga entre un 7 y 9% de sólidos es la óptima para la digestión.

Del total de sólidos, normalmente entre un 70 y 90% son materia orgánica biodegradable, denominándose *sólidos volátiles*.

Inclusión de inoculantes

Según ingenieroambiental.com (2006), el crecimiento bacteriano dentro de los digestores sigue desde su arranque la curva típica graficada en la siguiente figura.

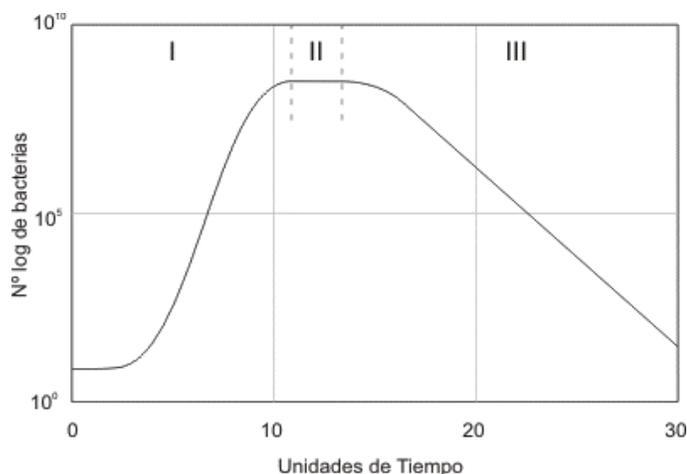


Figura 5. Curva típica de las etapas de crecimiento bacteriano dentro de los digestores (www.Ingenieroambiental.com, 2006).

En la figura 5 pueden distinguirse claramente tres etapas: La de arranque (I), la de estabilización (II) y la de declinación (III).

La primera etapa puede ser acortada mediante la inclusión de un determinado porcentaje de material de otro digestor rico en bacterias que se encuentran en plena actividad. Esto es particularmente importante en los digestores discontinuos que deben ser arrancados frecuentemente. Al llegarse en forma más rápida a la estabilización puede incrementarse la producción de gas por kg. de estiércol.

Los dos factores a tener en cuenta en la inoculación de un digestor es la proporción en que se agrega y la edad del mismo. Cuanto mayor sea la proporción y menor la edad mayor será la eficacia.

Agitación - mezclado

Según textoscientificos.com (2006), los objetivos buscados con la agitación son: remoción de los metabolitos producidos por las bacterias metanógenas,

mezclado del sustrato fresco con la población bacteriana, evitar la formación de costra que se forma dentro del digestor, uniformar la densidad bacteriana y evitar la formación de espacios “muertos” sin actividad biológica.

En la selección del sistema, frecuencia e intensidad de la agitación se deberán realizar las siguientes consideraciones: El proceso fermentativo involucra un equilibrio simbiótico entre varios tipos de bacterias. La ruptura de ese equilibrio en el cuál el metabolito de un grupo específico servirá de alimento para el siguiente implicará una merma en la actividad biológica y por ende una reducción en la producción de gas.

Como conclusión en la elección de un determinado sistema se tendrá siempre presente tanto los objetivos buscados como el prejuicio que puede causar una agitación excesiva debiéndose buscar un punto medio óptimo.

Existen varios mecanismos de agitación utilizados desde los más simples que consisten en un batido manual o el provocado por la entrada y salida de los líquidos hasta sofisticados equipos que involucran agitadores a hélice, recirculadores de sustrato e inyectores de gas.

Inhibidores

Según textoscientificos.com (2006), la presencia de metales pesados, antibióticos y detergentes en determinadas concentraciones pueden inhibir e incluso interrumpir el proceso fermentativo.

Cuando es demasiado alta la concentración de ácidos volátiles (más de 2000 ppm para la fermentación mesofílica y de 3600 ppm para la termofílica se

inhibirá la digestión. También una elevada concentración de Nitrógeno y Amoníaco destruyen las bacterias metanogénicas.

En el cuadro siguiente (cuadro 11) se dan valores de concentraciones de ciertos inhibidores comunes. Valores que se deben tomar como orientativos, puesto que las bacterias intervinientes pueden con el tiempo adaptarse a condiciones que en un principio las afectaba marcadamente.

Cuadro 11. Valores de concentraciones de ciertos inhibidores comunes.

INHIBIDORES	CONCENTRACION INHIBIDORA
<i>SO₄</i>	5000 ppm
<i>NaCl</i>	40000 ppm
<i>Nitrato (según contenido de Nitrógeno)</i>	0.05 mg/ml
<i>Cu</i>	100 mg/l
<i>Cr</i>	200 mg/l
<i>Ni</i>	200-500 mg/l
<i>CN (Después que se han domesticado las bacterias metanogénicas a 2-10 mg/ml).</i>	25 mg/l
<i>ABS (Detergente sintético)</i>	20-40 mg/l
<i>Na</i>	3500-5500 mg/l
<i>K</i>	2500-4500 mg/l
<i>Ca</i>	2500-4500 mg/l
<i>Mg</i>	1000-1500 mg/l

Fuente: sitio web www.textoscientificos.com, 2006

Dilución de la carga

Según Ingenieroambiental.com el material que se utiliza tiene un contenido de humedad variable y se lo mezcla con agua para lograr una dilución adecuada.

Las proporciones de agua son variables y se toma como parámetro el porcentaje de sólidos, valor que representa en forma porcentual el residuo seco que queda luego de someter al material a 105°C hasta constancia de peso (uniforme). Sobre este punto se ha llegado a la conclusión de que trabajando con estiércoles la dilución óptima está alrededor del 9%. En casos especiales, estas diluciones deben reducirse para disminuir la cantidad de amoníaco (estiércol aviar) a alrededor de un 6%.

Estos límites recomendados para las diluciones se logran con una relación agua/estiércol de 1 a 1.5 dependiendo de la humedad y porcentaje de sólidos del estiércol.

En caso de usar restos vegetales, es conveniente que se encuentren finamente picados para evitar atascamientos y costras en la zona superior de los digestores. Por esta razón el material debe ser bien mezclado y homogeneizado antes de su entrada al digestor.

El mezclado se facilita cuando las cargas son preparadas con un día de antelación, de ser posible, en las cámaras de carga, siendo una fermentación aeróbica aconsejable, para obtener una oxidación completa, reducir la acidez, calentar la biomasa, reducir gérmenes patógenos.

Niveles de amoníaco

Según Ingenieroambiental.com (2006), es un parámetro que cobra mucha importancia cuando se utilizan determinados materiales que tienen de él un alto contenido, como lo es el estiércol de las aves.

Para obtener un correcto funcionamiento, los niveles de amoníaco dentro de los digestores deberán ser mantenidos por debajo de los 2.000 mg/litro lo que se logra aumentando las diluciones de entrada del material.

Relación Carbono-Nitrógeno

Según Ingenieroambiental.com (2006), las bacterias necesitan carbono y nitrógeno para vivir, pero usan el primero de 30 a 35 veces más rápidamente que el segundo. Cuando la proporción en la materia bruta es alrededor de 30:1, la digestión ocurre de manera óptima, si las demás condiciones son favorables. Cuando la proporción es baja, hay pérdidas de nitrógeno asimilable, afectando así el valor fertilizante de la materia digerida.

Según German Appropriate Technology Exchange. (2005), la cantidad y la calidad del biogás producido por la materia orgánica al ser sometida a un proceso anaerobio depende de la composición del desecho utilizado.

El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de nutrientes para las bacterias formadoras de metano (metanogénicas).

El carbono es la fuente de energía y el nitrógeno contribuye a la formación de nuevas células en el proceso.

La relación ideal de éstos es de 30:1 hasta 20:1. Si el nitrógeno presente es menor al necesario, se ve limitada la velocidad de producción de biogás; por otra parte, si está en exceso, se produce más amoníaco del requerido, el cual es tóxico e inhibidor del proceso.

Según la fao.org (2005), los desechos animales presentan una relación C:N menor a la óptima, debido a su alto contenido de nitrógeno; los residuos agrícolas, en cambio, contienen poco nitrógeno por lo que suele mezclarse con las excretas para obtener de este modo una óptima relación.

Cuadro 12. Relación carbono: nitrógeno de diversos desechos disponibles en el medio rural.

Material	% N (base seca)	% C (base seca)	C:N
Desechos Animales			
Bovinos	1.7	30.6	18:1
Equinos	2.3	57.6	25:1
Ovinos	3.8	83.6	22:1
Porcinos	3.8	76.0	20:1
Aves	6.3	50.0	7.9:1
Excretas humanas	0.85	2.5	3:1
Desechos Vegetales			
Paja de trigo	0.53	46.0	87:1
Paja de arroz	0.63	42.0	67:1
Rastrojo de maíz	0.75	40.0	53:1
Hojas secas	1.00	41.0	41:1
Rastrojo de soya	1.30	41.0	32:1

Fuente: sitio web www.fao.org. 2005

BENEFICIOS DE LA TECNOLOGIA DEL BIOGAS

De acuerdo a oni.escuelas.edu.ar (2002), hace referencia de algunos beneficios más sobresalientes que proporciona la utilización del biogás.

1. Producción de energía (calor, luz, electricidad)
2. Transformación de desechos orgánicos en fertilizante de alta calidad.
3. Mejoramiento de las condiciones higiénicas a través de la reducción de patógenos, huevos de gusano y moscas.
4. Reducción en la cantidad de trabajo relacionado con la recolección de leña para cocinar (principalmente llevado a cabo por mujeres)
5. Ventajas ambientales a través de la protección del suelo, del agua, del aire y la vegetación leñosa, reducción de la deforestación.
6. Beneficios microeconómicos a través de la sustitución de energía y fertilizantes, del aumento en el ingreso y del aumento en la producción agrícola y ganadera.
7. Beneficios macro-económicos, a través de la generación descentralizada de energía, reducción de los costos de importación y protección ambiental.

BIODIGESTORES.

De acuerdo con Proyectos Fin de Carrera (2005), el biodigestor es un recipiente cerrado o tanque 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 producto del lavado de instalaciones) 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 biogás.

Características del digestor

Según Alkalay D. en su artículo “aprovechamiento de desechos agropecuarios para la producción de energía” menciona que para una buena operación, es necesario que el digestor reúna las siguientes características:

- Hermético, para evitar fugas del biogás o entradas de aire.
- Térmicamente aislado, para evitar cambios bruscos de temperatura.
- El contenedor primario de gas deberá contar con una válvula de seguridad.
- Deberán tener acceso para mantenimiento.
- Deberá contar con un medio para romper las natas que se forman.

Criterios a considerar en el diseño de un biodigestor

Según biodigestores.doc citado por Fundación Habidad los siguientes son los aspectos a tener en cuenta en el diseño, planificación y construcción de un biodigestor:

Factores humanos

- Idiosincrasia
- Necesidad, la cual puede ser sanitaria, energía y de fertilizantes.
- Recursos disponibles de tipo económicos, materiales de construcción, mano de obra, utilización del producto, área disponible.
- Disponibilidad de materia prima, si se cuentan con desechos agrícolas, desechos pecuarios, desechos domésticos, desechos urbanos, desechos industriales.

Factores biológicos

- Enfermedades y plagas tanto humanas como pecuarias y agrícolas

Factores físicos

- Localización. La ubicación si es en zona urbana, rural o semi-urbana y la geografía aspectos como la latitud, longitud y altitud.
- Climáticos. Dentro de estos aspectos están las temperaturas máximas y mínimas, la precipitación pluvial, la humedad ambiental, la intensidad solar, los vientos su intensidad y dirección.
- Vías de acceso.
- Topografía. Teniendo en cuenta el declive del suelo: si es plano, ondulado, o quebrado.

- Suelos. Con sus características como la textura, estructura, nivel freático y capacidad agrológica.

Factores de construcción

- Técnicas de construcción si es de tierra compactada, cal y canto o ladrillo (barro cocido, suelo-cemento, silico-calcáreo), planchas prefabricadas, ferrocemento, concreto, módulos prefabricados.

Factores utilitarios

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

Tipos de digestores

En forma general se clasifican, según su modo de operación, en los siguientes: de régimen estacionario o de Batch, de régimen semicontinuo, horizontales de desplazamiento y de régimen continuo.

Los de régimen estacionario son muy utilizados para obtener fertilizante orgánico y consisten de tanques herméticos con una salida de gas. Se cargan una sola vez y se descargan cuando han dejado de generar gas (CEMAT, 1977).

Los de régimen semicontinuo se construyen enterrados, se cargan por gravedad una vez al día, en la parte superior flota una campana donde se almacena el gas (Viñas, 1994).

Los horizontales de desplazamiento también se construyen enterrados semejantes a un canal, se operan a régimen semicontinuo, entrando la carga por un extremo del biodigestor y saliendo el efluente por el extremo opuesto.

Los de régimen continuo se utilizan principalmente para tratamiento de aguas negras; son plantas muy grandes que emplean equipos para proporcionar calefacción y agitación, éstos generalmente son de tipo industrial (Mandujano, 1981).

Según Alkalay D. (2005), menciona que los tipos de biodigestores se clasifican Según su modo de operación en:

- Por lotes o «batch»
- Régimen semi continuo
- Horizontales (flujo tapón)
- Régimen continuo

Digestores por lote

Se cargan de una vez en forma total, descargándose cuando han dejado de producir biogás o la biomasa está suficientemente degradada. Consisten en tanques herméticos con una salida de gas conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás.

Digestores de régimen semi continuo

Es el tipo de digestores más usado en el medio rural, cuando se trata de sistemas pequeños para uso doméstico. Los que más difusión tuvieron en un principio fueron el tipo Chino y el tipo Hindú. Más adelante se han desarrollado nuevas tecnologías de diversas aplicaciones.

Digestores horizontales

Se construyen enterrados y son poco profundos y alargados, semejando un canal y de sección transversal circular, cuadrada o en «V». Se opera a régimen semi continuo y se recomienda cuando se requiere trabajar con volúmenes mayores a los 15 m³.

Digestores de régimen continuo

Fueron desarrollados principalmente para el tratamiento de aguas negras, extendiéndose su uso, en la actualidad, al manejo de otros sustratos. Por ser plantas muy grandes y contar con equipamiento apropiado, este tipo de plantas genera una gran cantidad de biogás, el que es aprovechado en aplicaciones industriales.

Otros tipos de digestores

En busca de una mayor eficiencia en la generación de biogás, se han desarrollado diversos tipos de digestores, entre ellos el filtro anaerobio, que proporciona grandes ventajas frente a los digestores convencionales (menor tiempo de retención), lográndose reducir en forma significativa el tamaño de la planta (con la consecuente disminución de costos de instalación y operación).

Según Lugones B., miembro de cubasolar, menciona que existen dos clasificaciones generales para las plantas de producción de biogás en cuanto a su capacidad: las instalaciones industriales y las de pequeña capacidad o minidigestores. Los minidigestores pueden operar de diferentes maneras: por lote, semicontinuo y continuo.

Actualmente se conocen dos diseños tradicionales de biodigestores de pequeña capacidad (hasta 50 m³) de producción de biogás, en dependencia de su origen: «hindú» y «chino».

Biodigestor tipo hindú.

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

Dado que la India es pobre en combustibles convencionales, el Gobierno organizó la KVICK (Kaddi Village Industri Commision), 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 Biogas para designar a este combustible obtenido a partir del estiércol animal

El biodigestor hindú (figura 6) se distingue por el uso de una campana móvil, que asciende al aumentar la presión del gas dentro de ella; esta puede ser de metal, hormigón o plástico. Además, el digestor está compuesto por un tanque de almacenamiento en forma cilíndrica, que puede ser construido de piedra, ladrillo y hormigón. Para permitir la entrada de la materia orgánica y la salida del biofertilizante se emplean dos tubos (de plástico, fibrocemento, cerámica u otros) que conectan el tanque de almacenamiento con el de carga y descarga; también cuenta con tuberías, válvulas de corte y seguridad que garantizan el buen funcionamiento del biodigestor.



Figura 6: biodigestores tipo hindú para la producción de biogas

Biodigestor tipo chino.

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

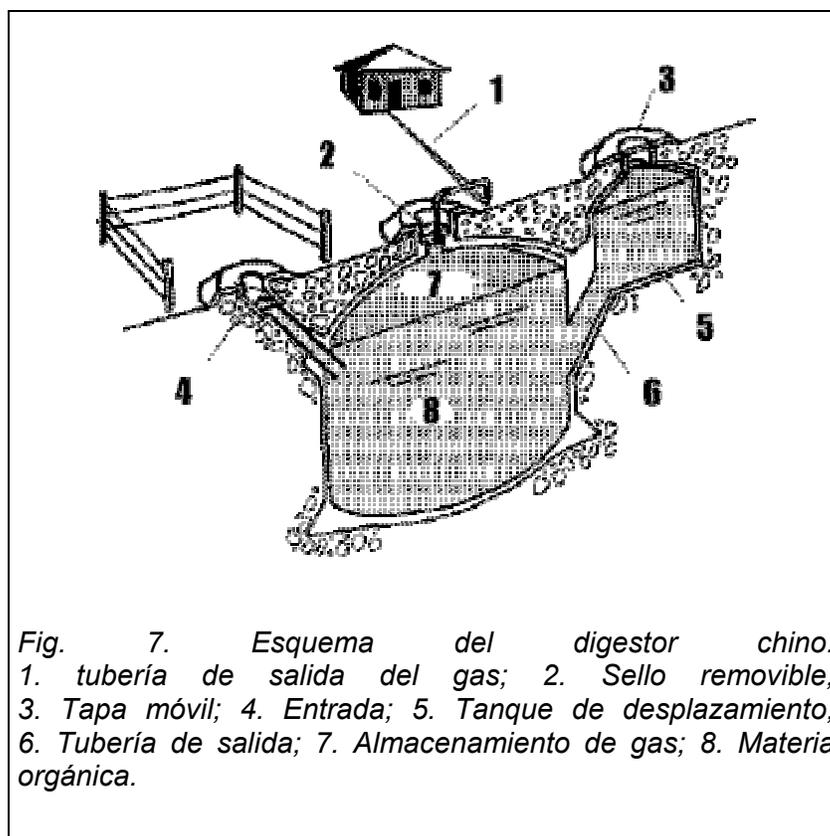
El gran problema de La China en ese momento no era energético, sino sanitario y alimenticio; para resolver estos dos graves problemas se desarrollo específicamente el Digestor Tipo Chino

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 sanitarios y de contaminación ambiental 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. 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.

El diseño del tipo chino (figura 7) utiliza para el almacenamiento del biogás una cúpula fija unida al tanque de almacenamiento, que puede ser de ladrillo o de

elementos prefabricados de hormigón. Estas instalaciones tienen como ventaja su elevada vida útil (pueden llegar como promedio a 20 años), siempre que se realice un mantenimiento sistemático. Estos sistemas poseen como desventaja el alto costo de la inversión inicial; por ejemplo, una instalación de 5 m³, que permite la elaboración de alimentos para familias de cuatro personas, tiene una inversión inicial de \$700 a \$900 USD, lo que ha impedido su generalización en América Latina.



Plantas hechas de polietileno

En la actualidad se han probado nuevos diseños que han logrado disminuir considerablemente los costos iniciales de los biodigestores. Una de estas instalaciones son las plantas de biogás hechas de polietileno (Fig. 8). Este sistema

puede tener distintas configuraciones: alargado, en forma de gusano o en forma de saco, y es de fácil instalación. Los componentes fundamentales de este biodigestor son: un bolso de polietileno de película delgada capaz de soportar las presiones normales de trabajo del biogás y donde se almacena la excreta mezclada con agua; siempre se debe dejar el volumen necesario para almacenar el biogás; con el fin de lograr el buen funcionamiento de la instalación son necesarios otros accesorios como: válvulas de corte, de seguridad, tuberías y adaptadores.

Este tipo de instalación es muy económica, el costo de un biodigestor es de \$50 USD/por cada cuatro personas. Entre sus desventajas se halla su bajo tiempo de vida útil, lo que hace necesario montar una nueva instalación cada tres años. También es muy vulnerable a sufrir roturas por condiciones climáticas adversas, por las acciones del hombre y los animales.

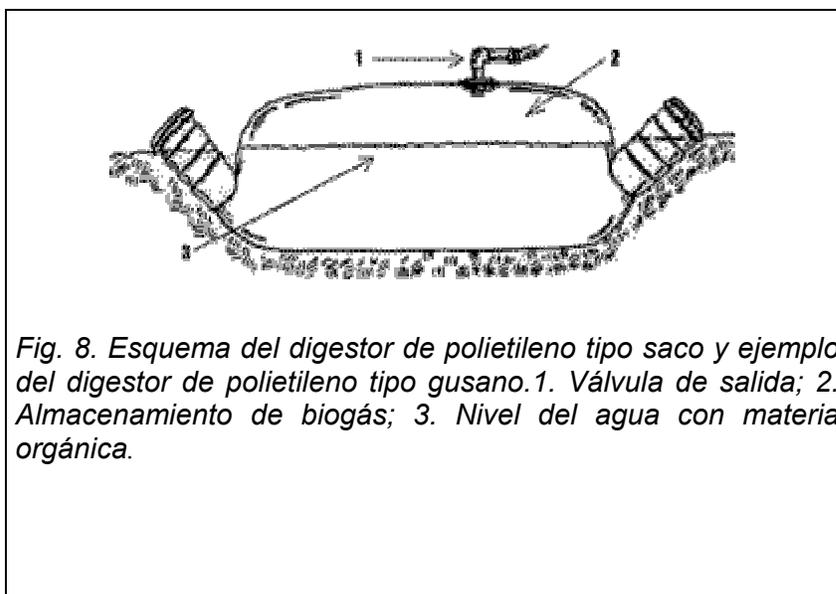


Fig. 8. Esquema del digestor de polietileno tipo saco y ejemplo del digestor de polietileno tipo gusano. 1. Válvula de salida; 2. Almacenamiento de biogás; 3. Nivel del agua con materia orgánica.

Otro tipo de planta de producción de biogás que ha logrado disminuir los costos hasta 30 % con respecto a los prototipos tradicionales (Fig. 9), es la que se caracteriza por tener una estructura semiesférica de polietileno de película delgada en sustitución de la campana móvil y la cúpula fija, y un tanque de almacenamiento de piedra y ladrillo como los empleados en los prototipos tradicionales. Este tipo de instalación posee a su favor que resulta más económica que los sistemas tradicionales; por ejemplo, una instalación de 4 m³ puede costar, aproximadamente, \$550 USD, y la estructura de polietileno flexible puede llegar a alcanzar hasta diez años de vida útil.

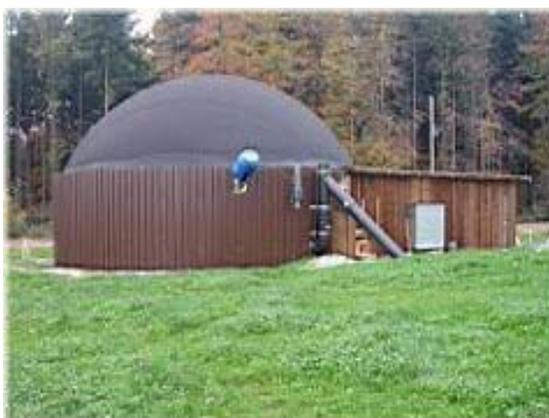


Figura 9: biodigestor con estructura semiesférica de polietileno de película delgada

Instalaciones industriales

Las instalaciones industriales de producción de biogás (Fig. 10) emplean tanques de metal que sirven para almacenar la materia orgánica y el biogás por separado.

Este tipo de planta, debido al gran volumen de materia orgánica que necesita para garantizar la producción de biogás y la cantidad de biofertilizante

que se obtiene, se diseña con grandes estanques de recolección y almacenamiento contruidos de ladrillo u hormigón.

Con el objetivo de lograr su mejor funcionamiento se usan sistemas de bombeo para mover el material orgánico de los estanques de recolección hacia los biodigestores, y el biofertilizante de los digestores hacia los tanques de almacenamiento. También se utilizan sistemas de compresión en los tanques de almacenamiento de biogás con vistas a lograr que éste llegue hasta el último consumidor.

Para evitar los malos olores se usan filtros que separan el gas sulfhídrico del biogás, además de utilizarse válvulas de corte y seguridad y tuberías para unir todo el sistema y hacerlo funcionar según las normas para este tipo de instalación.

La tendencia mundial en el desarrollo de los biodigestores es lograr disminuir los costos y aumentar la vida útil de estas instalaciones, con el objetivo de llegar a la mayor cantidad de usuarios de esta tecnología.



Figura 10: biodigestores con instalaciones industriales de producción de biogás.

Digestores de Segunda y Tercera Generación

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.

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.

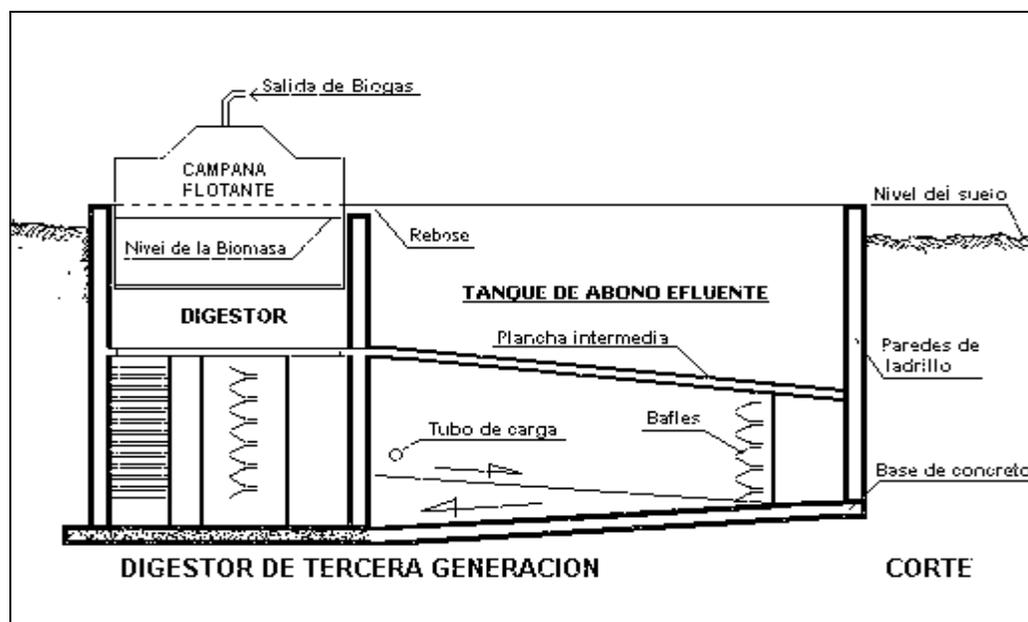


Figura 11. Esquema de un biodigestor de segunda generación.

Ventajas y desventajas en el uso de biodigestores.

Ventajas:

Según eco-gel hace referencia a que la gestión de Residuos Sólidos Urbanos es un grave problema en la mayoría de los centros urbanos. La disposición de estos residuos en rellenos sanitarios constituye un problema ambiental toda vez que se rompe el ciclo natural de descomposición, se

contaminan las fuentes de agua subterránea debido a la lixiviación y favorece la generación de patógenos.

- Los residuos sólidos orgánicos, sean de origen urbano o rural al ser introducidos en el biodigestor son descompuestos por bacterias, en diferentes rangos térmicos, de modo que se completa un ciclo natural y las basuras orgánicas se convierten en abono orgánico. Su uso pues es una alternativa para evitar la contaminación de suelos y corrientes de agua. Por otro lado se evita la expulsión al aire del gas Metano, considerado el principal componente de los gases de efecto invernadero y cuyo tratamiento adecuado es quemarlo.

- Se optimiza el material orgánico utilizado, ya que se captan todos los productos y subproductos (gases y líquidos con sólidos disueltos) generados en la degradación, por lo cual existe poca pérdida de elementos nutritivos, cosa que no sucede en la biodegradación aerobia.

- Los residuos orgánicos obtenidos después de la biodegradación anaerobia (efluente) tienen mayor riqueza nutricional que los obtenidos en la biodegradación aerobia (Noyola y Monroy, 1994).

Otras ventajas según biodigestores.doc citado por Fundación Habitat son las siguientes:

1. Permite disminuir la tala de los bosques al no ser necesario el uso de la leña para cocinar.
2. Humaniza el trabajo de los campesinos, que antes debían buscar la leña en lugares cada vez más lejanos.

3. Diversidad de usos (alumbrado, cocción de alimentos, producción de energía eléctrica, transporte automotor y otros).
4. Produce biofertilizante rico en nitrógeno, fósforo y potasio, capaz de competir con los fertilizantes químicos, que son más caros y dañan el medio ambiente.
5. Elimina los desechos orgánicos, por ejemplo, la excreta animal, contaminante del medio ambiente y fuente de enfermedades para el hombre y los animales.

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

- Mejora la capacidad fertilizante del estiércol. Todos los nutrientes tales como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio así como los elementos menores son conservados en el efluente. En el caso del nitrógeno, buena parte del mismo, presente en el estiércol en forma de macromoléculas es convertido a formas más simples como amonio (NH_4^+), las cuales pueden ser aprovechadas directamente por la planta. Debe notarse que en los casos en que el estiércol es secado al medio ambiente, se pierde alrededor de un 50% del nitrógeno.
- El efluente es mucho menos oloroso que el afluente.
- Control de patógenos. Aunque el nivel de destrucción de patógenos variará de acuerdo a factores como temperatura y tiempo de retención, se ha

demostrado experimentalmente que alrededor del 85% de los patógenos no sobreviven el proceso de biodigestión. En condiciones de laboratorio, con temperaturas de 35 °C los coliformes fecales fueron reducidos en 50 – 70% y los hongos en 95% en 24 horas.

Desventajas:

Según biodigestores.doc citado por Fundación Habitat hace referencia a que algunas desventajas que se presenta en el uso de biodigestores son:

1. El digester debe encontrarse cercano a la zona donde se recoge el sustrato de partida y a la zona de consumo.
2. Debe mantenerse una temperatura constante y cercana a los 35°C. Esto puede encarecer el proceso de obtención en climas fríos.
3. Es posible que, como subproducto, se obtenga SH₂, el cual es tóxico y corrosivo, dependiendo del sustrato de partida y de la presencia o no de bacterias sulfatorreductoras. La presencia de SH₂ hace que se genere menos CH₄, disminuyendo la capacidad calorífica del biogás y encarece el proceso por la necesidad de depurarlo.
4. Necesita acumular los desechos orgánicos cerca del biodigestor.
5. Riesgo de explosión, en caso de no cumplirse las normas de seguridad para gases combustibles
6. El material orgánico obtenido de este tipo de biodegradación es líquido.
7. Al aplicarse en forma líquida en suelos permeables existe mucha pérdida por lixiviación de algunos de sus componentes.

OPERACIÓN DE UNA PLANTA DE BIOGAS.

Según ingenieroambiental.com (2006) la producción de biogás depende en gran parte del tiempo de retención, el porcentaje de sólidos totales y la temperatura a los cuales se lleva a cabo el proceso.

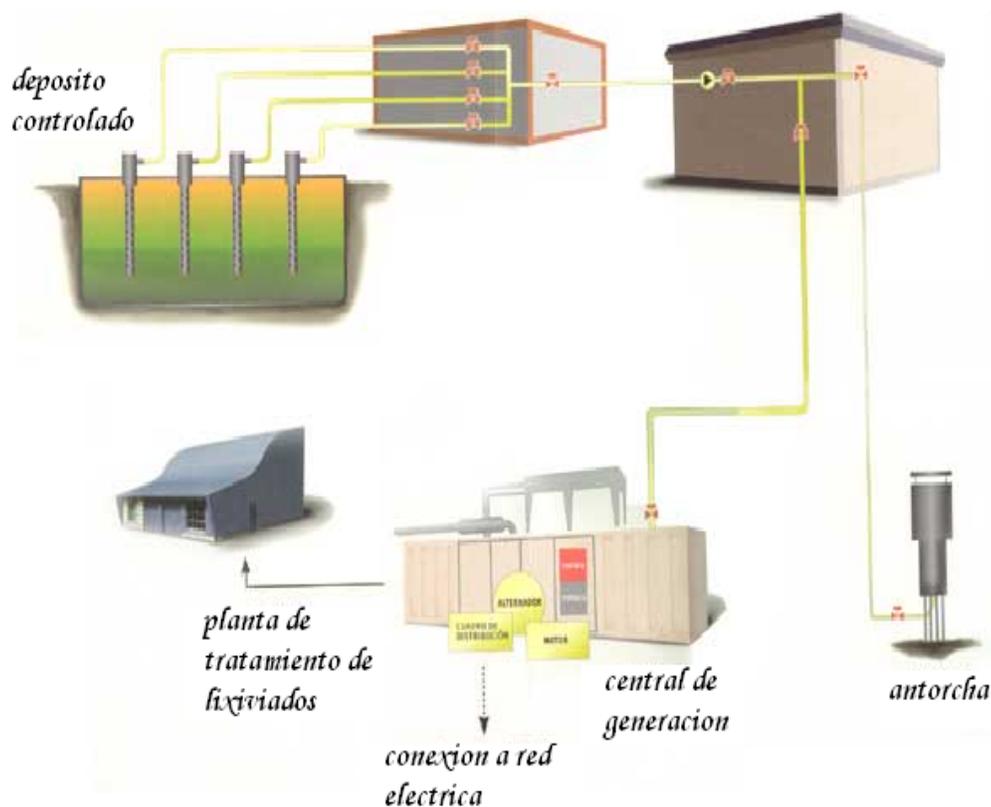


Figura 12. Diagrama de operación de una planta de biogas. (Sitio Web: www.ingenieroambiental.com, 2006)

En el caso específico del medio rural, donde hay cierta limitación en la disponibilidad de desechos, no siempre sería factible manejar tiempos de retención muy cortos, por lo que normalmente se opta por tiempos de retención o fermentación de 20 a 45 días. Como ya se señaló, el volumen de carga diaria será igual al volumen de digestor dividido entre el tiempo de retención.

Tampoco es posible controlar el porcentaje de sólidos en forma precisa, siendo suficiente el dar indicaciones de agregarle 1 a 1.5 volúmenes de agua por cada volumen de estiércol fresco que se va a alimentar al sistema y en esta forma completar la carga diaria. Por ejemplo, para cargar un digestor de 4m³, se indicaría al usuario que diariamente agregue 4 cubetas llenas de estiércol fresco y entre 4y 6 cubetas de agua, según lo seco que esté en estiércol en esa época del año. Este régimen de carga llevaría a trabajar en condiciones de operación de aproximadamente 30 días de tiempo de retención y 8% de sólidos totales. También es conveniente señalar que el estiércol y el agua se deberán homogenizar lo mejor posible, mezclándolos muy bien en la pileta de carga antes de que entren al digestor.

La temperatura es otro parámetro muy difícil de controlar en el medio rural. Como ya se señaló, el construir el digestor enterrado ayuda a aislarlo térmicamente. Cuando es posible, se recomienda acoplar al digestor un calentador solar de agua, ya que al usar agua caliente para realizar la carga diaria se obtiene un incremento importante en la cantidad de biogás producido.

Es esencial que todos los componentes del sistema estén libres de fugas de gas para eliminar pérdidas del mismo, y acumulación de gas combustible en áreas confinadas, por motivos de seguridad, así como la entrada de aire al sistema lo que inhibe el proceso. Por lo tanto, se deberán efectuar inspecciones rutinarias por lo menos una vez por semana, para asegurar que no se presente este tipo de fallas, y permitir su corrección en el momento de ser detectadas.

En las ocasiones en que se vacía el digestor, se deberá efectuar una inspección cuidadosa del interior del mismo para detectar y corregir problemas de

construcción que pudieran haberse presentado. Se deberá también aplicar un recubrimiento a base de pintura anticorrosiva a todas las partes metálicas internas del sistema, así como a las tuberías y conexiones en constante contacto con el biogás.

BIOGÁS, UNA ECONÓMICA Y ECOLÓGICA FUENTE DE ENERGÍA

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, en particular los principales, el combustible, los lodos y líquidos y los 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.

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.

Estudios realizados sobre biogas según redpav-fpolar.info.ve (2005), mencionan los trabajos de algunos investigadores, quienes la llevaron a cabo en años anteriores en el cual a través de sus investigaciones Mandujano (1979), Cowley y Wase (1981), Mandujano y Martínez (1981) sostienen que el estiércol de ganado presenta alta concentración de nitrógeno que favorece el incremento acelerado de la flora bacteriana en comparación con la bora vegetal.

MATERIALES Y METODOS

Localización geográfica y caracterización del área experimental.

El presente trabajo se desarrollo en el campus de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en el área de Agrotecnia, en Buenavista, Saltillo, Coahuila en el año 2005. El campus se localiza al sur de la ciudad de Saltillo en el Km. 10 de la carretera a Zacatecas, entre los paralelos 25°22' y 25°21' de latitud Norte y los meridianos 101°01' y 101°03' de longitud oeste, con una altitud de 1754 m.s.n.m. El clima es seco y templado con lluvias en verano principalmente. La temperatura media anual de 17.8 °C con una oscilación media de 10.4 °C y una precipitación media anual de 490 mm, teniendo una humedad relativa media anual de 64.8 %.



Figura No 13. Localización de la universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en la republica mexicana.

Materiales utilizados.**Material biológico.**

- Agua de llave sin tratar con cloro, el cual presentó un pH de 7.4.
- Estiércol de bovino cribado.

Materiales de campo.

- Para la construcción de los biodigestores se utilizó:
 - 12 cubetas de plástico con capacidad de 20 lts.
 - Llaves comerciales de cobre para gas.
 - Tubos de ½ “de pvc.
 - Codos de ½ “de pvc.
 - Mangueras delgadas para la recolección de gas.
 - Silicón
 - Empaques.
 - 12 Bolsas de polietileno color negro de 80 cm. de largo x 10 cm. de diámetro, este para recolección de gas, confeccionados por nosotros mismos.
- Cinta métrica.
- Tanque o recipiente metálico para la colocación de biodigestores en baño maría.

Materiales de laboratorio.

- Potenciómetro para la toma de pH marca Orión.
- Flujometro o analizador de CO₂/H₂O Li-Cor.
- Balanza analítica de 200 gr. de capacidad marca Ohaus.

- Termómetro para la medición de temperatura.
- Vasos deprecipitados (500 ml).
- Matraces de 1 lt.
- Sellador térmico de bolsas de plástico.

Metodología y establecimiento del experimento.

FASE I

Esta fase llamada de prueba o adaptación, se inicio el 10 de agosto del 2005, para lo cual se construyeron 6 biodigestores hechos con cubetas de 20 lts, los cuales se sellaron muy bien con silicón para evitar la entrada de aire y así mantener el recipiente herméticamente cerrado. Para elevar la temperatura del interior del biodigestor, se diseño un sistema de calentamiento a “baño Mari”, para lo cual se instalo un recipiente metálico de 2.40 m de largo por 0.90 m de ancho y 0.80 m de profundidad (figura 6). El recipiente se lleno con agua hasta la mitad de su capacidad y se colocaron los biodigestores en línea. Para dar calor al agua del recipiente se utilizaron 3 calentadores eléctricos de agua con capacidad para calentar 25 lts de agua (figura 7).

El estiércol de ganado fue obtenido del establo de la universidad el cual fue cribado para tener un estiércol mas fino. Este fue secado al natural.

Se opto por estos medios para hacer un uso óptimo del recurso financiero asignado ya que el presupuesto asignado para este proyecto fue muy reducido.

La proporción de sólidos correspondiente a cada tratamiento se preparo en base volumen, los cuales quedaron de la siguiente manera:

T-1 5 %

T-2 7 %

T-3 10 %

El cálculo para la obtención del volumen de estiércol a utilizar se realizó por medio de una regla de tres simple, por ejemplo para T1:

8 lts de agua \longrightarrow 100 %

X \longrightarrow 4 %

X = 0.32 lts = 320 ml

Una vez obtenidos las cantidades de estiércol a utilizar, se procedió a mezclar con el agua, lo que se hizo en una cubeta a la que se le agregó la cantidad de agua y el volumen del estiércol calculado para cada tratamiento. Después de haber obtenido la mezcla, esta se vertió dentro del biodigestor por el tubo para entrada y salida de mezcla (figura 8). Una vez terminado de llenar todos los biodigestores, se introdujo en el recipiente a baño maría a una temperatura de 35 °C (+- 3).

El diseño del experimento a utilizado en esta fase I fue de Bloques al Azar con dos repeticiones. El modelo estadístico fue:

$$y_{ij} = \mu + z_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

y_{ij} = Efecto del *i*-ésimo tratamiento en la *j*-ésima repetición.

μ = Efecto de la media general

z_i = Efecto de tratamiento

β_j = Efecto de bloques o repetición

ε_{ij} = Efecto de la media general en tratamientos y repeticiones

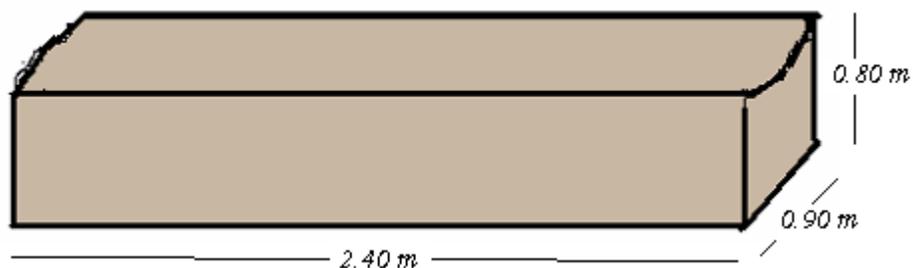


Figura No 14. Recipiente metálico en que se colocaron los biodigestores



Figura No 15. Calentador eléctrico con capacidad para calentar 25 lts de agua.

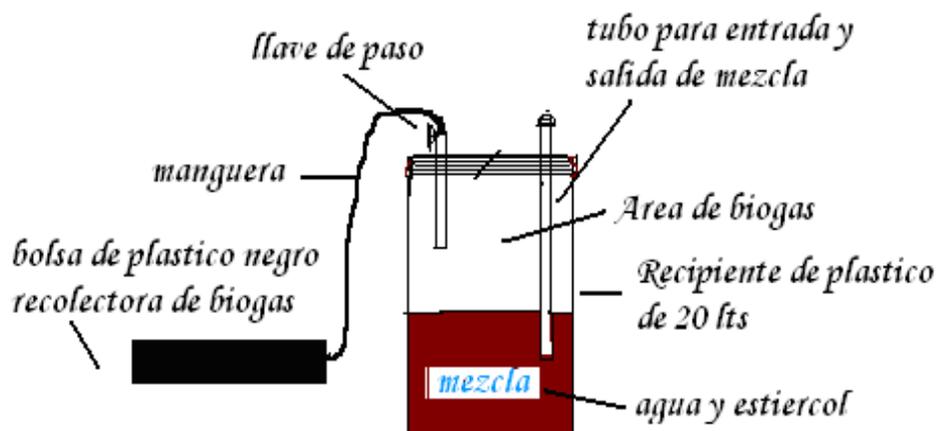


Figura No 16. Diseño del biodigestor utilizado en el experimento de biogas. UAAAN. 2005.

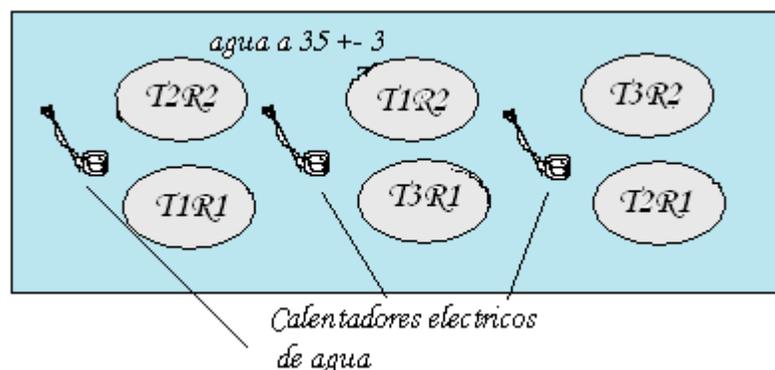


Figura No 17. Ubicación de los biodigestores y tratamientos en el recipiente a “baño maría”. Fase I. UAAAN. 2005.

Parámetros evaluados en esta fase.

Temperatura ambiente: Se determino con un termómetro graduado a °F, transformándolo en °C posteriormente. La medición se realizo diariamente dejando en un lapso de 30 segundos el termómetro arriba de un biodigestor.

Temperatura del agua del recipiente metálico: De la misma forma este se realizo diariamente dejando el termómetro por un tiempo de 30 segundos dentro del agua contenido en el recipiente.

Temperatura del interior del biodigestor: Este se realizo diariamente con el mismo termómetro, en el que se introducía por el tubo de entrada y salida de mezcla en un lapso de aproximadamente de 30 segundos para posteriormente leer su lectura.

pH: Se realizo con un pH Orión en el que se extraían muestras en frascos de 125 ml por medio de una manguera que se introducía por el tubo de de entrada y salida de mezcla los cuales se analizaban en el laboratorio de calidad de aguas del departamento de riego y drenaje.

Sólidos totales y disueltos: En este parámetro se utilizó las mismas muestras obtenidas de las lecturas de pH, el cual se determinaron en el mismo laboratorio. Se realizó solamente una vez.

Relación C/N: Se usa tradicionalmente como un índice del origen de la materia orgánica, de su madurez y su estabilidad. Para este parámetro se envió una muestra el cual arrojó resultados de 25/1

FASE II.

De acuerdo con los resultados y la información obtenidos en la fase I se diseñó un nuevo experimento al que se le denominó Fase II. En ella se evaluó la dosis de sólidos y el efecto del pH en la producción de gas.

La fase II se estableció el 15 de septiembre del 2005 y concluyó el 03 de octubre del mismo año. El diseño experimental fue un bloque al azar con arreglo factorial 2X2 con 3 repeticiones. Los tratamientos quedaron distribuidos como se muestra en el cuadro 13.

Cuadro No 13. Distribución original de los tratamientos en la producción de biogas Fase II. UAAAN. Septiembre-octubre. 2005.

TRATAMIENTOS		I	II	III
FACTOR A	FACTOR B			
A - 1	5 %	1	3	4
	10 %	2	1	2
A - 2	5 %	3	4	3
	10 %	4	2	1

FACTOR A:

CONTROL DE pH
A-1 = SIN CONTROL
A-2 = CON CONTROL

FACTOR B:

% ESTIERCOL BASE PESO.
B-1 = 5% PESO SECO
B-2 = 10% PESO SECO

Para obtener el peso del estiércol a utilizar en cada tratamiento se procedió a pesar un vaso de 1000 ml por si solo, luego se le agrego 1000 ml de agua al vaso y se volvió a pesar. El resultado de estos dos pesos se resto para determinar el peso del agua solamente. Con este dato se calculo el 5 % y el 10 % de estiércol relacionado con el peso obtenido de 1000 ml. de agua.

Las cantidades de estiércol a utilizar según datos obtenidos son los siguientes:

T1 y T3 \longrightarrow 500 gr de estiércol en 10 lts de agua
 T2 Y T4 \longrightarrow 1000 gr de estiércol en 10 lts de agua

Nota: En lo que respecta al agua solo se le agrego 9.5 lts el otro $\frac{1}{2}$ litro faltante se completo con la mezcla de de la solución del biodigestor de la fase anterior como factor de inoculación de la mezcla por bacterias.

Una vez obtenido las cantidades se procedió a preparar la mezcla el cual se le agrego primero la cantidad de agua requerida para cada biodigestor, seguidamente se le agrego la cantidad de estiércol que fue calculado con anterioridad para cada uno de ellos. El arreglo que se obtuvo ya dentro del biodigestor base fue como se muestra en le siguiente figura (figura 10).

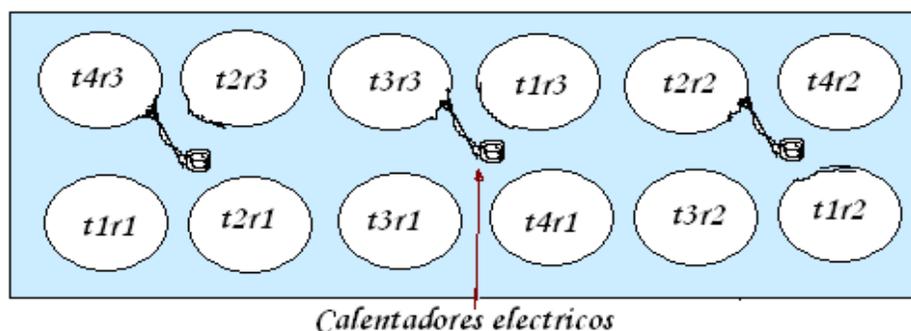


Figura No 18. Ubicación de los biodigestores y tratamientos en el recipiente a “baño maría”. Fase II. UAAAN, 2005.

Parámetros evaluados.

Temperatura

Se determino con un termómetro de barra graduado en °F, transformándolo luego a °C. La medición se realizo diariamente en cada biodigestor, en el agua del recipiente y así como la temperatura del ambiente del lugar donde se estableció el experimento, para después encontrar la relación que tiene estos para mantener la temperatura adecuada dentro del biodigestor.

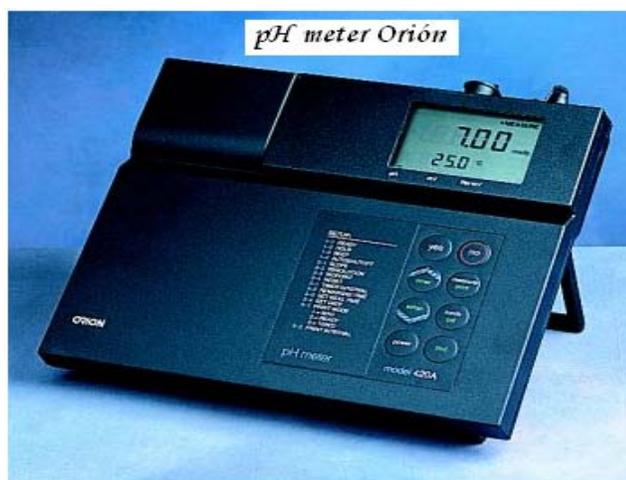
termómetro en °F



PH

Para la evaluación de este parámetro se extrajeron muestras de 125 ml de cada tratamiento en frascos pequeños a traves del tubo de recarga del biodigestor mediante una manguera.

Las muestras obtenidas se analizaron en el laboratorio de calidad de aguas del departamento de riego y drenaje.



Sólidos totales y sólidos disueltos:

Estos parámetros se determinaron en el mismo laboratorio, utilizando las mismas muestras obtenidas para las lecturas de pH.

Relación carbono nitrógeno:

El cual según los resultados arrojados en la fase de prueba (fase I) se optó por tomar la relación 25/1, ya que para este análisis no se contaba con el material adecuado para su medición.

Producción de gas

Este parámetro se determinó diariamente, midiendo las bolsas de plástico que almacenaba el gas para cada uno de los tratamientos. Se midió la altura de la bolsa para aplicar la fórmula de volumen para cada cilindro, que es:

$$V = (\pi r^2) * h$$

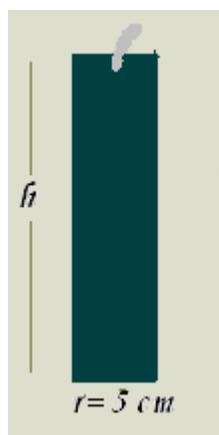
Donde:

V= Volumen

π = constante equivalente a 3.1416

r^2 = radio

h= altura



Concentración de CH₄ y CO₂ del biogas obtenido.

Una vez llenas las bolsas recolectoras de gas o estando a un nivel adecuado para su medición se llevaron al Laboratorio de Postcosecha del Departamento de Horticultura y con un analizador de CO₂/H₂O Li-Cor se obtuvieron las lecturas de contenido de CO₂ para cada uno de los tratamientos. Para o cual se siguieron los siguientes procedimientos:

1. Seleccionar la línea de voltaje requerida en el panel trasero tanto de analizador como de la unidad de control de flujo.
2. Conectar la unidad de control de flujo al analizador
3. Conectar el analizador a la línea de corriente
4. Verificar los tubos depuradores de la unidad de control.
5. Establecer los rangos de flujo a la unidad de control:
 - a. Mantener todo los botones en OFF y las valvular de ventilación cerradas.
 - b. Encender las bombas de muestra y referencia.
 - c. Abrir completamente las válvulas de los rotametros y verificar que el flujo sea mayor a 2 litros por minuto en ambos.
6. Conectar el analizador a la unidad de control de flujo de la siguiente Manera:
 - a. Entrada de muestra del analizador con salida de muestra de la unidad
 - b. Entrada de referencia del analizador con salida de muestra de la unidad.

- c. Salida de referencia del analizador con TO CHOPPER del analizador.
 - d. Entrada de muestra de la unidad a la línea de aire a evaluar.
 - e. Entrada de referencia de la unidad con FROM CHOPPER del analizador.
7. Encender el analizador y esperar a que encienda la luz READY
 8. Oprimir FUNCTION 75 para establecer la resolución de CO₂ (HI/LOW).
 9. Pulsar FUNCTION 59 para establecer la referencia de CO₂ a cero.
 10. Oprimir FUNCTION 22 para observar la concentración absoluta de CO₂ en $\mu\text{mol/mol}$.
 11. Encender la bomba de referencia y la de muestra e la unidad, ajustar el flujo a aproximadamente 1 LPM y purgar el aire encendiendo los depuradores de CO₂/H₂O.
 12. Abrir el potenciómetro de cero CO₂ y ajustar hasta que la concentración absoluta de CO₂ marque cero.
 13. Conectar la línea de aire de entrada a la muestra.
 14. Apagar el depurador de CO₂/H₂O de la muestra
 15. Tomar la lectura en la pantalla al tiempo deseado.
 16. Determinar el volumen del desecador y de la muestra para obtener el volumen libre en litros.

Nota: considerar que los volúmenes por millón de CO₂ en el aire son igual a la fracción molar ($\mu\text{mol/mol}$.) y al volumen parcial (cm^3/m^3), por lo tanto:

$$1 \mu\text{mol/mol} = 1\text{cm}^3/\text{m}^3 = 1 \text{ ml}/1000 \text{ lts.}$$

RESULTADOS Y DISCUCION

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los diferentes tratamientos de la presente investigación.

PRODUCCION DE GAS

Cuadro 14. Análisis de varianza (ANVA) para la evolución en la producción de gas en cuatro tratamientos. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Sept-Oct. 2005.

FV	GL	SC	CM	Fc	F α 0.05
REPETICIONES	2	0.015594	0.007797	0.7504 NS	5.14
FACTOR A	1	0.115417	0.115417	11.1072*	5.99
FACTOR B	1	0.002548	0.002548	0.2452 NS	5.99
INTERACCION	1	0.102875	0.102875	9.9001*	5.99
ERROR	6	0.062347	0.010391		
TOTAL	11	0.298782			

C.V. = 2.73 %

* = significativo al nivel de 0.05, NS = no significativo al nivel e 0.05, GL= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM= cuadrados medios, Fc= f calculada, Ft= f de tablas

En el cuadro anterior se observa que tenemos diferencia significativa para el factor A y para la interacción AB, lo que indica que las variaciones en la producción de gas fueron afectadas por los tratamientos aplicados en este factor y no debidos al medio ambiente. En lo que respecta a bloques (repeticiones) y al factor B (dosis de M.O. o sólidos), no se encontró diferencia significativa alguna. El coeficiente de variación (C.V.) encontrado fue de 2.73% lo que nos indica que los resultados encontrados para producción de gas son validos para tener conclusiones a partir de ellos.

Para el caso del factor A, (control de pH del efluente) es un factor que tiene una amplia influencia en la actividad bacteriana, tanto de las acidificantes

como el de la metanogénicas, por lo que mantenerlo dentro de un rango adecuado (6.8 y 7.6), es de vital importancia para una adecuada producción de biogas (German Appropriate Exchange. 2005). El pH también es un factor que es altamente influenciado por la temperatura del efluente, así como la estabilidad que tenga la misma, pues variaciones de 1 o 2 °C pueden afectar la actividad de las bacterias y por ende el pH del efluente. Estos factores (pH y temperatura), los discutiremos de una forma más amplia mas adelante. Debido a que el C.V. es bajo los datos presentan confiabilidad. Cabe señalar que los promedios de producción de biogas en Centímetros Cúbicos (cc) se optaron por interpretarlo en Ln para tener datos mas confiables o ajustados y asi lograr un menor grado de error para el caso del análisis de varianza (ANVA).

Producción de Biogas

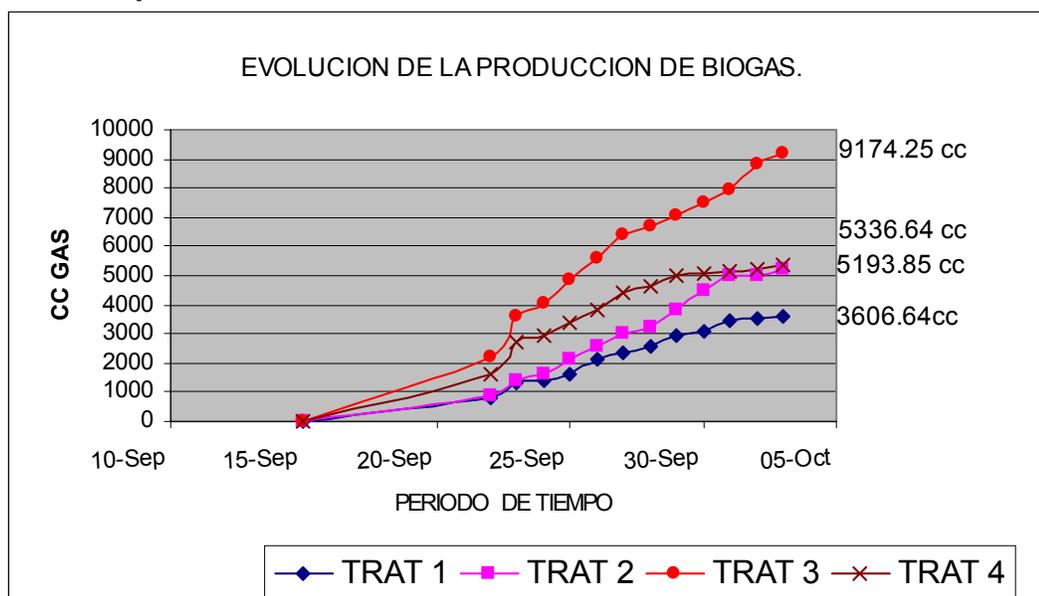
La producción de biogas fue diferente en los distintos tratamientos evaluados como lo muestra la grafica No 1. El mejor tratamiento fue el No 3 con una producción de 9174.25 cc en un periodo de 15 días, (una producción por día de 611.62 cc). La cantidad de gas producido por gramo de materia orgánica en este tratamiento fue de 18.35 cc/gr y este inicio a producir a los 3 días de haber iniciado con el experimento.

El segundo mejor tratamiento fue el No 4, el cual inicio a producir a los 3 días de haber iniciado el experimento. Produjo 5336.64 cc de gas en un periodo de 15 días, teniendo una producción por día de 355.78 cc. La cantidad de gas producido por gramo de materia orgánica para este fue de 5.34 cc/gr.

El tercer mejor tratamiento fue el No 2, el cual inició su producción a los 4 días de haber iniciado con el experimento. La cantidad de gas producido fue de 5193.85 en un periodo de 14 días, teniendo así una producción por día de 370.98 cc y la cantidad de gas por gramo fue de 5.19 cc.

El peor tratamiento fue el No 1 con una producción de 3606.64 cc en un periodo producción de 14 días con una producción por día de 257.62 cc y con una cantidad de gas por gramo de materia orgánica de 7.22 cc/gr. Este inicio su producción de gas a los 4 días de haber iniciado con el experimento.

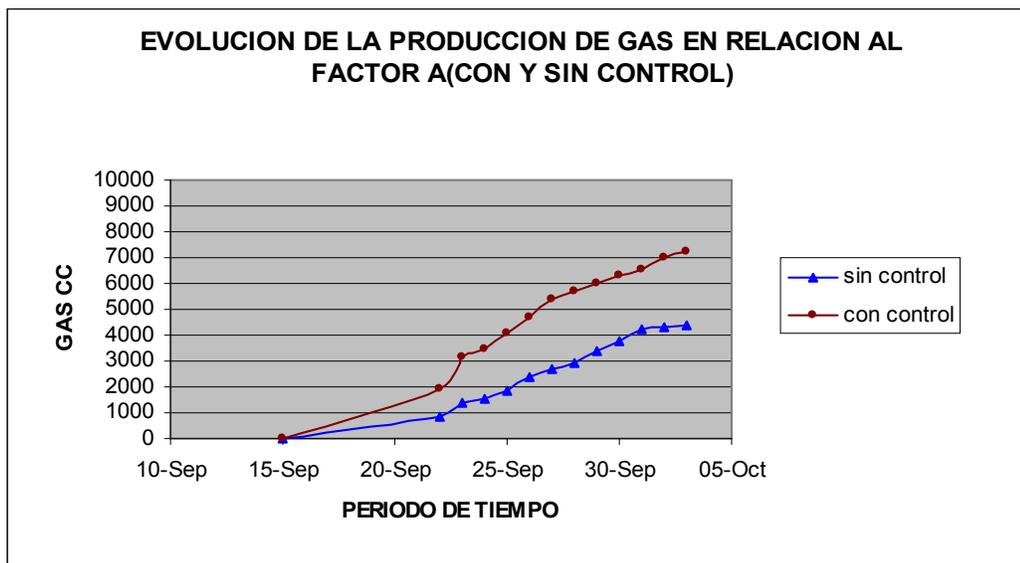
Grafica No 1. Evolución de la producción de gas en centímetros cúbicos (cc) en diferentes tratamientos. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Sept-Oct. 2005.



Con lo que respecta al factor A (controlar o no controlar el pH) se observa en la grafica 2 que tiene una influencia en la producción de biogas, ya que cuando no se controla el pH se observa que los valores son bajos y estos no son favorables como cuando se tiene control, esto debido a que el pH es

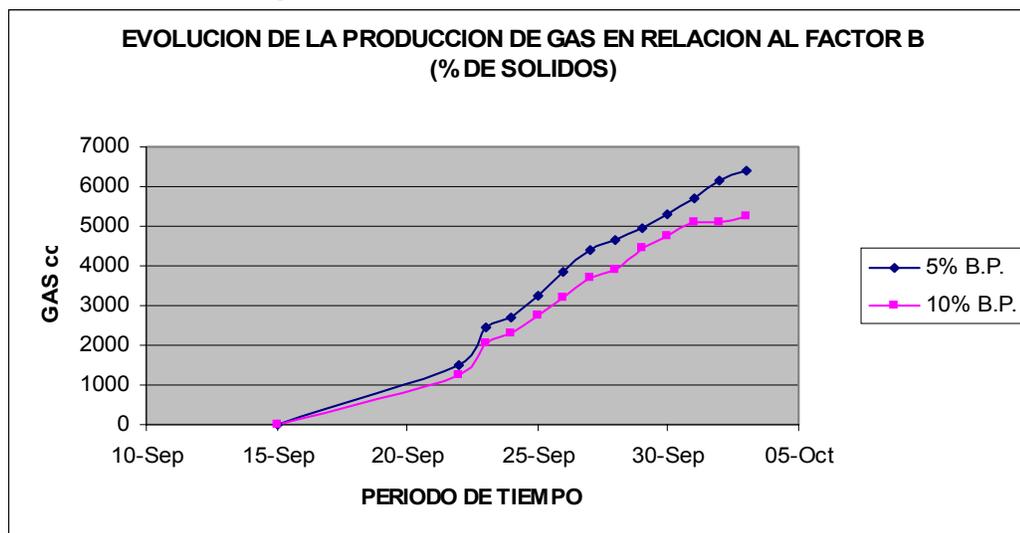
fundamental para el buen funcionamiento de las bacterias participantes en las distintas etapas del proceso de producción del biogas.

Grafica No 2. Relación entre la evolución en la producción de biogas con respecto al factor A (con y sin control). UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Sept-Oct. 2005.



Para el caso del factor B (cantidad de sólidos), en la grafica 3, se observa que tanto para el 5% y 10% son similares en cuanto a producción de gas.

Grafica No 3. Relación entre la evolución en la producción de biogas con respecto al factor B (% de sólidos), UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Sept-Oct. 2005.



POTENCIAL HIDROGENO (pH)

Cuadro No 15. Análisis de varianza (ANVA) para la evolución del pH en cuatro tratamientos en la producción de biogas. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Sept-Oct.2005.

FV	GL	SC	CM	Fc	F α 0.05
REPETICIONES	2	0.495667	0.247833	4.971	5.14
FACTOR A	1	0.036255	0.036255	0.7272	5.99
FACTOR B	1	0.031982	0.031982	0.6415	5.99
INTERACCION	1	0.019226	0.019226	0.3856	5.99
ERROR	6	0.299133	0.049856		
TOTAL	11	0.882263			

C.V. = 3.09 %

*= significativo al nivel de 0.05, NS = no significativo al nivel e 0.05, GL= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM= cuadrados medios., Fc= f calculada, Ft= f de tablas.

Para esta variable (pH), el análisis de varianza no muestra diferencia significativa alguna en ninguno de sus casos, ya que se mantuvo estable en todos los tratamientos evaluados, salvo en el tratamiento 2 en donde se mantuvo bajo (6.80) todo los días.

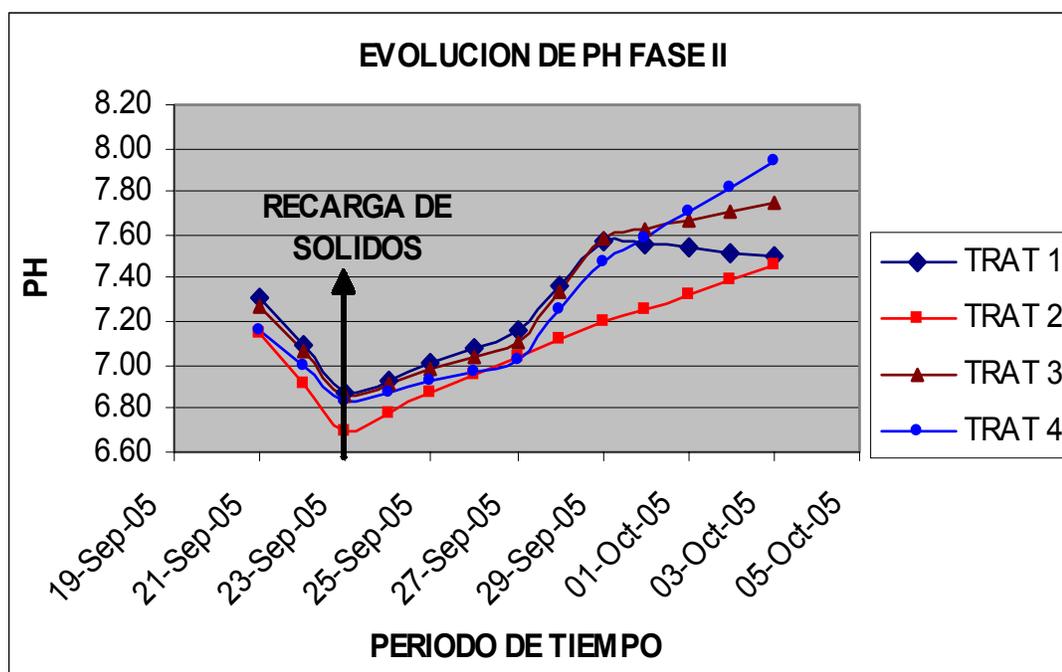
En la gráfica 4 se muestra el comportamiento del pH para los 4 tratamientos en la producción de biogas. En esta destaca claramente que al iniciar el experimento se tiene un pH alcalino el cual a los 8 días siguientes se vuelve ácido, esto se debió a que durante el proceso de fermentación las bacterias realizan una rápida hidrólisis de carbohidratos y producen ácidos orgánicos (acido acético, acido ascórbico, etc.), lo cual trae como consecuencia una rápida acidificación del sustrato (Monroy y Viniegra, 1990).

Después de los 12 días siguientes se ve que en cada uno de los tratamientos el pH va recuperando su alcalinidad, ya que se realizo una recarga de sólidos a los 8 días de haber iniciado el experimento (23 de

septiembre de 2005) y con esto se notó un restablecimiento del mismo, por lo que no fue necesario el control del mismo durante el periodo de duración del experimento.

La recarga de sólidos antes mencionado consistió en sacar 10 % del efluente y reestablecerlo con 10 % de mezcla que contenía agua + sólido. Con lo anterior se muestra claramente que la recarga influyó en el cambio que se dio en el pH del biodigestado (grafica 4), ya que cuando se realizó este, se tenía un pH ácido el cual bajaba con el transcurso del tiempo pero, al igual se observa que al realizarlo, se presentó un proceso de incremento del pH a los siguientes días.

Grafica No 4. Evolución del pH en cuatro tratamientos en la producción de biogas. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Sep-Oct. 2005.



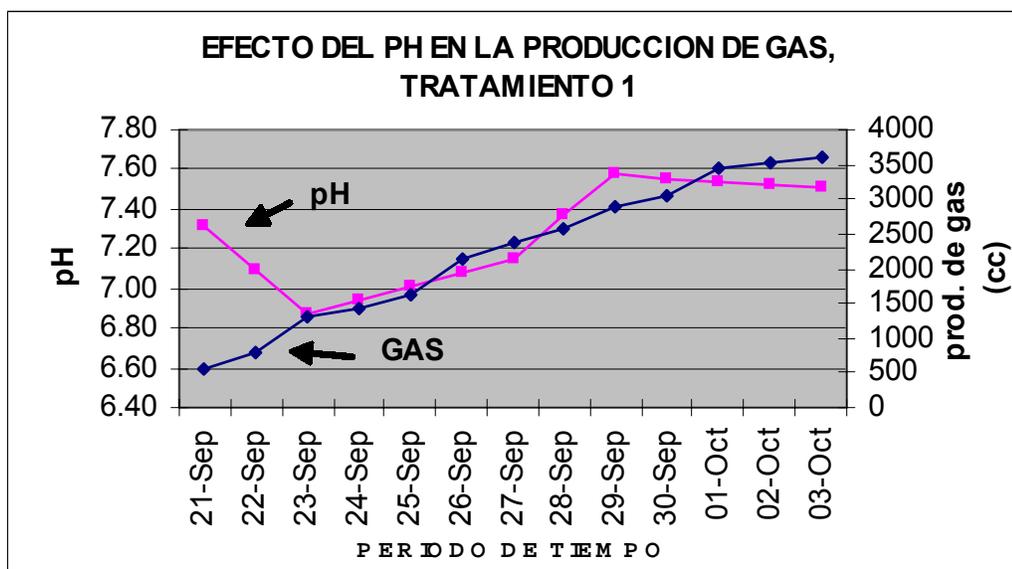
Efecto del pH en la producción de Biogas.

Se tiene en cuenta que la producción de gas esta en relación con el pH contenido en el efluente, es decir, las bacterias productoras de gas o metanogénicas son mas sensibles a los cambios bruscos en el pH que las bacterias acidificadoras participantes en el proceso, además que, un aumento en el pH es índice de exceso de amoníaco; en tanto que una disminución en el mismo es índice en contenido de ácidos orgánicos. Ambos factores provocan una disminución en la producción de biogas (German Appropriate Exchange. 2005)

En la grafica 5 se observa el comportamiento del pH en relación con la producción de gas para el tratamiento 1. En ésta se observa que de un pH inicial de 9.28 va en disminución y 6 días después ya se tenía un pH de 7.32 , y durante el transcurso de los 3 días siguientes bajó considerablemente, tornándose ácido (6.87). También se observa que del día 23 de septiembre en adelante nuevamente el pH va recuperando su alcalinidad, ya que como anteriormente fue mencionado, se realizó una recarga de sólidos lo cual hizo incrementar el pH a los dos días siguientes, volviéndose alcalino e incrementando 0.14 unidades en 2 días. Para los 6 días después de haber realizado la recarga (29 de sep.) se observa que el pH continua incrementándose (0.71 unidades en 6 días). Después de esto se inicia un proceso de descenso lentamente hasta alcanzar en los 4 días siguientes (3 de octubre), un pH de 7.51 (-0.079 unidades en 4 días). En la grafica 5 también se observa en forma clara que la producción de biogas se encuentra estrechamente asociada con la evolución del pH, pues la primera disminuye conforme la segunda tiende hacia la acidez.

Para este caso el periodo de tiempo en que se tiene la mejor producción de biogas es del 29 de septiembre al 3 de octubre en el que el rango de pH se encontraba entre 7.51 y 7.58.

Grafica No 5. Efecto del pH en la producción de biogas en el tratamiento 1. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Sep-Oct. 2005.

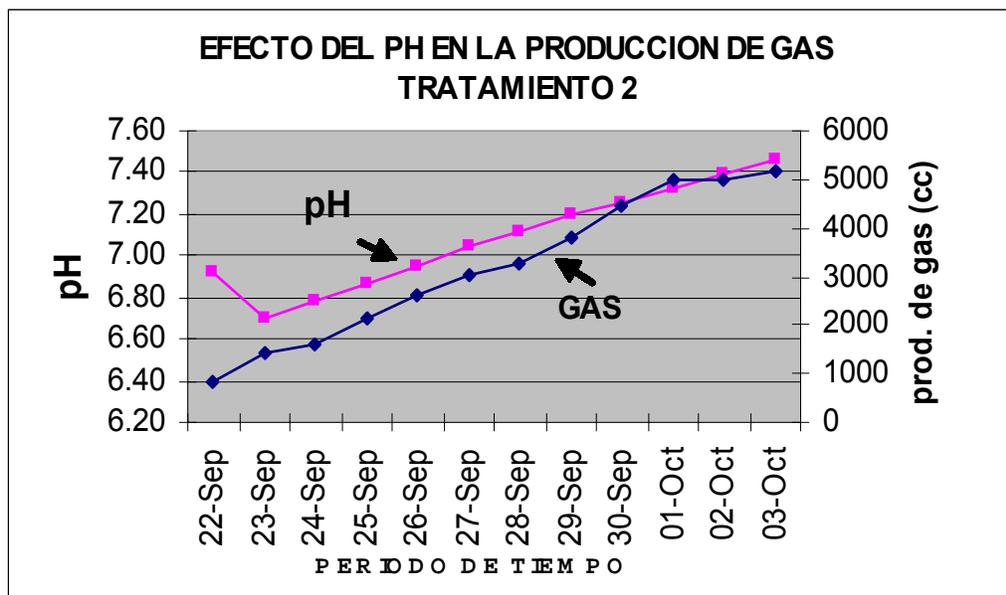


Para el caso del tratamiento 2, este tuvo un pH inicial de 9.48, el cual fue acidificándose en los 8 días siguientes, hasta llegar a un pH de 6.69 (-1.28 unidades). Al realizar la recarga de sólidos (23 de septiembre), el pH poco a poco fue recuperándose y, para lo siguientes 4 días (27 de septiembre), ya se tenía una lectura alcalina (grafica 6).

En relación a la producción de biogas, se observa que cuando el pH baja, la producción de gas es mínima al igual que cuando sube en un rango no adecuado, afecta el proceso fermentativo.

Para este tratamiento, los días en que se obtuvo mayor producción del biogas fueron del 30 al 3 de octubre (un periodo de 4 días), con un rango de pH de 7.26 a 7.46.

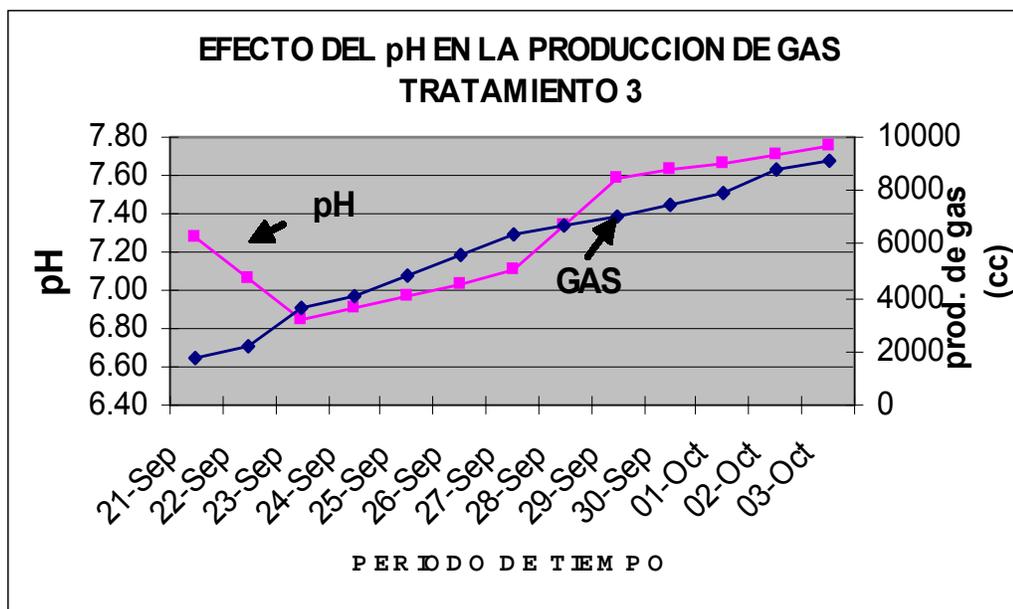
Grafica No 6. Efecto del pH en la producción de biogas en el tratamiento 2. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Sep-Oct. 2005.



Para el caso del tratamiento 3 (grafica 7), se tiene que al inicio del experimento se tenía un pH alcalino (9.60), el cual disminuyó hasta 6.85 después de los 8 días. Esto era de esperarse ya que en la fermentación anaerobia se tiene una serie de procesos en los cuales se degrada la materia orgánica inicial, convirtiéndola en ácidos orgánicos. Como se observa, el pH sube al igual que los tratamientos anteriores ya que como se dijo anteriormente, la recarga de sólidos eliminó los ácidos, reestableciendo el pH. En éste tratamiento la producción de gas es rápida y continúa durante todo el periodo, por lo que se tiene que este fue el tratamiento que produjo mayor cantidad de gas en el mismo periodo de tiempo en relación con los tratamientos restantes.

El período de mayor producción de biogas se presentó los días del 30 de septiembre al 3 de octubre, en donde la fluctuación del pH durante esos días fue de 7.63 a 7.70.

Grafica No 7. Efecto del pH en la producción de biogas en el tratamiento 3. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Sep-Oct. 2005.

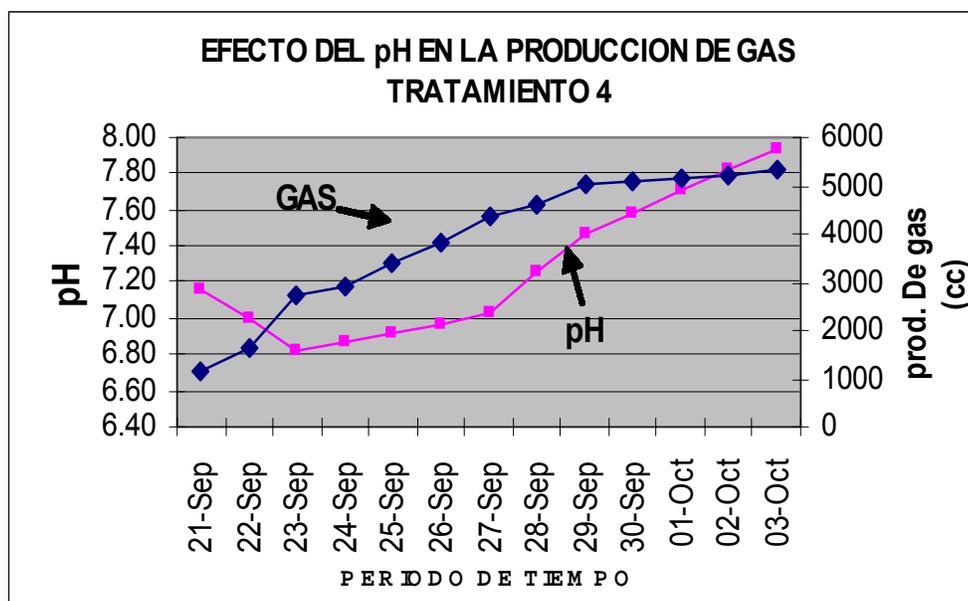


En la grafica 8 se observa la relación que se tiene en cuanto al efecto del pH en la producción de biogas para el tratamiento 4 en el que se observa que, para este caso, se tuvo un pH inicial de 9.53 el cual, después de 8 días se tornó ácido (-2.8 unidades). Al igual que en los tratamientos antes descritos, al realizar la recarga este empezó a recuperar su alcalinidad y, para los siguientes 4 días, ya era de 7.03 (0.2 unidades).

En el caso referente a la producción de biogas, se observa que fue moderado ya que el pH se mantuvo en el rango adecuado como antes se mencionó. En este caso fue el segundo mejor tratamiento, en el que se obtuvo una

mejor producción de biogas como antes fue mencionado. El periodo de tiempo de mayor producción de biogas fue del 29 de septiembre al 1 de octubre en el que el pH fluctuaba entre 7.47 a 7.71.

Grafica No 8. Efecto del pH en la producción de biogas en el tratamiento 4. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México, Sep-Oct. 2005.



TEMPERATURA.

Cuadro No 16. Análisis de varianza (ANVA) para la evolución del la temperatura en tres tratamientos para la producción de biogas. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. 2005.

FV	GL	SC	CM	Fc	F α 0.05
REPETICIONES	2	0.385742	0.192871	4.917	5.14 NS
FACTOR A	1	0.425781	0.425781	10.8548	5.99 *
FACTOR B	1	0.054688	0.054688	1.3942	5.99 NS
INTERACCION	1	0.079102	0.079102	2.0166	5.99 NS
ERROR	6	0.235352	0.039225		
TOTAL	11	1.180664			

C.V. = 0.58 %

*= significativo al nivel de 0.05, NS = no significativo al nivel e 0.05, GL= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM= cuadrados medios., Fc= f calculada, Ft= f de tablas.

Los resultados del ANVA para esta variable establece que no existe diferencia estadística significativa para ninguno de los casos, salvo en el factor A donde se evaluó el controlar o no el pH. El coeficiente de de variación (0.58 %) nos indica confiabilidad en nuestros resultados obtenidos y que fue conducido positivamente.

Para el caso del factor A donde si se encontró diferencia significativa es de reconocer la importancia que tuvo el cuidado en el mantenimiento de la temperatura, esto debido a la gran sensibilidad que presentan las bacterias a las pequeñas variaciones térmicas (ingenieroambiental.com).

La temperatura es el factor importante a cuidar durante el proceso ya que todo los procesos que intervienen esta en relación a éste y, de acuerdo al tipo de bacterias es el rango a considerar, además de que este es el factor que altera en forma más rápida el pH del efluente.

Se tomaron lecturas de temperatura durante todos los días del experimento (15-septiembre al 03-octubre del 2005), las cuales se realizaban en el día y en la noche y para este caso se optó por considerar las temperaturas realizadas en la noche. De esta misma forma se hacia con el agua del recipiente metálico base, en donde se encontraban los biodigestores, así como la temperatura ambiente dentro del lugar donde se encontraban los biodigestores.

En las grafica No 9 observamos el comportamiento de las temperaturas de los biodigestores de los tratamientos en estudio, en relación con la correspondiente temperatura del exterior del biodigestor (recipiente metálico base)

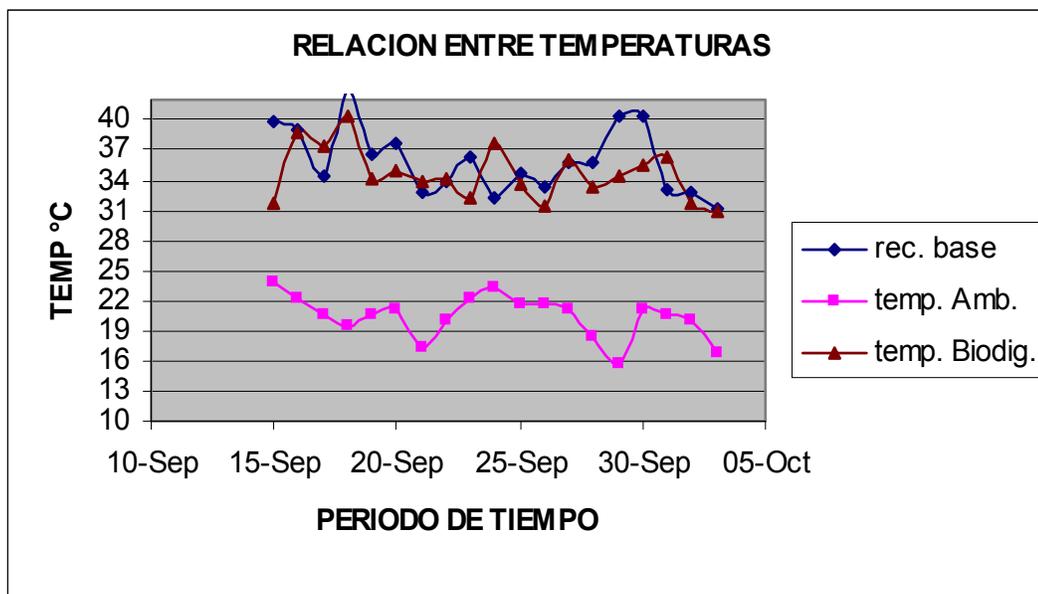
y la del ambiente del lugar en donde se desarrolló el experimento Como se aprecia, para los cuatro tratamientos, la temperatura del ambiente influyó tanto en la temperatura del recipiente como en la del biodigestor, pues este no contó con aislante térmico.

Según sea el tipo de clima de la región donde se trabaje con esta tecnología, el cómo se comporta la temperatura del ambiente tiene un amplio margen de interés por parte del técnico, ya que en relación a esta, se observa como cambia la temperatura del recipiente base y por ende modifica también la del interior del biodigestor. Para estos casos se puede decir que los cambios en la temperatura que se observan se le pueden atribuir a un mal funcionamiento de la resistencia con el que se regulaba la temperatura deseada, ya que como se utilizó un sistema de calentamiento a baño maría, tienen una mayor posibilidad de sufrir alteraciones en su funcionamiento.

En los 4 tratamientos en estudio la variación de temperatura es similar, y debido a esta similitud para este caso, se sacaron el promedio general de las temperaturas de cada biodigestor ó tratamiento, para realizar la evaluación de estos factores.

Los promedios de temperatura fue para el tratamiento 1 de 34.07 °C en tanto para el tratamiento 2 fue de 34.03 °C y para el tratamiento 3 fue de 33.85 °C y para el tratamiento 4 fue de 33.82 °C. La temperatura promedio del recipiente base fue de 35.30 °C y para el del ambiente fue de 20.38 °C.

Grafica No 9. Relación entre el promedio de temperaturas de los diferentes tratamientos (interior del biodigestor), con la temperatura ambiente y la temperatura exterior del agua (recipiente metálico base). UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila; México. Sept-Oct. 2005.



Rec. = Recipiente; Temp. Amb. = Temperatura del medio ambiente del lugar del experimento;
Temp. Biodig. = Temperatura del interior del biodigestor.

Efecto de la temperatura en la producción de biogas

La actividad biológica que se tenga dentro del biodigestor y por lo tanto la producción de gas, aumenta con la temperatura. Este es el factor principal y de mucha importancia en la que hay que tener mucho cuidado, ya que al variar, cambia por completo los fenómenos que intervienen en el proceso de fermentación. Este factor es muy importante ya que esta en relación a la población bacteriana existente en el efluente, además de que de acuerdo al tipo de temperatura es la sensibilidad que presentan las mismas.

El efecto que la temperatura tiene para la producción de biogas es muy marcado, ya que esta es la que favorece la velocidad de descomposición de la materia orgánica durante el proceso. Diversos autores mencionan que la

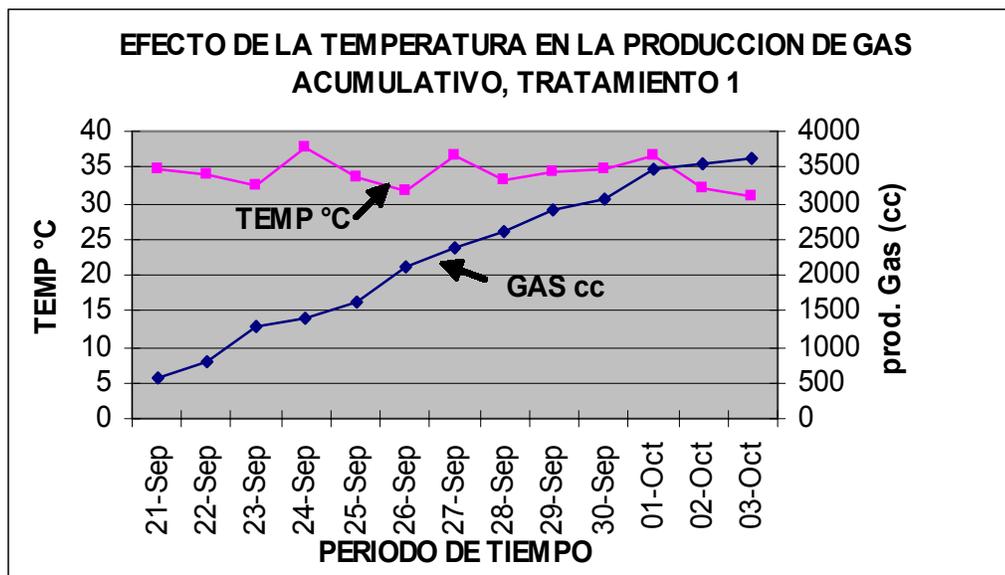
temperatura adecuada para que se lleve a cabo una buena producción de biogas es la mesofílica (German Appropriate Exchange. 2005), ingenieroambiental.com (2006), textoscientificos.com (2006)), en la que al igual mencionan que la temperatura ideal para este es de 35 a 37 °C, en la cual la fermentación es rápida y efectiva. Desde el punto de vista de velocidad de degradación de la materia orgánica y para fermentación extremadamente rápida y efectiva de la materia orgánica, la temperatura ideal es de 55 °C (termofílica), pero existe una desventaja, que a este rango la fermentación es muy sensible a los cambios bruscos de temperatura y pH. (German Appropriate Exchange .2005).

Para entender mejor los cambios ocurridos al modificar la temperatura dentro de los tratamientos de esta investigación y observar como esto afectó la producción de biogas al presentarse fluctuaciones repentinas en la temperatura dentro los biodigestores, se presenta la producción de gas acumulativa día a día así como la producción de gas por día de cada uno de los tratamientos, ambos relacionados con la temperatura.

En las graficas 10-13 y cuadros 17-20, se presenta el efecto de la temperatura en la producción acumulativa de gas, así como la producción de gas por día para cada tratamiento. En ellas se observa como la temperatura es un factor que hay que tomar muy en cuenta, ya que al tener fluctuaciones de temperatura, así como cambios bruscos en ésta, se altera la producción de gas.

Para el caso del tratamiento 1, el periodo de mayor producción de gas fue del 26 de septiembre al 1 de octubre, en donde la temperatura fue de 34.45 a 36.67 °C. En este rango de temperatura fue donde se encontraron los mejores resultados en cuanto a mayor producción de gas.

Grafica No 10. Efecto de la temperatura en relación a la producción de gas acumulativo por día para el tratamiento 1. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Sept-Oct. 2005.



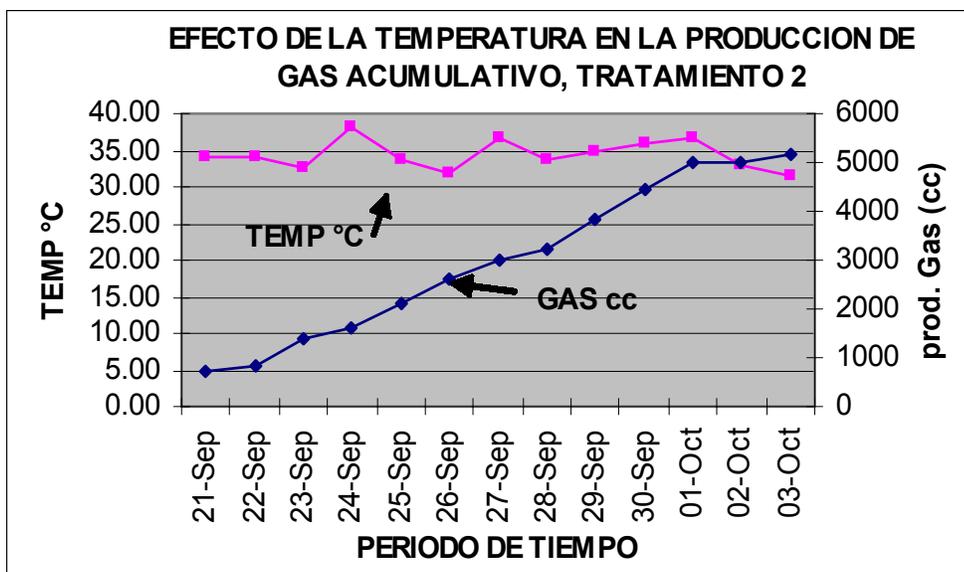
Cuadro No 17. Efecto de la temperatura en relación con la producción de gas por día para el tratamiento 1. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Sept-Oct. 2005.

	21-Sep	23-Sep	25-Sep	27-Sep	29-Sep	01-Oct	03-Oct
Gas (cc)	549.00	510.51	215.99	255.26	314.16	392.61	72.08
Temp. (°C)	34.75	32.50	33.47	36.53	34.46	36.67	30.97

Para el efecto entre la temperatura y la producción acumulativa de gas por día, para el tratamiento 2 (grafica 11), se tiene que al igual que el tratamiento 1, tiene un cambio similar en cuanto a éste al igual que en la producción de biogas, ya que al igual que todos los tratamientos en estudio, como se ha mencionado, se tenían en un sistema de calentamiento a “baño maría” lo cual permitía tener cambios similares de temperatura en todos los tratamientos. Para este caso, la temperatura en el cual se tuvo una producción mayor de biogas fue en el rango de

35.83 a 36.67 °C, y el periodo de mayor producción fue del 28 de septiembre al 1 de octubre.

Grafica No 11. Efecto de la temperatura en relación a la producción de gas acumulativo por día para el tratamiento 2. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Sept-Oct. 2005.



Cuadro No 18. Efecto de la temperatura en relación con la producción de gas por día para el tratamiento 2. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Sept-Oct. 2005.

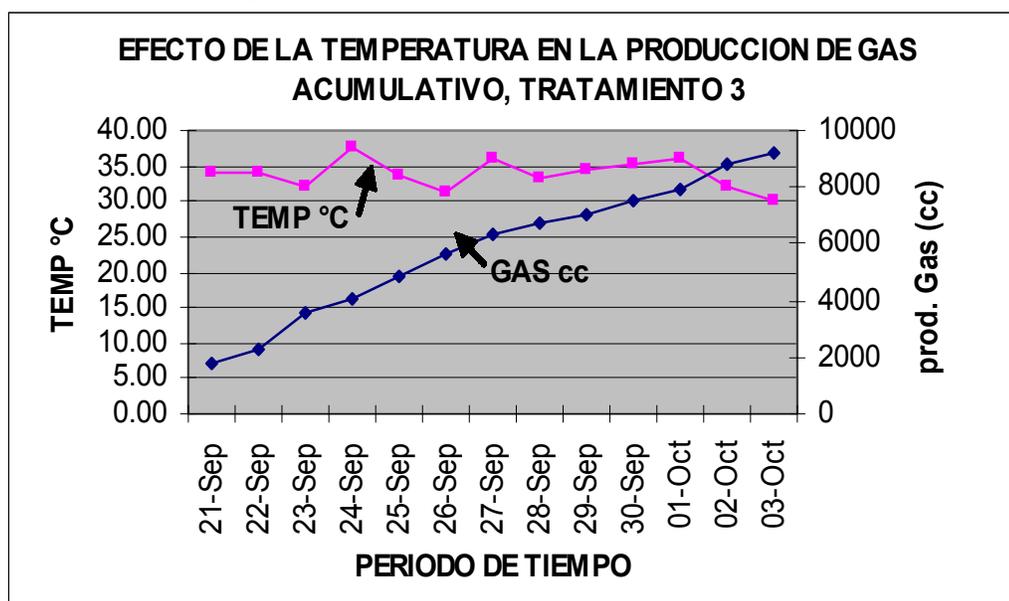
	21-Sep	23-Sep	25-Sep	27-Sep	29-Sep	01-Oct	03-Oct
Gas (cc)	706.86	562.87	490.87	412.42	588.62	549.30	169.26
Temp. (°C)	34.08	32.69	33.80	36.48	34.91	36.67	31.56

Para el tratamiento 3 el cual reporto mejores resultados en cuanto a la cantidad de biogas producido, en la grafica 12 se observa las variaciones de temperatura resultantes en relación con la producción de gas acumulativo por día y en el cuadro 19 se presentan los valores de producción de gas por día.

Para este caso, se observa que al igual que los tratamientos anteriormente descritos, la relación temperatura-producción de gas esta muy definida, ya que al tener fluctuaciones de temperatura, la producción de gas disminuye considerablemente. Para el caso se observa que sigue la misma variabilidad de temperatura y los mismos efectos que como anteriores tratamientos.

Se tiene que el periodo en el que se obtuvo la mayor producción de gas es del 24 al 27 de septiembre, aunque se mantiene un buen nivel de producción hasta el 3 de octubre (un periodo de 10 días). La temperatura se mantuvo en un rango de 35.28 a 36.02 °C.

Grafica No 12. Efecto de la temperatura en relación a la producción de gas acumulativo por día para el tratamiento 3. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Sept-Oct. 2005.

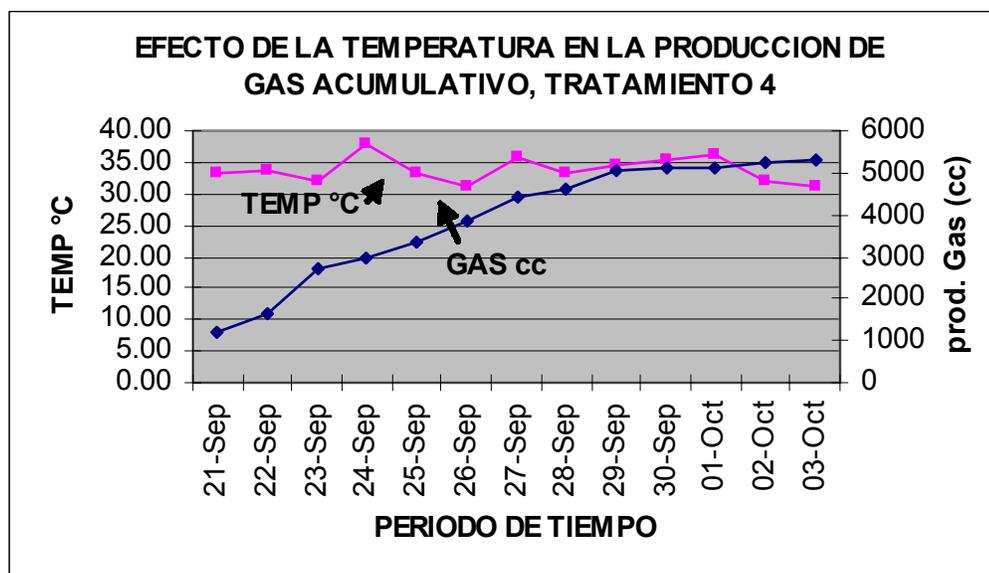


Cuadro No 19. Efecto de la temperatura en relación con la producción de gas por día para el tratamiento 3. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Sept-Oct. 2005.

	21-Sep	23-Sep	25-Sep	27-Sep	29-Sep	01-Oct	03-Oct
Gas (cc)	1767.15	1374.40	805.09	765.78	314.14	431.95	377.78
Temp. (°C)	33.98	32.13	33.52	36.17	34.54	36.02	29.91

Para el caso del tratamiento 4, se presenta en la grafica 13 el efecto de la temperatura en relación con el gas acumulativo por día y en el cuadro 20 la producción de gas por día en relación con la temperatura. En ambos se observa que la temperatura la cual se obtuvo mayor producción de biogas es en un rango de 34.44 a 36.20 °C en el que se obtuvo en el periodo comprendido del 24 de al 29 de septiembre.

Grafica No 13. Efecto de la temperatura en relación a la producción de gas acumulativo por día para el tratamiento 4. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Sept-Oct. 2005.



Cuadro No 20. Efecto de la temperatura en relación con la producción de gas por día para el tratamiento 4. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Sept-Oct. 2005

	21-Sep	23-Sep	25-Sep	27-Sep	29-Sep	01-Oct	03-Oct
Gas (cc)	1178.14	1079.96	431.95	549.79	424.73	58.91	103.93
Temp. (°C)	33.33	32.03	33.43	35.83	34.44	36.20	31.02

Efecto de la temperatura en el pH

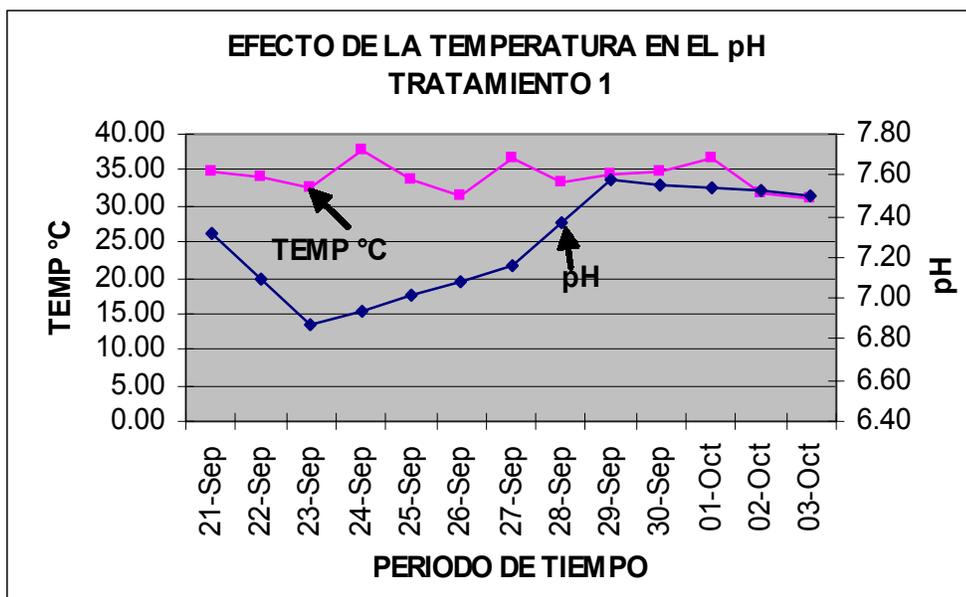
Como se dijo con anterioridad, la temperatura es el factor principal a cuidar ya que al igual, para tener una buena producción de gas, hay que poner mucha atención en el manejo de este parámetro ya que este está muy relacionado con los efectos que puedan repercutir el cambio del pH y de ahí su efecto en el metabolismo de los diferentes géneros de bacterias participantes en los distintos procesos de la fermentación, ocurridos en el biodigestor.

Se puede decir que la temperatura puede modificar el pH, ya que si se tiene una temperatura muy alta las bacterias son muy rápidas en la degradación de la materia orgánica acelerando la alcalinidad de este y esto trae como consecuencia una producción de amoníaco lo cual es tóxico para las mismas bacterias generando una nula actividad; por otro lado, al tener una temperatura muy alta las bacterias realizan una rápida hidrólisis de carbohidratos convirtiéndolos en ácidos orgánicos, lo cual trae como consecuencia pH ácidos. (German Appropriate Technology Exchange. 2005).

En la grafica No 14 se observa el efecto de la temperatura en el pH para el tratamiento 1, en donde la temperatura tiene un efecto para el cambio del pH. Se observa que el día 21 al 23 de septiembre el pH presenta un cambio de 7.32 a 6.87 (una disminución de 0.45 unidades), esto debido probablemente a que la temperatura tuvo un cambio repentino ya que de 34.03 °C bajo a 32.50 °C (1.53 °C) y este pudo afectar la actividad bacteriana, manifestándose esto en el cambio del pH dentro del digestor. Para los últimos días se observa una estabilidad en las lecturas del pH ya que la temperatura de esos días no se encontró mucha variación del mismo o un cambio brusco que pudiera alterar esta variable. Otro factor que pudo haber modificado el pH es que al tener una temperatura con variaciones continuas se ha de tener una modificación constante en el pH. Además del factor temperatura en esta grafica se observa un rápido restablecimiento en el ph (cambio de acido a alcalino), esto debido a la recarga realizada el día 23 de septiembre como anteriormente fue mencionado.

Para este caso la temperatura en la cual se obtuvo un pH de 7.51-7.58, el cual es ideal para la producción de una mayor cantidad de biogas fue en un rango de 34.45 a 36.67.

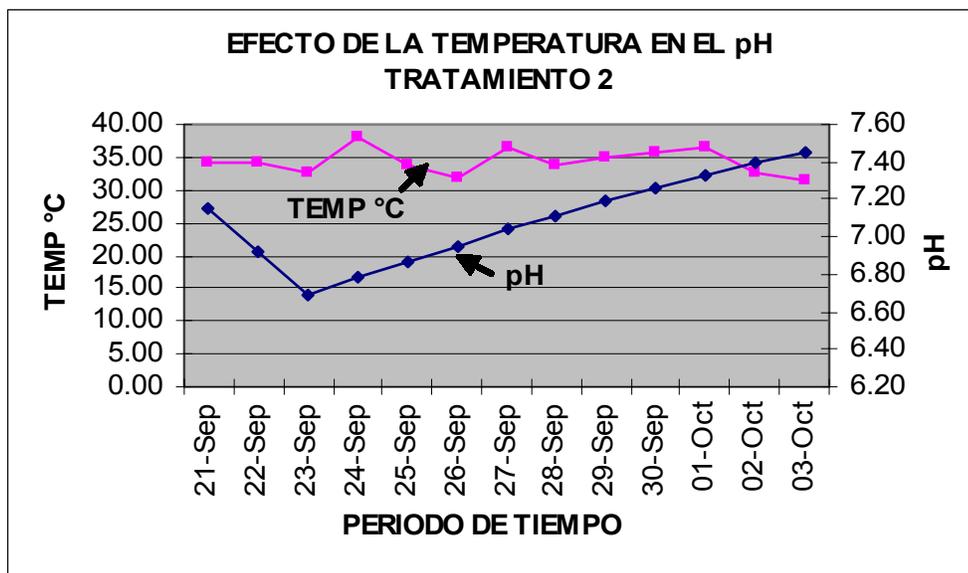
Grafica No 14. Efecto de la temperatura en relación con el pH para el tratamiento 1. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Sept-Oct. 2005.



En la grafica No 15 se observa el comportamiento de la temperatura en relación con el pH para el tratamiento 2, en donde se observa que al tener variación repentina en la temperatura el pH al igual varía considerablemente aunque este en un periodo de tiempo un poco mas largo. Esto debido a la estrecha relación que tienen estos dos factores, para lo cual estos hacen que la producción de gas sea escaso.

Para este caso la temperatura en la cual se obtuvo un pH de 7.26 a 7.46 el cual fue lo ideal para obtener la producción de una mayor cantidad de biogas fue en el rango de 35.83 a 36.67 °C.

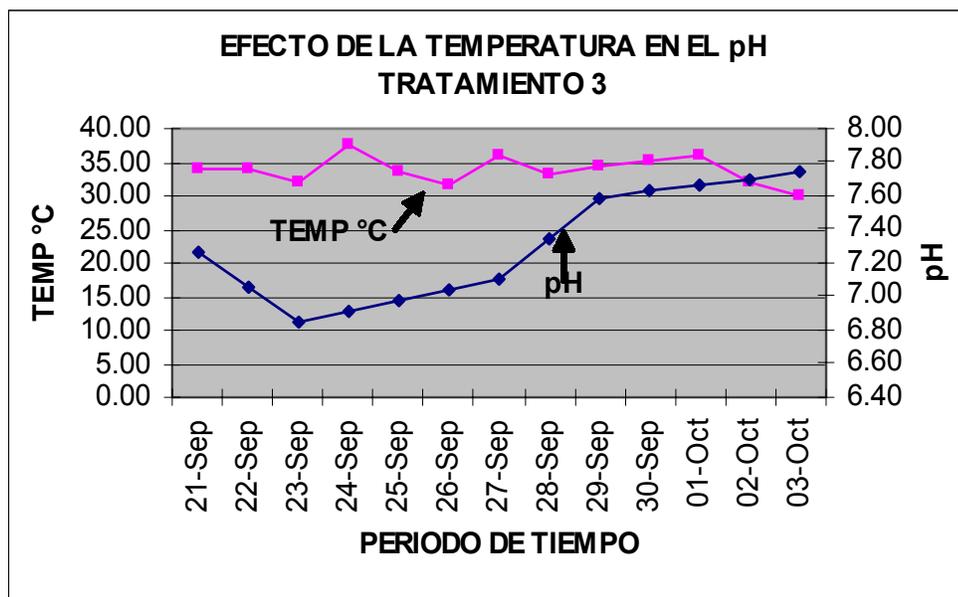
Grafica No 15. Efecto de la temperatura en relación con el pH para el tratamiento 2. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Sept-Oct. 2005.



Para el caso del tratamiento 3, en la grafica No 16, se observa que el efecto de la temperatura en relación con el pH lleva una secuencia similar a la del tratamiento anterior, ya que se observa que al decaer la temperatura $-2.04\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($34.17\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $32.13\text{ }^{\circ}\text{C}$) el pH se torna ácido de 7.27 a 6.85 (-0.42 unidades) y al estar la temperatura con poca variación, el pH se mantiene estable relativamente. Este fue el tratamiento en el que se registro la menor variación de temperatura y aunque fue mínima este se manifiesta en los valores del pH. Al igual se nota un acenso acelerado en el pH pero este es debido a la recarga realizada al biodigestor como antes fue mencionado.

Para este caso la temperatura en la cual se obtuvo un pH de 7.63 a 7.70, el cual fue lo ideal para obtener la producción de una mayor cantidad de biogas fue en el rango de 35.28 a $36.02\text{ }^{\circ}\text{C}$.

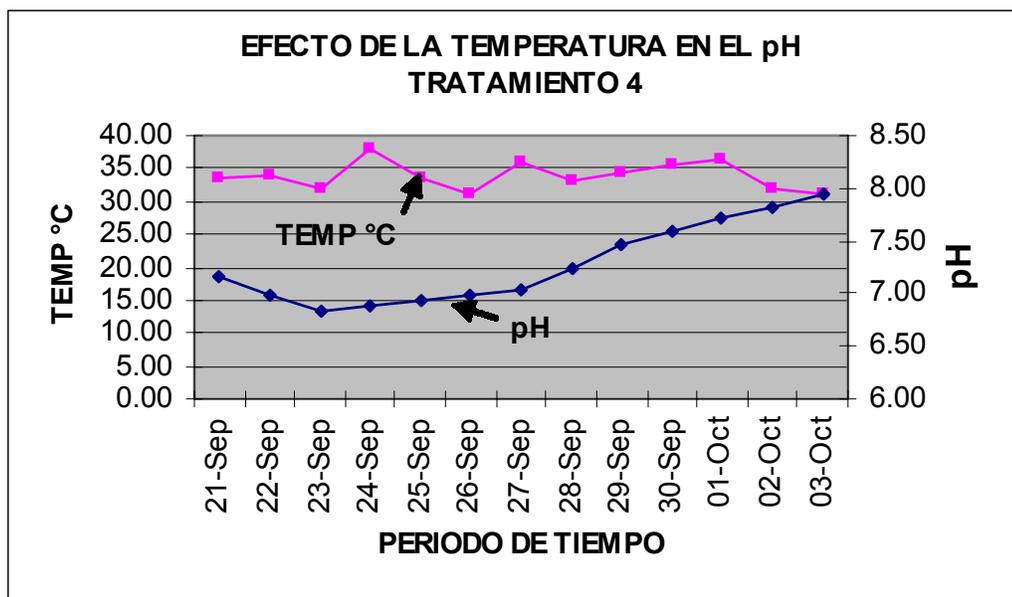
Grafica No 16. Efecto de la temperatura en relación con el pH para el tratamiento 3. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Sept-Oct. 2005.



La grafica 17, correspondiente al efecto que existe entre la temperatura y el pH para el tratamiento 4, se tiene que las temperaturas son similares y cambian por una mínima diferencia, ya que se tenían las mismas condiciones que los anteriores tratamientos, pero no se descarta que las variaciones modificaran el pH aun en grado mínimo. La temperatura para el 22 de septiembre era de 33.88 °C para el día siguiente la lectura mostró 32.03 °C (-1.35 °C), y el pH bajo en esos dos días (disminuyo 0.34 unidades). Se observa que con la recarga, se tiene un aumento considerable en el pH.

Para este caso la temperatura en la cual se obtuvo un pH de 7.47 a 7.71 el cual fue lo ideal para obtener la producción de una mayor cantidad de biogas fue en el rango de 34.44 a 36.20 °C.

Grafica No 17. Efecto de la temperatura en relación con el pH para el tratamiento 4. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Sept-Oct. 2005.



Cuadro No 21. Coeficiente de correlación (r) de las variables evaluadas en 4 tratamientos para la producción de biogas. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Sept-Oct. 2005.

V	D	T	pH
G	-0.27554983	-0.44360276	0.30581555
pH	-0.61374306	-0.9257827 *	
T	0.31841018		

*= significativo al 0.05 V= variable, D= contenido de sólidos, T= temperatura, G= producción de gas.

Con el propósito de detectar el grado de relación estadística entre alguno de los parámetros evaluados, se realizó un análisis de correlación, cuyos resultados se presentan el cuadro 21.

De acuerdo a estos resultados se observa que no existe diferencia estadística significativa alguna en ninguno de los casos, salvo en la relación que existe entre la temperatura y el pH, en donde se observa una $r = -0.9257827$, el cual esto significa que a mayor temperatura se tienen pH menores, lo cual aumenta la importancia de la temperatura; esto correlaciona con lo mencionado

por textoscientificos.com donde dice que el cuidado en el mantenimiento debe extremarse a medida que aumentamos la temperatura, dada la mayor sensibilidad que presentan las bacterias termofílicas a las pequeñas variaciones térmicas.

CONCLUSIONES:

1. La recarga de sólidos contribuye a que el pH recupere su alcalinidad a los 2 días después de su aplicación.
2. la recarga de sólidos ayuda a que las bacterias mantengan su actividad adecuada, al tener suficiente substrato orgánico para degradar (alimentación).
3. El tiempo de recarga esta determinado por el nivel de ph del biodigestado alcance un valor de 6.8.
4. La temperatura de la mezcla en el biodigestor es esencial para una buena producción de biogas.
5. La temperatura afecta el pH y esto trae como consecuencia una disminución severa en la producción de biogas,
6. Las fluctuaciones de temperatura modifican el comportamiento del pH.
7. La cantidad de biogas producido en cada uno de los tratamientos fue diferente.
8. El tratamiento que obtuvo una mejor producción de biogas fue el tratamiento 3 (5 % de sólidos) con una cantidad de biogas de 9174.25 cc a una temperatura de 32.28 °C a 36.02 °C y con un pH de 7.63 a 7.70.
9. El segundo mejor tratamiento fue el 4 (10 % de sólidos) con una producción de 5336.64 cc a una temperatura de 34.44°C-36.20 °C y con un pH de 7.47-7.71.

10. El tercer mejor tratamiento fue el 2 (10 % de sólidos) con un promedio de 5193.85 cc a una temperatura de 35.83°C-36.67 °C y un pH entre 7.26-7.76.
11. El peor tratamiento fue el 1, (5 % de sólidos), con una producción de 3606.64 cc a una temperatura de 34.45-36.67 y un pH de 7.51-7.58.
12. En cada uno de estos tratamientos se estudió si existió diferencia estadísticamente significativa en cuanto a la producción de biogás.
13. El pH desciende rápidamente en la primera semana del proceso y afecta la producción de Biogas cuando alcanza niveles ácidos ligeros.

RECOMENDACIONES:

1. Se debe tener cuidado en mantener bien sellado cada biodigestor ya que si no se mantiene herméticamente se tiene problemas con el funcionamiento del mismo, que hasta puede hacer que el experimento pueda fracasar.
2. Para siguientes experimentos hacer uno para comprobar diferentes dosis de recarga, esto para tener un mejor resultado en lo que respecta a este, ya que en este experimento realizado se noto que esto ayuda a la recuperación del pH.
3. Tomar en cuenta al igual que la temperatura del biodigestor, la del ambiente, Ya que esto nos puede dar una mejor visión de cómo utilizar y hasta en que momento darle calor o hasta cuando quitarle a un biodigestor para mantener estable la temperatura.
4. No dejar que la temperatura cambie bruscamente, ya que las fluctuaciones por más mínima que sea, esto afecta el proceso de producción de biogas.
5. Tomar el mejor tratamiento de esta investigación como base para trabajos futuros en cuanto a la producción de biogas.
6. Continuar con esta investigación para corroborar o mejorar los resultados obtenidos en este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Alkalay D. 2005. "Aprovechamiento de desechos agropecuarios para la producción de energía". Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Procesos Químicos, Valparaíso Chile.

http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/006/AD098S/AD098S08.htm

El biogas para la generación de electricidad. 1997. Página Web:

<http://www.proyectosfindecarrera.com/biogas-para-electricidad.htm>

Fundación Hábitat. 2005. "Biodigestores" una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizante. Quimbaya, Quindío, Colombia. Página Web:

<http://imagenes.tupatrocinio.com/imgbbdd/documentos/biodigestores.doc>

German Appropriate Technology Exchange. 1999. Consideraciones sobre la utilización del Biogas. Monografía. Valencia, España. Pág. Web:

<http://www.monografias.com/trabajos15/utilizacion-biogas/utilizacion-biogas.shtml>

Glosario de términos ambientales de EcoPortal.net Pagina Web:

<http://www.ecoPortal.net/content/view/full/169/offset/1>

Huiliano, Pérez y Picoli (2002) pagina Web:

<http://html.rincondelvago.com/compost.html>

Mejía A., D. 2005. Monografía de Biogas. Presentada como tesis de titulación nivel licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. México.

Monroy H. O. y G. Viegra G. 1990. Biotecnología para el Aprovechamiento de los Desperdicios Orgánicos. Ed. AGT EDITOR, S.A. México. 260 pp.

Lugones L., B. 2005. CUBAENERGÍA. Ingeniero mecánico, Especialista de Miembro de CUBASOLAR. Cuba. Pagina Web:

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

Parés I. F. R. y A. Juárez Jiménez, Bioquímica de los Microorganismos, Editorial REVERTÉ, S.A., México, Barcelona, Buenos Aires, pp. 151-159 "el metano".

Saldaña. 2006. Citado en The Internacional Conference of Technology Policy and Innovation Pág. Web: <http://www.nl.gob.mx/?P=simeprodeso>

Transforma Regulación Eléctrica: Avances y Tendencias. 2003. Número 4, año 2. Pág. Web: <http://www.cre.gob.mx/publica/transforma/2003/0503.pdf>

Tecnologías Orgánicas de la granja integral Autosuficiente, Editorial Ibalpe International de Ed. S.A., Colombia, México, pp. 402-403 "biodigestores".

Werner. 1989. Curso de biogas. Pagina Web:

<http://www.geocities.com/institutoingefor2/cursos/curso01/biogas1.html>

Wikipedia 2005. La enciclopedia libre. Página Web:

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

Soria, F. M., R. Ferrera C., J. Etchevers B., G. Alcántar G., J.T. Santos, L. Borges G. y G. Pereyda P. 2001 Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. Biodigestion of Hog Slurry to Produce Biomanure. Terra 19: 353-362. Chapingo, Edo. De México. México.

Pagina Web: <http://www.chapingo.mx/terra/contenido/19/4/art353-362.pdf>

Pagina Web: http://www.oni.escuelas.edu.ar/2002/santa_cruz/biogas/

Pagina Web: http://www.iica.int.ni/Estudios_PDF/Biodisgestores.pdf

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

Pagina Web: http://www.eco-gel.com/digestion_anaerobia.htm

Pagina Web: <http://www.ingenieroambiental.com/apunte-biogas.pdf> "Energías Alternativas".