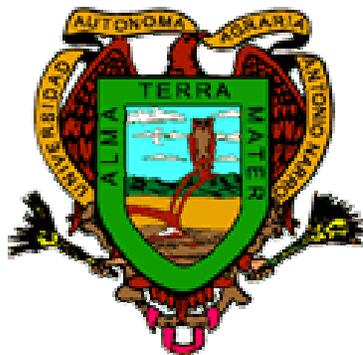


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE AGRONOMIA



“Evaluación del potencial hidrógeno (pH) en la mezcla de un biodigestor para la producción de biogas”

Por:

JESUS ALFONZO HERNANDEZ

TESIS

Presentado como Requisito Parcial

para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Junio del 2006.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

**“Evaluación del potencial hidrógeno (pH) en la mezcla de un
biodigestor para la producción de biogas”**

Por:

JESUS ALFONZO HERNANDEZ

TESIS

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como Requisito

Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Presidente del jurado

Sinodal

Ph. Dr. Juan Carlos Zúñiga Enríquez

M. C. Adolfo Ortega 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. Junio del 2006.

AGRADECIMIENTOS.

*Antes de todo quiero agradecer **AL MAESTRO JEHOVA “DIOS”**, que significa en hebreo **“DIOS HACE QUE LLEGUE HACER”**, por darme la dicha de venir a este mundo, por hacer que conociera a muchas personas buenas, además de que me ha dado tantas bendiciones, sin haber recibido nada a cambio de mi parte. Por haberme dado la responsabilidad, la claridez y la dedición de trazar mi camino de acuerdo a su voluntad. Además de que me ha enseñado y he aprendido, que él nos ha creado a su voluntad e imagen y que de ninguna forma venimos de la nada, es decir de sustancias inanimadas o en otras palabras por evolución. Yo en lo personal no soy religioso, pronto llegare hacerlo, pero antes que eso suceda quiero decir que no soy partidario de mi colega inglés CHARLES DARWIN, soy partidario del GRAN MAESTRO JEHOVÁ.*

*Antes de agradecer a DON ANTONIO NARRO RODRIGUEZ, quiero agradecer a las primeras instituciones que me fortalecieron, me amoldaron hasta llegar en este grado de ser un grano de arena más y formar parte y explorar y tratar de comprender una trillonesima parte del conocimiento e inteligencia del GRAN MAESTRO llamado IMPONENTE NATURALEZA, que no es otro que **“EL QUE HACE QUE LLEGUE HACER”**. Así pues, mencionare el nombre de las instituciones:*

El jardín de niños o preescolar “PFR. LUCIO CABAÑAS”, Culiacán, Sinaloa, México:

Les agradezco a los profesores por haber moldado mi imaginación.

Escuela primaria “PFR. EUSEVIO M. JUVENTINO ROSAS”, Quila de San Pedro, Municipio de Culiacán, Sinaloa, México:

Les agradezco a todos los profesores, que me instruyeron en las áreas que imparte dicha institución.

Escuela Secundaria Técnica No. 54, Soyatitán, Municipio de Venustiano Carranza, Chiapas, México:

Les agradezco a todos los profesores que me impartieron los cursos en sus diferentes áreas, durante los 3 años, que me brindaron sus apoyos de manera incondicional.

Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 46, Venustiano Carranza, Chiapas, México:

Les agradezco a todos los Ingenieros, Contadores y Licenciados, que me enseñaron y me brindaron su confianza.

*Finalmente llegamos a la máxima casa de estudio la **Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”**, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Casa que alberga a diferentes tipos de estudiantes, con diferentes tipos de capacidades químicas, físicas, matemáticas, artísticas, biológicas, filosóficas, genetistas, forestales, rurales, agronómicas, económicas, administrativas, etc.*

Casa llamada ALMA TERRA MATER, que alberga con sus alas la gran mezcla, lugar donde se reúnen estudiantes de diferentes estados, solo mencionare algunos de los muchos:

- a) Sinaloenses: Llamados “Los Gallos”**
- b) Duranguenses: Llamados “Los Alacranes”.*
- c) Chiapanecos: Llamados “Los Jaguares”.**
- d) Campechanos: Llamados “Los Mayas”.*
- e) Entre otros...*

*Por lo tanto, le agradezco sinceramente a **DON ANTONIO NARRO RODRIGUEZ**, por haber iniciado una obra de gran valor social y de filantropía. Porque gracias a Usted, muchos de nosotros de bajos recursos económicos, tenemos la oportunidad de progresar y superarnos en la vida.*

Quiero agradecer a mi "**ALMA TERRA MATER**", por haberme acogido, abrigado y formado, con toda su infraestructura que posee, así como también por las bondades y servicios que me ha dado. Gracias por darme la buena reputación que poseo como egresado tuyo, voy hacer lo posible porque esa buena reputación sea recíproca y se haga valer en la **TIERRA CALIENTE, CON MIS PAISANOS SINALOENSES** y en la **TIERRA CALIDA, CON MIS PAISANOS CHIAPANECOS** y en donde me encuentre.

Mis más sinceros y respetuosos agradecimientos para mi maestro y amigo **Ph. Dr. JUAN CARLOS ZUÑIGA ENRIQUEZ**, por ser un buen maestro Y por sus valiosos consejos y aliento, para ser cada día mejor, además por su gran apoyo y tener una verdadera paciencia conmigo, para la conclusión de este trabajo experimental, ya que contribuyo incansablemente con sus valiosos conocimientos, y lograr concluir el trabajo sobre producción de biogas. Además de ser, el principal dirigente del experimento de la investigación.

Al **M. C. ADOLFO ORTEGON PEREZ**, por colaborar en la revisión de la tesis, así como también sus consejos y su gran positivismo sobre el trabajo realizado.

Al **M. C. ENRIQUE ESQUIVEL GUTIERREZ**, por sus valiosos consejos y aliento, para concluir con el trabajo de investigación.

Al **M. C. CARLOS I. SUAREZ FLORES**, por su valiosa cooperación en la revisión del trabajo de investigación.

A mi maestro y amigo el **ING. JOSE LUIS CAUICH RAMÍREZ**, por su valiosa cooperación en la revisión de las conclusiones y recomendaciones.

A todos los Ingenieros, Contadores Públicos, Licenciados, Maestros en Ciencias, Phs. Doctores y Post – Phs. Doctores, de cada uno de los niveles académicos de las que pasé, porque me brindaron y compartieron sus conocimientos conmigo, además de que me instruyeron durante mi formación como estudiante.

*Agradezco a la **ING. NICOLAZA ACOSTA HERRERA**, por haber colaborado como primer suplente, en dirigir el experimento sobre producción de biogas. Y sobre todo por los valiosos consejos y apoyo para concluir el trabajo de esta investigación.*

*Agradezco a la **M.C. MILDRED INNA MARCELA FLORES VERASTEGUI**, por haber colaborado, para el avance de esta investigación.*

*Agradezco a la **BIOL. SILVIA GUERRERO MARTINEZ**, por haber contribuido en esta investigación.*

Agradezco a mis compañeros y amigos de la Generación “100” de Ingenieros Agrónomos en Producción, así como también a los compañeros de otras carreras de la misma u otra generación a quienes llamé y seguiré llamando maestros. En especial mencionaré a los maestros de mayor importancia que me apoyaron en los tiempos que más los necesitaba:

José Luís Cauich Ramírez, Cirilo Cahuare Ramos, Luís Miguel Mendoza Malagón, José Caro Lizarra, Erick Raúl Linarez Montaña, Darinel Torres Hernández, Gleyber Guadalupe Che Moo, José Alberto Ruiz López, Miguel Armando Arbez Abnal, Erick Morales, etc.

Quiero disculparme, porque creo y estoy seguro que no me alcanzarían las palabras para expresar mi gratitud hacía ustedes.

DEDICATORIA.

A mis padres:

Sr. Jesús Alfonzo Ara (Sinaloense):

Sra. Francisca Gómez Hernández (Chiapaneca):

Por luchar incansablemente porque nada me haga falta, privándose de muchas cosas con tal de dármelas a mí. Porque a pesar del tiempo y la distancia siempre han estado ahí cuando más los he necesitado, ya sea para compartir gratos momentos o para darme los consejos necesarios para poder andar en los caminos de la vida.

GRACIAS POR SER LOS MEJORES PAPAS DEL MUNDO.

El fruto bendito del hombre radica en los hijos. (Pfr. Lucio Cabañas).

A mis hermanos:

Rosalindo Alfonzo Hernández.

Maria I. Alfonzo Gómez.

Miguel de J. Alfonzo Hernández.

Jeus de Jesús Alfonzo Hernández.

Hernán Alfonzo Gómez.

Panyani Alfonzo Gómez.

Lennin Brayán Alfonzo Gómez.

Por su cariño, palabras de aliento, confianza, comprensión y apoyo incondicional que me han brindado, por la unidad que hay entre nosotros y por los consejos bíblicos que me han dado, además de hermanos los considero mis amigos. Gracias por ser como son: Especialmente a ti Jeus de Jesús mi gemelo, se que no estas aquí, porque te vas a graduar igual que yo, pero lo sabes, ya que somos uno mismo y a ti mi buen hermano menor Hernán, a quien estimo mucho, el gusto que tienes por la naturaleza arborícola, te ha hecho que optaras por la carrera de Ingeniero Forestal, mi mensaje es esta: échale todos los kilos,

prepárate mucho y ama a los árboles, pues son grandes maquinas de bombeo de agua, que ni siquiera el hombre ha podido comprender dicho sistema, observa los árboles y veras que ellos dialogarán contigo, estudia mucho. A ti Rosalindo mi gran hermano mayor eres un ejemplo para mí y los demás hermanos menores. Te admiro por tu gran inteligencia y por el coraje que tienes para hacer las cosas. Te admiro por tu gran apoyo económico que me has dado. A ti Lennin Brayan, el más pequeño de todos, tu llevarás la batuta después del primero, por que se ha abierto los caminos en tu senda, échale muchas ganas en tus estudios.

A mis padres, a mis hermanos mayores y menores y a mi novia, los quiero mucho y a ellos se las dedico mi TESIS.

Nota: *Mi tesis se las dedico a mi familia y cuñados (as) que pertenecen en la religión **TESTIGOS DE JEHOVA.***

A mis abuelos paternos:

Sr. Jesús Alfonso Aguilar.

Sra. Josefa Ara Gordillo.

Porque a pesar de todo sé que me han querido, además de ser un ejemplo de lucha y trabajo para mí. Especialmente a ti abuelo, por el amor que me brindaste durante mi niñez. En todo caso formas parte de mí, gran sinaloense.

A mis abuelos maternos:

Sr. Sebastián Gómez Santis.

Sra. Roselia Hernández Alfonso.

Por el inmenso amor, cariño, cuidado, consejos y palabras de aliento que me han brindado, durante mi adolescencia hasta el día de hoy. Especialmente a ti abuelita por quererme tanto, junto con mis hermanos mayores y menores. En todo caso formas parte de mí, gran chiapaneca.

A mis tíos (as):

Les dedico especialmente a Etelvina, Amparo, Candelaria y Gustavo, por su apoyo, palabras de aliento, por la confianza que me tienen y por los consejos que me dieron. Ya que sus consejos me han sido de gran utilidad.

A mis primos (as):

Con mucho cariño se las dedico a Adi, Graciela, Armando y Karina, por haber compartido gratos momentos de su niñez conmigo junto con mi hermano gemelo. Gracias los voy a recordar siempre.

A mis cuñados (as):

*Especialmente a Arón, Maria Hortensia y Rut Mariel, por darme consejos, apoyándose con la **BIBLIA** y por permitir que asistiera en las reuniones con los **TESTIGOS DE JEHOVA**. Gracias, ya que las veces que asistí a las reuniones aprendí, muchas cosas buenas que me han servido a lo largo de mi carrera seglar.*

A mis sobrinos (as):

Se los dedico a mis angelitos a quienes quiero mucho, a Ana Brenda Yazmín, Aidan Miguel, Christian Gamaliel, Brandón Edwin, María Belén y Arón. A estudiar mucho mis sureñitos y norteñitos...Para adelante mis pequeñuelos.

A mis amigos(as), (Coahuila):

Gabriela y Oralia Margarita, por haberme apoyado en los tiempos que más los necesitaba. Gracias por la confianza y consejos que me dieron. No me olvidare de ustedes norteñas.

A mis amigos(as), (Sinaloa):

A mis paisanos (as), Ingeniero Mecánico Industrial Bárbara, Ingeniero Químico Ramón, Ingeniero Agrónomo en Producción David, Ingeniero Agrónomo

en Parasitología José, Claudia, por sus consejos que me han dado y por la confianza que me tuvieron.

A mis amigos (as), (Chiapas):

A mis paisanos (as), Mariano, Ingeniero Agrónomo en Horticultura Deyby, Ingeniero Mecánico Agrícola José Manuel, Ingeniero en Ciencia y Tecnología de Alimentos Juan Luís, Azucena y Karen. Por los consejos que me dieron y por la confianza y amistad que me tuvieron.

A la familia de mi prometida:

Sr. Oscar Vázquez Santiago.

Sra. Rosa López Méndez.

Horacio Álvarez López.

Ana Irene Vázquez López.

Raúl Vázquez López.

Maria Adela Vázquez López.

Por el inmenso amor que me tienen, por su apoyo, palabras de aliento y consejos que me han dado y sobre todo me han dado un regalo que cayó del cielo, una dulce palomita, que es su adorada hija, **ANA IRENE VAZQUEZ LOPEZ**. Con todo respeto los aprecio a todos.

CASO ESPECIAL.

A mi novia y prometida:

ANA IRENE VAZQUEZ LOPEZ, la mujer quien mi corazón clama, la mujer de mis sueños, la mujer que atrapo con su amor al gran semental sinaloense - chiapaneco. Te la dedico a ti mi amor esta tesis en el que va sintetizado mis conocimientos, que he adquirido en la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Sobre todo por los consejos que me has dado de seguir adelante, superándome en los estudios seculares y por la enorme paciencia que me has tenido durante los 8 años que te he tenido como prometida, amor mis más

*sinceros respetos por tu gran **AGUANTE**, te quiero mucho, eres el amor de mi vida...*

Por todo lo que me han dado y apoyado, no los defraudare, pues soy un sinaloense – chiapaneco.

PALABRAS DE AMOR A LA SABIDURIA Y DEL MUNDO DE LA NATURALEZA (FILOSOFIA).

- ❖ *Cuando vayan mal las cosas como a veces suelen ir, cuando ofrezca tu camino solo cuentas que subir, cuando tengas pocos haber, pero mucho que pagar, y precisas sonreír aun teniendo que llorar, cuando ya el dolor te agobie y no puedas ya sufrir, descansar a caso debes, ¡pero nunca desistir!*
(FIL. JEAN A. A.).
- ❖ *Perder el miedo es adquirir seguridad* **(ING. FOR. ERICK RAUL LINARES MONTAÑO).**
- ❖ *El viento sopla de donde quiere, y oyes su sonido, más ni sabes de donde viene, ni a donde va; así es todo aquel que es nacido del Espíritu*
(ING. FIT. CHRISTIAN JESUS KARL LEYDEN JACOLEVICH ORANTES CORONADO).
- ❖ *Nada hay en cubierto, que no haya de ser manifestado; ni oculto que no haya de saberse* **(FIL. JESUS DE NAZARET).**
- ❖ *El hombre nunca es capaz de lo que es capaz hasta que lo intenta*
(FIS. ALBERT EINSTEIN).
- ❖ *No olvidemos, el hecho de que la ambición, por ser el primero, ayuda a inspirar la concentración intensa, las noches sin sueño y los largos días y*

noches de estudio y estancia en el laboratorio que finalmente, producen los resultados (**BIOLS. JAMES WATSON Y FRANCIS CRICK**).

- ❖ *Los bajos recursos económicos no es obstáculo para alcanzar el saber que hacer con los números y la teoría, para culminarlo con las leyes de la naturaleza (**FIS. Y MAT. SIR ISAAC NEWTON**).*
- ❖ *La oportunidad se deja alcanzar solo por el que lo persigue (**FIS. THOMAS ALVA EDISON**).*
- ❖ *El talento se educa en la calma y el carácter en la tempestad (**FIL. INMANUEL KAM**).*
- ❖ *Dinos, pues, que te parece: ¿Es lícito dar tributo a César o no? Pero Jesús conociendo la malicia de ellos les dijo: ¿Por qué me tentáis, hipócritas? Mostradme la moneda del tributo. Y ellos le presentaron un denario. Entonces les dijo: ¿De quién es esta imagen y la inscripción? Le dijeron de César. Y le dijo: Dad pues a César lo que es de César, y a Dios lo que es de Dios (**FIL. JESUS DE NAZARET**).*
- ❖ *En una ocasión un hombre se encontraba sobre una silla pensando y llegaron sus discípulos y le preguntaron ¿Qué es lo que estas pensando maestro? Y él les respondió, quiero atrapar la luz. Este hombre sabio, realizó 5001 intentos y por fin logró atrapar la luz (**FIS. THOMAS ALVA EDISON**).*
- ❖ *En una ocasión un científico estaba observando un diseño maravilloso de la naturaleza. Y exclamo: “He aquí mi gran invento, aunque logre atrapar la luz y lo enfoque en un solo punto, mi invento no es completamente perfeccionado, ya que no fui el primero en lograrlo, pues mi invento pierde*

energía en forma de calor. Y he aquí me encuentro observando un ser viviente que ha logrado atrapar la luz y enfocarlo en un solo punto, el cual la ha perfeccionado, pues la luz no se pierde en forma de calor, sino que emite los amperes y no se calienta”. Él se estaba refiriendo al insecto llamado “Luciérnaga”. Y finalmente concluyó con estas palabras: “Que maravillosa es la creación del creador todo poderoso JEHOVA”

(FIS. THOMAS ALVA EDISON).

❖ *Las maravillas del mundo de la naturaleza son sorprendentes pues, al observar el vuelo de las aves, se diseñaron aviones; al observar el movimiento del pulpo, se diseñó el avión cohete; al observar las termitas, se diseñó el sistema de aire acondicionado; al observar el insecto ditisco, se diseñó el tanque de oxígeno para buzos; al observar el nautilo, se diseñó el submarino; al observar la antena de los mosquitos, se diseñó el termómetro; al observar la elaboración de las celdas en panales hechas por avispas, se diseñó el papel. Finalmente dijo un biólogo: “No somos tan innovadores como nos imaginamos; simplemente somos repetidores”*
(BIOL. FAUSTO REINAGA A.).

En realidad nosotros como egresados, si inventamos algo o descubrimos algo, no penséis que somos los primeros en inventarlo o descubrirlo, simplemente somos repetidores, del mundo inexplorable de la naturaleza, los inventos y descubrimientos, no se le atribuye al hombre sino al Creador.

INDICE DE CONTENIDO

Índice de cuadros.....	xvii
Índice de figuras.....	xix
Índice de graficas.....	xx
I.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.- Objetivos.....	3
1.2.- Hipótesis.....	3
II.- REVISION DE LITERATURA.....	4
2.1.- Origen del biogas.....	4
2.2.- Análisis de biodigestores.....	5
2.3.- Que es un biodigestor.....	7
2.4.- Construcción de un biodigestor tipo Zanja.....	8
2.5.- Alimentación del biodigestor.....	13
2.6.- Diseños de biodigestores.....	14
2.7.- Presión de la mezcla dentro del biodigestor.....	15
2.8.- Unidades de presión.....	16
2.9.- Aplicación de la fermentación anaerobia en biodigestores en dife- rentes campos.....	17
2.10.- Ventajas del biodigestor.....	20
2.11.- Factores a considerar en el funcionamiento y operación de un biodigestor anaeróbico.....	21
2.12.- Procesos microbiológicos o fermentación anaerobia.....	24
2.13.- Definición de gas.....	30
2.14.- Propiedades de los gases.....	30
2.15.- Ley de los gases ideales.....	31
2.16.- Ley de los gases.....	31
2.17.- Ley universal de los gases.....	33
2.18.- Teoría Cinética de los Gases.....	33

2.19.- Concepto de gas ideal y diferencia entre gas ideal y real.....	34
2.20.- Definición de biogas.....	36
2.21.- Componentes del biogas.....	37
2.22.- Características de algunos de los componentes del biogas.....	39
2.23.- Contaminación ambiental que generan el metano y dióxido de carbono.....	44
2.24.- Características del biogas.....	45
2.25.- Estudios que se han realizado sobre el biogas.....	46
2.26.- Factores que afectan la producción de biogas.....	47
2.27.- Descripción de cada uno de los factores.....	48
2.28.- Biogas en rellenos sanitarios.....	60
2.29.- Control de biogas.....	60
2.30.- Consumo de biogas en litros por hora y kilocalorías por hora consi- derando un poder calorífico de 6000 kilocalorías por metro cúbico...61	
2.31.- Usos del biogas en la electricidad.....	61
2.32.- Usos del biogas.....	62
2.33.- Aplicaciones del biogas.....	62
2.34.- El Biogas en los Motores de Combustión Interna.....	64
2.35.- Beneficios del biogas.....	66
2.36.- Principios de combustión (flama).....	67
2.37.- Purificación del gas metano.....	68
2.38.- Seguridad.....	68
III.- MATERIALES Y METODOS.....	70
3.1.- Localización del experimento.....	70
3.2.- Descripción del Sitio Experimental.....	70
3.3.- Condiciones climáticas en el interior de la Sección de Agrotecnia.....	71
3.4.- Materiales utilizados.....	71
3.5.- Biodigestor.....	74
3.6.- Metodología.....	74

	xvi
IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	85
4.1.- Producción de biogas.....	85
4.2.- Temperatura.....	92
4.3.- Relación entre la temperatura y la producción de biogas.....	95
4.4.- pH.....	96
4.5.- Relación entre el potencial hidrógeno y la producción de biogas para los 4 tratamientos en estudio.....	99
4.6.- Relación en pH – temperatura para los 4 tratamientos en estudio.....	101
4.7.- Correlación de cada una de las variables.....	103
V.- CONCLUSIONES.....	106
VI.- RECOMENDACIONES.....	108
VII.- BIBLIOGRAFIA.....	112

INDICE DE CUADROS

Cuadros	Descripción	Página
No. 1.	Dimensiones de la fosa tipo Zanja para colocar el biodigestor.	9
No. 2.	Esquema de tres fases fundamentales para la degradación del material sólido dentro del biodigestor.	24
No. 3.	Esquema de las tres etapas de fermentación anaerobia dentro de un biodigestor.	25
No. 4.	Esquema de las características de las bacterias acidogénicas y metanogénicas.	29
No. 5.	Composición del biogas según wikipedia 2006.	37
No. 6.	Gases que componen el biogas resultantes de la fermentación bacteriana.	38
No. 7.	Mezcla de gases que forman el biogas.	39
No. 8.	Tipos de estiércol y producción de biogas de cada uno de ellos.	50
No. 9.	Tipos de bacterias y la sensibilidad que presentan en relación con la temperatura.	51
No. 10.	Tipos de estiércoles y su período de retención.	54
No. 11.	Sustancias toxicas para las bacterias (hidrolíticas, acidogénicas, acetogénicas y metanogénicas).	59
No. 12.	Aparatos electrónicos que consumen biogas.	61
No. 13.	Diferentes artefactos que utilizan biogas.	63
No. 14.	Descripción de los tratamientos en la fase I de la investigación sobre producción de biogas. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.	76
No. 15.	Descripción de los tratamientos en la fase II de la investigación sobre producción de biogas. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.	81
No. 16.	Análisis de varianza para la producción de biogas. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.	85
No. 17.	Efecto del factor A (control de pH) sobre la producción de biogas. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.	87
No. 18.	Efecto del factor B en la producción de biogas. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.	88

No. 19.	Efecto de la interacción A x B en diferentes variables para la producción de biogas. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.	90
No. 20.	Análisis de varianza para la temperatura. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.	92
No. 21.	Efecto de la temperatura sobre el factor A (control de pH). U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.	93
No. 22.	Efecto del factor B (% de sólidos) en la temperatura. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.	94
No. 23.	Análisis de varianza para el pH. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.	96
No. 24.	Promedio general de cada una de las variables medidas en la producción de biogas. Fase No. II. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.	103
No. 25.	Correlación de las variables evaluadas. Fase No. II. Producción de biogas. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.	104

INDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
No. 1.	Esquema de una flama de fuego utilizado como combustible.	5
No. 2.	Esquema de un biodigestor tipo Hindú para la producción de biogas.	6
No. 3.	Esquema de un biodigestor tipo Hindú.	8
No. 4.	Esquema de un biodigestor tipo Zanja o Salchicha.	13
No. 5.	Esquema de un biodigestor tipo Hindú.	14
No. 6.	Esquema de un biodigestor Szchawn.	15
No. 7.	Esquema de la aplicación de la digestión anaerobia en diferentes campos.	17
No. 8.	Esquema de dos fases para la descomposición del material biológico.	28
No. 9.	Curva sobre las tres etapas de la inoculación.	57
No. 10.	Diferentes aplicaciones del biogas.	62
No. 11.	Flama del metano cuya coloración azul indica buena calidad del poder calorífico.	68
No. 12.	Mapa de la localización del Sitio Experimental.	70
No. 13.	Aparato electrónico para medir el potencial hidrógeno.	72
No. 14.	Termómetro de bouyucus graduado en °F.	73
No. 15.	Esquema del biodigestor utilizado en la investigación.	74
No. 16.	Construcción de los biodigestores para retener bacterias anaeróbicas.	76
No. 17.	Colocación de cada uno de los biodigestores.	77
No. 18.	Calentador eléctrico para calentar el agua en “baño maría”.	78
No. 19.	Calentador eléctrico roto durante el experimento de la fase II.	81
No. 20.	Bolsa de polietileno fabricada para coleccionar el biogas.	82
No. 21.	Diagrama del orden de los tratamientos en la fase II.	83

INDICE DE GRAFICAS

Grafica	Descripción	Página
No. 1.	Evolución de la producción de biogas de acuerdo al factor A. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.	87
No. 2.	Relación de la producción de biogas de acuerdo al factor B (% de sólidos). U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.	89
No. 3.	Evolución de la producción de biogas en 4 tratamientos. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.	91
No. 4.	Evolución de la temperatura para los 4 tratamientos en estudio. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.	94
No. 5.	Relación temperatura – producción de biogas para los 4 tratamientos en estudio. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.	95
No. 6.	Evolución del pH en los 4 tratamientos de estudio para la producción de biogas. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.	98
No. 7.	Evolución en pH – producción de biogas en 4 tratamientos. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.	99
No. 8.	Evolución en pH – temperatura en 4 tratamientos. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.	101
No. 9.	Evolución del pH con relación con la concentración de materia orgánica. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.	102

I.- INTRODUCCION.

Campos (1999), citado por Capra y Pisano, menciona que hasta el tiempo presente, el 90 % de las necesidades energéticas de nuestro planeta han sido satisfechas con la utilización de combustibles fósiles como son (petróleo, gas, carbón), todos ellos agotables, fuertemente contaminantes y utilizados en forma ineficiente, que han tenido un efecto devastador en la ecología y medio ambiente del planeta. Como es conocido, en los últimos años las fuentes alternativas de energía han ido adquiriendo una importancia cada vez mayor, básicamente por razones energéticas y ambientales, siendo esto una tendencia mundial. El déficit de energía que sufre el mundo actual, tiene una situación cada vez más grave. Las fuentes tradicionales de energía más usuales son los combustibles fósiles (gasolina, diesel, etc.) y gas, las cuales no parecen ser solución a 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, lo que trae como consecuencia una deforestación. Este problema plantea la necesidad de encontrar una tecnología apropiada, utilizando recursos locales disponibles como son los residuos orgánicos (heces humanas, estiércoles y plantas), los cuales pueden ser usados como medio para producir gas metano y biofertilizantes por medio de fermentación anaeróbica en biodigestores. Esta forma de producir gas metano o biogas, es económica, rápida y representa una alternativa altamente favorable para reducir la contaminación del medio ambiente. Por lo tanto, el biogas aplicado a procesos tan

sencillos como el cocinar alimentos, es una de las formas en que se puede apoyar la economía familiar pues es una fuente de energía barata y eficiente, además de que su uso puede atenuar la deforestación derivada del empleo indiscriminado de la leña y el carbón y reducir de esta manera la deforestación. Un beneficio adicional es que el estiércol se convierte en un desecho productivo.

1.1.- Objetivos.

1. Generar biogas a partir de estiércol de bovino.
2. Determinar la variación de potencial hidrógeno (pH) en el biodigestor en un periodo de carga.
3. Estudiar la relación del potencial hidrógeno (pH) en la producción de biogas.
4. Determinar el rango óptimo de potencial hidrógeno (pH) en el biodigestado que permita la mejor producción de biogas.
5. Establecer bases para nuevas investigaciones en relación con el potencial hidrógeno (pH) óptimo en la producción de biogas.
6. Estudiar la relación de la temperatura con la producción de biogas.

1.2.- Hipótesis.

Ha 1: Las diferentes concentraciones de estiércol de bovino en el biodigestor presentan diferencias en potencial hidrógeno (pH).

Ha 2: El potencial hidrógeno (pH) influye en la producción de biogas.

Ha 3: El tiempo de retención del material digestado es diferente para cada dosis de biosolidos.

Ha 4: El tiempo de retención del material digestado altera el potencial hidrógeno (pH) en el digestado.

Ha 5: La temperatura influye en la producción de biogas.

II.- REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1.- Origen del biogas.

El sitio web consumer (2005), cita que la creación y utilización del biogas de manera artificial se remonta a la segunda guerra árabe - israelí, a mediados de los años setenta del siglo XX, cuando el precio del petróleo subió ostensiblemente al ser utilizado como arma política, lo que hizo que se investigasen otras posibilidades de producir energía. Es entonces cuando se experimentó con reactores, los llamados de “alta carga o biodigestores”, capaces de retener los microorganismos anaerobios y de tratar las aguas residuales mediante este proceso.

El mismo consumer (2005), hace referencia que en un primer momento, el desarrollo del biogas fue más fuerte en la zona rural, donde se cuenta de manera directa y en cantidad con diversos tipos de desechos orgánicos, como el estiércol. De esta manera el aprovechamiento de los residuos agrícolas se practica desde hace años en instalaciones individuales de tamaño medio que utilizan el biogás para cocinar o como fuente de iluminación. Según expertos, esta manera de tratar los residuos con la ayuda de los biodigestores es más efectiva, controlada y ecológica que las soluciones tradicionales de tratamiento que en algunos casos, pasan directamente por el vertido incontrolado. No obstante el biogas también tiene sus inconvenientes porque, además del metano y dióxido de carbono, pueden aparecer otros componentes minoritarios como el ácido sulfhídrico que es necesario eliminar.

2.2.- Análisis de biodigestores.

De acuerdo con Lugones L. B., citado en el sitio web, por CUBA SOLAR, menciona que cuando el hombre aprendió a emplear el fuego, la cocción de alimentos ha llegado a ser una de las actividades fundamentales para su subsistencia. Para esto se han utilizado diferentes combustibles, entre ellos la biomasa vegetal.

Se conoce que casi tres mil millones de personas en el mundo emplean todavía la leña como fuente de energía para calentar agua y cocinar, lo que provoca, junto a otros efectos, que anualmente se pierdan en el mundo entre 16 y 20 millones de hectáreas de bosques tropicales y zonas arboladas.



Figura No. 1. Esquema de una flama de fuego utilizado como combustible.

En respuesta a esta situación surgen varias alternativas para llevar a cabo la cocción de alimentos, que tienen bajo impacto ambiental y su fuente de energía es considerada renovable, una de ellas resulta la producción de biogas a partir de la fermentación de la materia orgánica.

Fue en la India donde se construyó la primera instalación para producir biogas, en fecha cercana al año 1900; a partir de ese momento se ha

incrementado el número de biodigestores, y actualmente funcionan en ese país alrededor de doscientas mil unidades. China es hoy la región que tiene un mayor número de este tipo de instalaciones (aproximadamente 6.7 millones).



Figura No. 2. Esquema de un biodigestor tipo Hindú para la producción de biogas.

Siguiendo con el análisis de biodigestores, el sitio web textoscintificos (2006), menciona que fue en el año 1890 cuando 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 biogas”, 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 biogas producido se utilizó para el funcionamiento de las propias plantas, en vehículos municipales y en algunas ciudades se 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, Estados Unidos de América, Filipinas y Alemania.

2.3.- Que es un biodigestor.

De acuerdo con el sitio web Proyecto 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 o humano, las aguas sucias de las ciudades, residuos de matadero) en forma

conjunta con agua, y un ducto de salida en el cual el material ya digerido por acción bacteriana abandona el biodigestor.

El sitio web *producechiapas* (2006), menciona que un biodigestor es un sistema para la obtención de gas metano, en forma natural y esta compuesto por una bolsa de plástico (polietileno calibre 600 a 800) y dos tubos de cemento, donde se introduce estiércol de cualquier animal para su fermentación.

Después del proceso de fermentación, el estiércol sale convertido en abono orgánico o fertilizante natural, que puede ser utilizado en los cultivos.



Figura No. 3. Esquema de un biodigestor tipo Hindú.

2.4.- Construcción de un biodigestor tipo Zanja.

El mismo *producechiapas* (2006), cita los siguientes pasos para la construcción de un biodigestor tipo zanja:

a) Primer paso: decidir el tamaño del biodigestor.

Esto estará en función de la cantidad de estiércol o material a fermentar disponible en el lugar, así como la cantidad de gas requerida como consumo.

Un biodigestor de 8 metros de largo, necesita diariamente 50 kilogramos de estiércol disuelto en 200 litros de agua. El biodigestor debe ubicarse cerca de la fuente de estiércol, agua y del lugar donde se utilizara el biogas.

b) Segundo paso: preparación de la fosa y colocación de los tubos de entrada y salida.

La fosa se hace con el fin de proteger los materiales del biodigestor, sobre todo la bolsa, así mismo sirve de contenedor del agua y material en fermentación.

En el cuadro 1, se menciona las dimensiones de la fosa.

Cuadro No. 1. Dimensiones de la fosa tipo Zanja para colocar el biodigestor.

Zanja	Tamaño (metros)
Largo	4 o más
Ancho Superior	1.60
Ancho de Base	1.20
Profundidad	1.20

Fuente: producechiapas.com (2006).

Con estas dimensiones la fosa toma la forma de un trapecio invertido el cual permite que la bolsa se ajuste por todo el largo y ancho de la misma. En cada extremo de la fosa se realiza un corte de 60 centímetros de ancho por 60 centímetros de largo en ángulo de 45 ° hacia el interior de la fosa a fin de sostener las alcantarillas. El piso de la fosa debe estar con cero pendiente, liso y sin obstáculos que eviten el flujo de los materiales. Cuidar que en las paredes no quede piedras, raíces, que pudieran dañar el plástico.

Para la colocación de la entrada y salida de material se utilizan dos tubos de concreto de 15 pulgadas de diámetro, las cuales antes de ser instaladas deben

cubrirse por la parte interna pudiendo ser con costales de fertilizantes u otro material que proteja la bolsa al pasar en el interior de el.

Es importante mencionar que para colocar los tubos de concreto en la fosa, estos deben de tener de un 3 a 5 % de desnivel entre la boca de entrada y la de salida para favorecer precisamente la salida de los materiales, de lo contrario se llenara la bolsa y no funcionara el biodigestor, para esto se puede utilizar el nivel de manguera.

c) Tercer paso: preparación de la bolsa.

Se extiende el plástico tubular sobre un piso firme, seco y sin piedras para no romperlo. Se aconseja hacerlo en un espacio grande y de preferencia de concreto; dependiendo del largo a utilizar, se harán dos bolsas del mismo tamaño. Para ello se dobla a la mitad y se corta, de tal forma que queden dos bolsas del mismo tamaño. Si el biodigestor se hace de 8 metros. Cada bolsa debe de tener 12 metros de largo considerando que se dejan 2 metros en ambos extremos, los cuales deben parar por el interior de los tubos de concreto.

Una vez cortada se introducirá una bolsa dentro de la otra, para el efecto dos personas sostienen la bolsa por los extremos que quedara en la parte exterior y lo sacuden mientras dos personas sostienen la bolsa por los extremos que quedara en la parte exterior y lo sacuden mientras una tercera persona se introduce con la otra bolsa hasta salir por el otro extremo, al final tendremos una bolsa doble. Es recomendable empatar los extremos longitudinales de tal forma que coincidan las dos bolsas.

d) Cuarto paso: colocación de la válvula de salida.

Los materiales que se requieren para la construcción de la válvula:

- Un adaptador macho de PVC de 1 pulgada.
- Un adaptador hembra de PVC de 1 pulgada.
- Dos tapas de cubeta 19 litros, recortadas que servirá de arandelas.
- Dos pedazos circulares de cámaras de llanta.
- Dos tramos de PVC de 1 pulgada de 10 centímetros de largo.
- Un codo de PVC 1 pulgada.

Sobre el pliegue de la bolsa doble y a 4 metros del extremo de la bolsa que será la boca de la entrada, se hace un corte circular un poco más pequeño que las roscas del adaptador macho de PVC. Para esto es necesario arremangar las bolsas para hacer dicho corte, se recomienda hacer el corte a las dos bolsas de una sola vez.

Se introduce la arandela rígida (tapa recortada de cubeta) en la rosca del adaptador macho y después de la arandela, un empaque de cámara de llanta (del mismo tamaño de la arandela) con un corte circular de una pulgada para que quede ajustado.

Se introduce la arandela con el adaptador macho a la bolsa doble por el corte circular, para que luego se enrosque un segundo juego de arandelas pero con el adaptador hembra por la parte externa de las bolsas quedando de esta manera construida la válvula de salida, pegamos el adaptador hembra con sus tubos de PVC. Una vez colocada la válvula de salida, se introduce la bolsa en la fosa, pasando por el interior de los tubos ambos extremos de la bolsa.

Es necesario sostener el pliegue de la parte superior de las bolsas y tratar de que el pliegue inferior quede también ajustado en la base inferior de la fosa.

e) Quinto paso: colocación de la válvula de seguridad.

Materiales:

Un tubo de PVC de 1 pulgada, tres tubos de PVC de 1 pulgada y 10 centímetros de largo, un codo de PVC de 1 pulgada, un tapón de PVC de 1 pulgada, una fibra de cocina, un tubo de 1 pulgada y 20 centímetros de largo, una botella de 2 litros rígida y pegamento de PVC.

La válvula de seguridad se coloca próxima al biodigestor y la casa. Su función es formar un sello de agua para que el exceso de gas pueda salir y con ello evitamos que la bolsa del biodigestor estalle por efecto de la presión interna.

Procedimiento para colocar la válvula de seguridad.

A continuación se menciona 4 pasos fundamentales para la colocación de la válvula de seguridad:

- Introducimos la T en el envase de plástico.
- Amarramos la válvula a un poste.
- Llenamos el envase de plástico con agua (sello de agua).
- Conectamos la válvula de salida con la válvula de seguridad, con una manguera transparente de 1 pulgada.

Por la válvula de seguridad, se conecta la manguera con la fuente de humo para inflarla.

Después de inflado, se llena de agua hasta que el nivel de agua sobrepase la boca inferior de los tubos para formar un sello de agua y evitar que la bolsa se

desinfe. Por ultimo, abrimos los dos extremos de la bolsa y los enrollamos hacia fuera de los tubos y los amarramos con fajas de hule de cámara de llanta.

f) Sexto paso: inflado de la bolsa y llenado de agua.

Este paso es muy importante, pues nos permite revisar el biodigestor antes de ponerlo a funcionar. Cualquier fuga o problema que encontremos podemos solucionarlo en este paso.

El inflado de la bolsa es importante ya que da cuerpo al biodigestor, además de que permite crear en el interior una cámara de acumulación de gas. El inflado puede hacerse con un compresor, el tubo de escape de un tractor o vehículo. Antes de inflar se deben de amarrar ambos extremos de la bolsa, no sin antes introducir por la entrada la manguera que va a meter el agua al biodigestor.



Figura No. 4. Esquema de un biodigestor tipo Zanja o Salchicha.

2.5.- Alimentación del biodigestor.

El mismo producechiapas (2006), menciona que llegando a este punto, ya podemos poner a trabajar nuestro biodigestor, para producir biogas. Para ello necesitamos “alimentar” diariamente con una mezcla de agua y estiércol en proporción de 4 a 1.

Ejemplo:

Para un biodigestor de 8 metros: 50 kilogramos de estiércol más 200 litros de agua.

La alimentación se puede hacer directamente a la boca del biodigestor, con apoyo de cubetas, a través de un tanque de alimentación con un sistema de drenaje con tubos de PVC y una llave de paso.

El biodigestor inicia su producción de biogas a los 40 días después de la primera alimentación.

2.6.- Diseños de biodigestores.

El sitio web eco-gel (2005), cita dos diseños de biodigestores los cuales son:

a) Sistema Hindú o Kwick.

La principal característica es la de operar a presión constante. Este digestor es el prototipo de la sencillez en su concepción y su operación, pues fue ideado para ser manejado por campesinos de muy escasa preparación.



Figura No. 5. Esquema de un biodigestor tipo Hindú.

b) Sistema Chino o Szchawn.

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.

El biodigestor tipo chino consta de las siguientes partes:

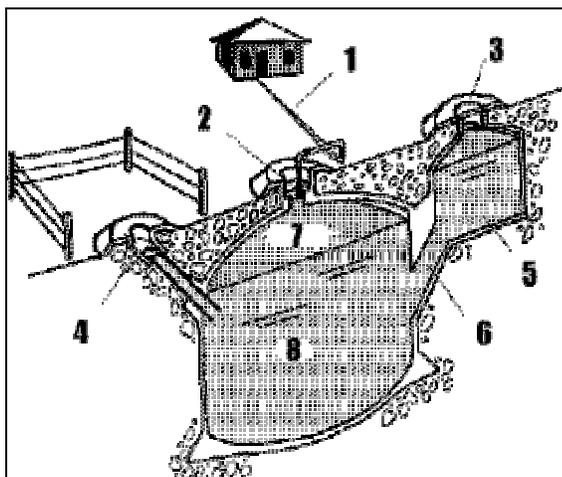


Figura No. 6. Esquema de un biodigestor Szchawn. Partes: 1.- Tubería de salida del gas, 2.- Sello removible, 3.- Tapa móvil, 4.- Entrada, 5.- Tanque de desplazamiento, 6.- Tubería de salida, 7.- Almacenamiento del biogas, 8.- Materia orgánica.

2.7.- Presión de la mezcla dentro del biodigestor.

La presión es importante cuando se opera con biodigestores a escala industrial, ya que a mayor profundidad la mezcla ejerce mayor peso sobre las bacterias, por esta razón el sitio web wikipedia (2006), define presión como la fuerza por unidad de superficie:

$$P = dF / dA$$

De acuerdo con Mejía (2005), citado en el sitio web monografía, menciona que la presión dentro del biodigestor es un factor limitante del proceso anaerobio. Cuando la presión hidrostática a que están sometidas las bacterias es superior a 4 PSI, su velocidad de trabajo se reduce en un 50 %. Con el aumento de presión disminuye el rendimiento pero no llega a detenerse el proceso. En digestores sencillos, cuyo ancho es menor que la profundidad y sin más efecto de agitación que el burbujeo del gas producido, no se debe sobrepasar una profundidad de 3.6 metros (141.73 pulgadas). Si esta se sobrepasa es necesario darle agitación mecánica.

2.8.- Unidades de presión.

El sitio web wikipedia (2006), cita que en el Sistema Internacional de Unidades, la presión tiene por unidad el newton sobre metro cuadrado (N / m^2), unidad derivada que se denomina Pascal (Pa) o puede ser en kilogramos por fuerza sobre centímetro cuadrado (KgF / cm^2).

El sitio web infoaventura (2006), cita otras unidades que también se pueden utilizar para medir la presión de la mezcla del biogas:

El barómetro (bar): 1 bar = 106 barias = 105 Pascal (Pa).

Una atmósfera (atm): 1 atm = 760 milímetros de mercurio (mm Hg) = 760 Torricelli (Tor).

2.9.- Aplicación de la fermentación anaerobia en biodigestores en diferentes campos.

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

Como puede apreciarse en la figura 7, 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.

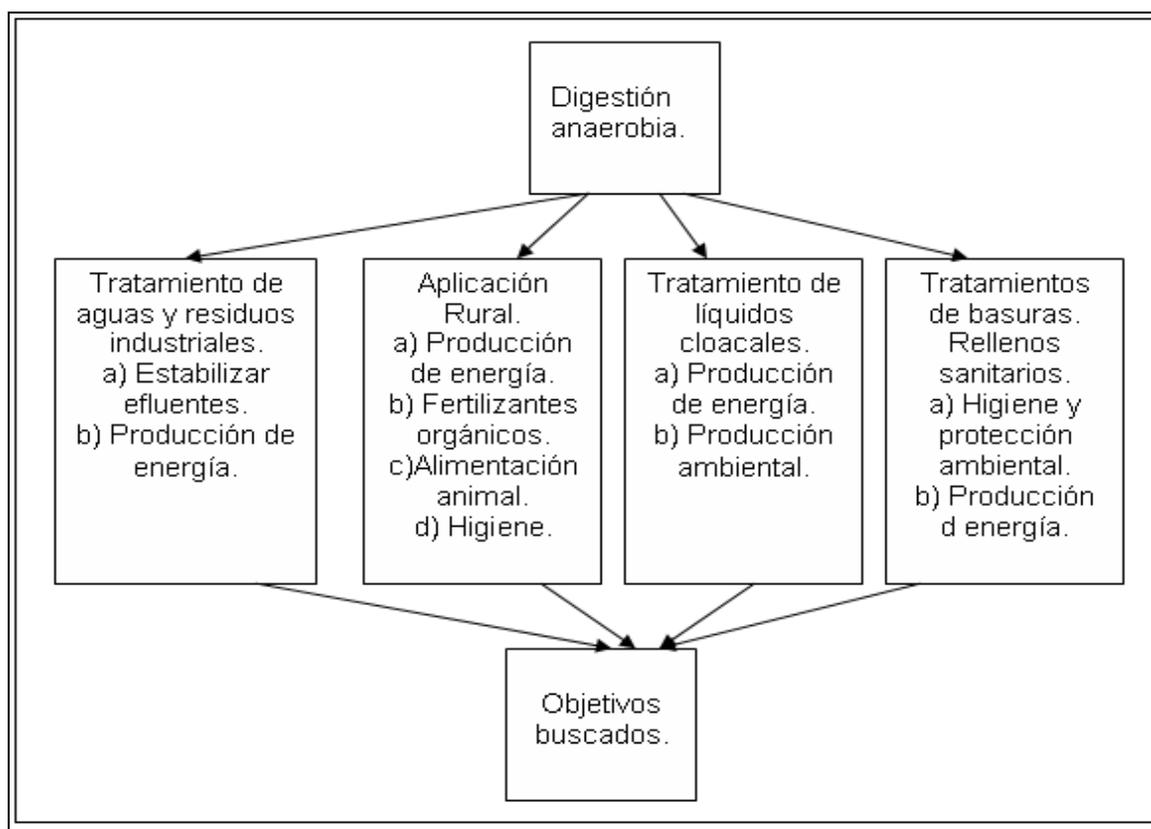


Figura No. 7. Esquema de la aplicación de la digestión anaerobia en diferentes campos.

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 1.000 m³ de capacidad), trabajan a temperaturas mesofílicas (20 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 (Por ejemplo solo existen: 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.

La aplicación del 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 Comunidad Económica Europea); en el resto del mundo no se ha superado aún la etapa de unidades demostrativas o emprendimientos particulares aislados.

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 metros cúbicos anuales de biogas.

El relleno sanitario, práctica muy difundida en el mundo para eliminar las enormes cantidades de desperdicios generados en las grandes ciudades ha 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.

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.

2.10.- Ventajas del biodigestor.

El sitio web [producechiapas](http://www.producechiapas.com) (2006), cita algunas de las ventajas más importantes que puede generar un biodigestor:

- a) Producción de biogas para cocinar, calentar, alumbrar, combustible, etc.
- b) Abonos orgánicos para la producción de hortalizas o cualquier otro cultivo.
- c) Evita problemas de contaminación, malos olores, moscas y enfermedades infectocontagiosas en los corrales.

2.11.- Factores a considerar en el funcionamiento y operación de un biodigestor anaeróbico.

Agua.

El factor agua es importante, ya que junto con el estiércol, dentro del biodigestor contribuyen a la proliferación de las bacterias, que posteriormente degradaran el estiércol. A este respecto el sitio web monografías (2006), cita que la contaminación del agua esta relacionada con la alteración de su calidad, mejor dicho de sus características físicas, químicas, bacteriológicas, bien sea por causas naturales o bien por acciones antrópicas que conllevan de forma parcial o total a que el agua no sea adecuada, ya sea para uso doméstico o industrial o bien para la producción de biogas. La misma fuente menciona que es importante considerar algunos factores que influyen en la calidad de agua.

Temperatura. La temperatura es uno de los factores ambientales más importantes que influyen en la proliferación y supervivencia de los microorganismos, a medida que aumenta las reacciones enzimáticas y tasas de reproducción. Para cada organismo existe una temperatura máxima por encima de la cual no es posible el crecimiento, una mínima por debajo de la cual no tiene lugar la proliferación y una óptima en la cuál se produce el crecimiento de forma más favorable.

La temperatura elevada resulta de descargas de agua caliente que puede tener un impacto ecológico significativo. El cambio de temperatura de un cuerpo

de agua afecta en forma directa a la solubilidad de los gases, sales y por tanto a la conductividad eléctrica y determinación del potencial hidrógeno.

Potencial hidrógeno (pH). El pH del agua representa su acidez o su alcalinidad y, cuyo factor más importante es habitualmente la concentración de anhídrido carbónico debido a la mineralización total. La mayoría de los ecosistemas acuáticos tienen un potencial hidrógeno (pH), que oscila entre 5.0 y 9.0, muy pocas especies pueden crecer a un potencial hidrógeno (pH), inferior a 2.0 o superiores a 10.

Conductividad eléctrica. La conductividad eléctrica permite evaluar rápida y muy aproximadamente la mineralización global de agua. Las modificaciones importantes de la conductividad pueden interferir rápidamente en el transcurso del día a causa de vertimientos industriales.

Oxígeno disuelto. Las variaciones del contenido de oxígeno son importantes ya que tiene tendencia a disminuir con la profundidad y los problemas anaerobios pueden desarrollarse en el fondo. Cuando la temperatura se eleva, el contenido de oxígeno disminuye a razón de una pequeña solubilidad; estas modificaciones pueden formar gustos y olores desagradables.

Es uno de los indicadores más importantes de la calidad de agua. Los valores varían entre 7.0 y 8.0 mg / lt.

Turbiedad. Define el grado de opacidad producido en el agua por las partículas de materia suspendida. La turbiedad originada en el agua por parte de materiales externos se denomina alóctona, y la producida dentro del mismo cuerpo de agua se denomina autóctona.

La forma más frecuente de como el hombre aumenta la turbiedad del agua, es por la construcción de obras de ingeniería que dejan el terreno expuesto a la erosión, en especial en el trópico donde las precipitaciones son frecuentes y altas, este se convierte en uno de los factores más perturbadores de los ecosistemas acuáticos.

Alcalinidad. El agua pura químicamente es una sustancia neutra que no manifiesta carácter alcalinos ni cualidades ácidas, pero las aguas naturales, aún las que tiene un alto grado de pureza, contiene soluciones suspendidas de gases atmosféricos y de minerales del suelo. Son estos productos los encargados de suministrar a las aguas características ácidas o alcalinas. La alcalinidad es producida por sustancias de contacto con el agua, es decir, por hidrólisis, producen iones hidroxilo (OH^-). Así por ejemplo; la cal, carbonatos y bicarbonatos son productos que comunican alcalinidad al agua con la capacidad de neutralizar ácidos del agua, por lo que posee propiedades buffer.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O.). Se define como la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias para descomponer la materia orgánica bajo condiciones aeróbicas. Es una prueba que permite conocer la materia orgánica presente en un cuerpo de agua a través de una serie de mediciones de oxígeno.

Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.). Corresponde al contenido del conjunto de materias orgánicas que tienen un carácter biodegradable o no. Se expresa por la cantidad de oxígeno necesario para oxidar toda la materia orgánica e inorgánica presente en un cuerpo de agua.

Dureza total. Corresponde a la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, evaluada como carbonato de calcio; y además es la capacidad para

precipitar el jabón. Si la dureza es menor a la alcalinidad corresponde a su totalidad de carbonatos.

2.12.- Procesos microbiológicos o fermentación anaerobia.

El sitio web textoscintificos (2006), define fermentación anaerobia como 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.

Cladead (2005), citado en el sitio web cladead, hace referencia sobre los procesos para la producción de biogas.

Cuadro No. 2. Esquema de tres fases fundamentales para la degradación del material sólido dentro del biodigestor.

Fase de hidrólisis	Durante la hidrólisis ocurre la destrucción de las grandes moléculas de carbohidratos, proteínas y lípidos convirtiéndolas en unidades más pequeñas, mediante un proceso enzimático, donde intervienen bacterias hidrolíticas, que rompen los enlaces de dichas moléculas para ser transformadas o subdivididas en sustancias más simples.
Fase ácida	En la fase ácida, es donde las sustancias simples, son atacadas por bacterias formadoras de ácidos orgánicos (láctico, butírico) y otros productos tales como: Oxígeno, Hidrógeno y Etanol.
Fase metanogénica	En la fase metanogénica, se produce por la fermentación de ácidos volátiles (acético, propiónico), metanol y otros; acción de estas bacterias, propicia la formación de metano y dióxido de carbono, los dos componentes fundamentales biogas.

Fuente: cladead.com (2005).

El sitio web tecnovet (2004), cita un segundo panorama de los procesos de digestión o fermentación.

Cuadro No. 3. Esquema de las tres etapas de fermentación anaerobia dentro de un biodigestor.

<p>ETAPA I: Hidrólisis. Materia cruda: Polímeros complejos: Carbohidratos, Proteínas y Grasas. + Microorganismos "H": Bacterias hidrolíticas (Facultativas).</p>		<p>Compuestos solubles: Monómeros de azúcares, Aminoácidos, Glicéridos y Lípidos. + Microorganismo "H": Productos intermedios.</p>
<p>ETAPA II: Formación de ácidos. Compuestos solubles: Monómeros de azúcares, Aminoácidos, Glicéridos y Lípidos. + Microorganismo "A": Bacterias formadoras ácidos (Facultativas).</p>		<p>Ácidos orgánicos: Acido acético, Acido propiónico, Acido láctico, otros. Alcoholes simples, CO₂, N₂, H₂. + Microorganismo "A": Productos intermedios.</p>
<p>ETAPA III: Metanogénesis. Ácidos orgánicos: Principalmente ácido acético, CO₂, H₂. + Microorganismo "M": Bacterias formadoras de metano (anaeróbicas obligadas).</p>		<p>Biogas: CH₄, CO₂, H₂, H₂S. + Microorganismo "M": Productos intermedios.</p>

Fuente: Tecnovet. . uchile . cl (2004).

El sitio web textoscientificos (2006), cita un tercer panorama a cerca de los procesos de fermentación que es la siguiente:

Prerrequisitos necesarios para iniciar el proceso de fermentación anaerobio.

La fermentación anaeróbica involucra 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 (cuadro 3).

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 metano y dióxido de carbono (CH_4 y CO_2).

Etapas que intervienen en el proceso de fermentación.

Etapas que intervienen en el proceso de fermentación y sus principales características (cuadro 3).

Etapa I. 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.

Etapa II. 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 productos como hidrógeno (H_2) y dióxido de carbono (CO_2). Esta reacción es endoenergética, pues demanda energía para ser realizada y es posible gracias a la estrecha relación simbiótica con las bacterias metanogénicas que sustraen 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.

Etapa III. Metanogénica. Las bacterias intervinientes en esta etapa, pertenecen al grupo de las achibacterias y poseen características únicas que las diferencian de todo el resto, por lo cual, 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 (CH_4) y el dióxido de carbono (CO_2).

La figura 8, 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.

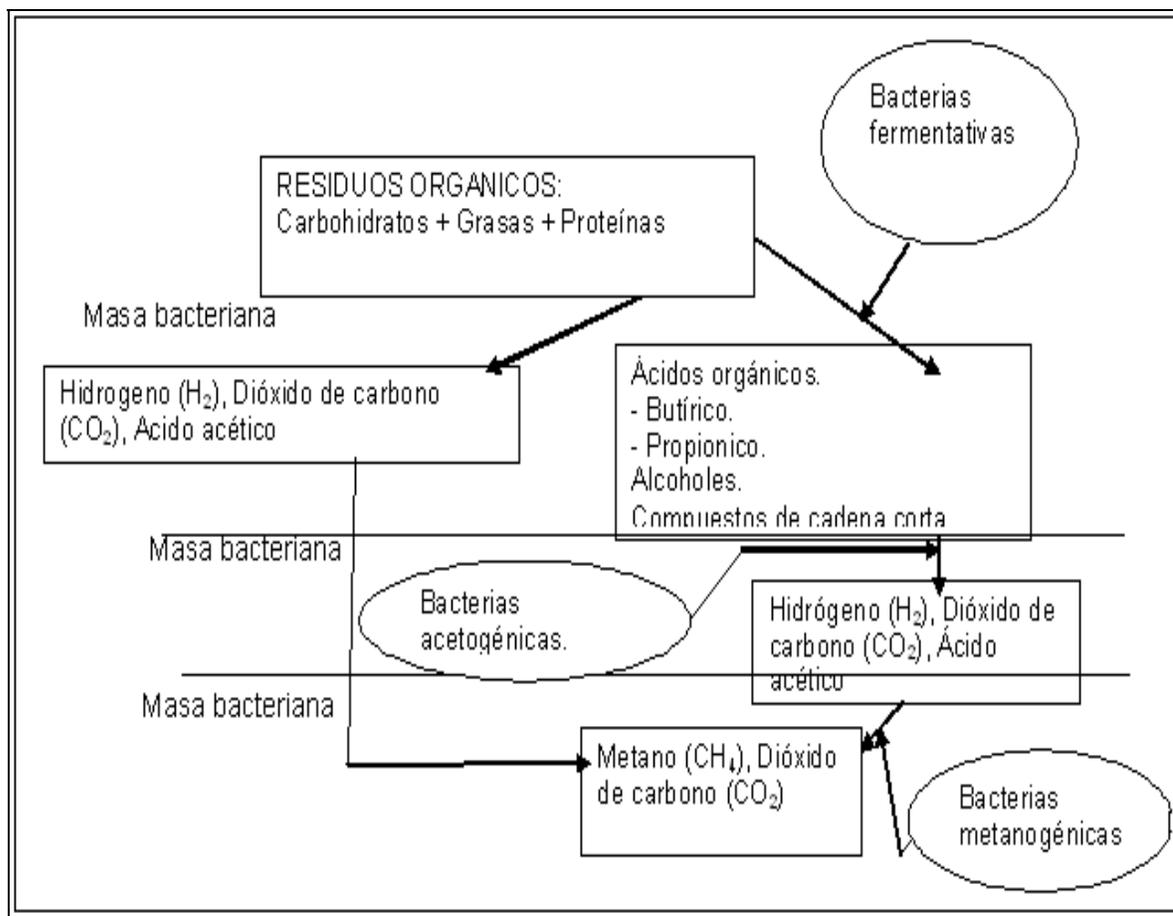


Figura No. 8. Esquema de dos fases para la descomposición del material biológico.

Los microorganismos intervinientes en cada fase tienen propiedades distintas que son muy importantes y se les debe conocer para lograr comprender el equilibrio y funcionamiento óptimo de un digestor. Estas características han sido resumidas en el cuadro 4, para su mejor comprensión.

Cuadro No. 4. Esquema de las características de las bacterias acidogénicas y metanogénicas.

Fase acidogénica	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).
Pocos 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 (CH ₄) y dióxido de carbono (CO ₂).

Fuente: 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, generadora de dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄).

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 metano o biogas 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.

2.13.- Definición de gas.

Dado que el biogas esta compuesto por una mezcla de gases y antes de explicar todo lo referente sobre el biogás, es necesario mencionar algunas cosas sobre los gases, por esta razón Sokolovsky (2006), define un gas como cualquier fluido aeriforme que a presión y temperatura ordinaria ocupa el espacio disponible en un recipiente que lo contiene, es compresible y expandible, la constante repulsión de sus moléculas en movimiento de donde proviene su expansibilidad, lo hace un fluido elástico, carece de forma propia, adopta la forma de acuerdo al deposito que lo contiene, ejerciendo de adentro hacia afuera una presión más o menos fuerte en virtud de una dominada “tensión o fuerza de los gases”.

La denominación “gas” es introducida al léxico en el siglo XVII por el médico y químico holandés Juan Bautista Van Helmont.

Física y químicamente puede tener propiedades activas o agresivas, o bien ser inerte o inocuo. En la naturaleza se encuentran fluidos de este tipo que, combinados con el oxígeno y en condiciones adecuadas, entran en combustión, con producción de calor o luz, de intensidad variable en función de los componentes que los integren; estos fluidos se les denominan “gases combustibles”.

2.14.- Propiedades de los gases.

El sitio web monografías (1997), cita que los gases tienen 3 propiedades características: (1) son fáciles de comprimir, (2) se expanden hasta llenar el

contenedor, y (3) ocupan más espacio que los sólidos o líquidos que los conforman.

2.15.- Ley de los gases ideales.

Sokolovsky (2006), hace referencia sobre la teoría atómica, la cuál menciona que las moléculas pueden tener o no cierta libertad de movimientos en el espacio; estos grados de libertad microscópicos están asociados con el concepto de orden macroscópico. La libertad de movimiento de las moléculas de un sólido está restringida a pequeñas vibraciones; en cambio, las moléculas de un gas se mueven aleatoriamente, y sólo están limitadas por las paredes del recipiente que las contiene.

Se han desarrollado leyes empíricas que relacionan las variables macroscópicas en base a las experiencias en laboratorio realizadas. En los gases ideales, estas variables incluyen la Presión (P), el Volumen (V) y la Temperatura (T).

2.16.- Ley de los gases.

La misma Sokolovsky (2006), cita las siguientes leyes de los gases:

La ley de Boyle – Mariotte.

Relaciona inversamente las proporciones de volumen y presión de un gas, manteniendo la temperatura constante:

$$P_1 * V_1 = P_2 * V_2$$

La ley de Gay - Lussac.

Afirma que el volumen de un gas, a presión constante, es directamente proporcional a la temperatura absoluta:

$$V_1/T_1 = V_2/T_2$$

La ley de Charles.

Sostiene que, a volumen constante, la presión de un gas es directamente proporcional a la temperatura absoluta del sistema:

$$P_1/T_1 = P_2/T_2$$

En ambos casos la temperatura se mide en grados kelvin ($273 \text{ }^\circ\text{k} = 0 \text{ }^\circ\text{c}$), ya que no podemos dividir por cero, no existe resultado.

Ley de Dalton.

El sitio web monografías (1997), cita la ley de Dalton la cual, establece que en una mezcla de gases cada gas ejerce su presión como si los restantes gases no estuvieran presentes. La presión específica de un determinado gas en una mezcla se llama "presión parcial" (p). La presión total de la mezcla se calcula simplemente sumando las presiones parciales de todos los gases que la componen. Por ejemplo, la presión atmosférica es:

Presión atmosférica (760 mm de Hg) = p_{O_2} (160 mm Hg) + p_{N_2} (593 mm Hg) + p_{CO_2} (0.3 mm Hg) + $p_{\text{H}_2\text{O}}$ (alrededor de 8 mm de Hg).

Donde:

p = presión parcial, mm de Hg = milímetros de mercurio, O_2 = oxígeno, N_2 = nitrógeno, CO_2 = dióxido de carbono, H_2O = agua.

Ley de Avogadro.

La misma monografías (1997), cita la ley de Avogadro quien, sugirió que a una temperatura y presión dada, el número de partículas en volúmenes iguales de gases era el mismo, e introdujo también la distinción entre átomos y moléculas. Cuando el oxígeno se combinaba con hidrógeno, un átomo doble de oxígeno (molécula en nuestros términos) se dividía, y luego cada átomo de oxígeno se combinaba con dos átomos de hidrógeno, dando la fórmula molecular de agua (H_2O), de oxígeno (O_2) e hidrógeno (H_2), respectivamente.

2.17.- Ley universal de los gases.

Sokolovsky (2006), menciona que de las tres primeras leyes, citadas anteriormente, se deduce la “ley universal de los gases”:

$$P_1/T_1 = P_2/T_2 \wedge V_1/T_1 = V_2/T_2 \wedge P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 \Rightarrow P_1 \cdot V_1/T_1 = P_2 \cdot V_2/T_2$$

2.18.- Teoría Cinética de los Gases.

La misma Sokolovsky (2006), menciona que el comportamiento de los gases, enunciadas mediante las leyes anteriormente descritas, puede explicarse satisfactoriamente admitiendo la existencia del átomo.

El volumen de un gas, refleja simplemente la distribución de posiciones de las moléculas que lo componen. Más exactamente, la variable macroscópica (V) representa el espacio disponible para el movimiento de una molécula.

La presión de un gas, que puede medirse con manómetros situados en las paredes del recipiente, registra el cambio medio de momento lineal que experimentan las moléculas al chocar contra las paredes y rebotar en ellas.

La temperatura del gas, es proporcional a la energía cinética media de las moléculas, por lo que depende del cuadrado de su velocidad.

2.19.- Concepto de gas ideal y diferencia entre gas ideal y real.

El sitio web monografías (1997), menciona que los gases que se ajusten a estas suposiciones se llaman “gases ideales” y aquellas que no se les llaman “gases reales”, o sea, hidrógeno (H_2), oxígeno (O_2), nitrógeno (N_2) y otros. Por esta razón expone los siguientes parámetros:

“Un gas esta formado por partículas llamadas moléculas”.

Dependiendo del gas, cada molécula esta formada por un átomo o un grupo de átomos. Si el gas es un elemento o un compuesto en su estado estable, consideramos que todas sus moléculas son idénticas.

“Las moléculas se encuentran animadas de movimiento aleatorio y obedecen las leyes de Newton del movimiento”.

Las moléculas se mueven en todas direcciones y a velocidades diferentes. Al calcular las propiedades del movimiento suponemos que la mecánica newtoniana se puede aplicar en el nivel microscópico. Como para todas nuestras suposiciones, esta mantendrá o desechara, dependiendo de sí los hechos experimentales indican o no que nuestras predicciones son correctas.

“El número total de moléculas es grande”.

La dirección y la rapidez del movimiento de cualquiera de las moléculas pueden cambiar bruscamente en los choques con las paredes o con otras moléculas. Cualquiera de las moléculas en particular, seguirá una trayectoria de zigzag, debido a dichos choques. Sin embargo, como hay muchas moléculas, suponemos que el gran número de choques resultante, mantiene una distribución total de las velocidades moleculares con un movimiento promedio aleatorio.

“El volumen de las moléculas es una fracción despreciablemente pequeña del volumen ocupado por el gas”.

Aunque hay muchas moléculas, estas son extremadamente pequeñas. Sabemos que el volumen ocupado por un gas se puede cambiar en un margen muy amplio, con poca dificultad y que, cuando un gas se condensa, el volumen ocupado por el líquido pueden ser miles de veces menor que la del gas cuando se condensa. De aquí que nuestra suposición sea posible.

“No actúan fuerzas apreciables sobre las moléculas, excepto durante los choques”.

En el grado de que esto sea cierto, una molécula se moverá con velocidad uniformemente a los choques. Como hemos supuesto que las moléculas sean tan pequeñas, la distancia media entre ellas es grande en comparación con el tamaño de una de las moléculas. De aquí que supongamos que el alcance de las fuerzas moleculares es comparable al tamaño molecular.

“Los choques son elásticos y de duración despreciable”.

En los choques entre las moléculas con las paredes del recipiente se conserva el ímpetu y (suponemos), la energía cinética. Debido a que el tiempo de

choque es despreciable comparado con el tiempo que transcurre entre el choque de moléculas, la energía cinética que se convierte en energía potencial durante el choque, queda disponible de nuevo como energía cinética, después de un tiempo tan corto, que podemos ignorar este cambio por completo.

2.20.- Definición de biogas.

Una vez expuesto cosas generales del gas, el sitio web Wikipedia (2005), cita una definición de biogas, la cual, se menciona a continuación:

- a) El biogas, 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 bacterias, generando biogas.**

El sitio web Esi.Unav. (2005), menciona otra definición, la cual, lo define de la siguiente manera:

- a) Gas combustible, mezcla de metano con otras moléculas, formado en reacciones de descomposición de la materia orgánica.**

El sitio web ecoportal.net (2006), cita otra definición, la cual, lo define de la siguiente manera:

- a) Gas producido en fermentación de los residuos domiciliarios, en general tiene un alto contenido de metano, es susceptible de ser usado con fines de generación de eléctrica o de uso domiciliario.**

El sitio web textoscientificos (2006), define biogas de la siguiente manera:

- a) Mezcla constituida fundamentalmente por metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), 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.**

La misma fuente, define por segunda vez el término biogas, como sigue:

- b) Mezcla constituida por metano (CH_4), en una proporción que oscila entre un 50 a un 70% y dióxido de carbono (CO_2), conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno (H_2), nitrógeno (N_2) y sulfuro de hidrógeno (SH_2).**

2.21.- Componentes del biogas.

El sitio web wikipedia (2006), menciona que la composición del biogas es variable pero en líneas generales sería:

Cuadro No. 5. Composición del biogas según wikipedia 2006.

Gas	Fórmula	%
Metano	CH_4	45 - 55
Anhídrido carbónico	CO_2	40 - 50
Nitrógeno	N_2	2 - 3
Ácido sulfhídrico	$\text{H}_2 \text{S}$	1.5 - 2

El sitio web producechiapas (2006), cita que el biogas esta formado de metano (CH_4), bióxido de carbono (CO_2) y que puede deducirse su poder calorífico tomando en cuenta de que en su composición incluye de 60 a 70 % de metano

(CH₄) y 30 a 40 % de bióxido de carbono (CO₂), el cual será del orden de 5780 a 6230 kcal / m³. La composición completa del biogas es:

Cuadro No. 6. Gases que componen el biogas resultantes de la fermentación bacteriana .

Gas	Fórmula	%
Metano	CH ₄	60-70
Bióxido de carbono	CO ₂	30-40
Hidrógeno	H ₂	5-10
Nitrógeno	N ₂	4-6
Acido sulfhídrico	H ₂ S	Trazas

Fuente: producechiapas.com (2006).

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

El sitio web rincondelvago (2000), cita la composición del biogas (cuadro 7), en el que podemos apreciar los valores en porcentajes de los distintos gases, pudiendo depender de los factores que en el punto siguiente se describen:

Cuadro No. 7. Mezcla de gases que forman el biogas.

GAS	SÍMBOLO	%
Metano	CH ₄	55 - 80
Dióxido de carbono	CO ₂	45 - 20
Hidrógeno	H ₂	0 - 10
Oxígeno	O ₂	0.1 - 1
Nitrógeno	N ₂	0.5 - 10
Monóxido de carbono	CO	0 - 0.1
Gases diversos	SH ₂ ; NH ₃ ; Cn - H _{2n}	1 - 5
Vapor de agua	H ₂ O	Variable

Fuente: rincondelvago.com (2000).

2.22.- Características de algunos de los componentes del biogas.

Metano.

El sitio web wikipedia (2006), cita que el metano es el hidrocarburo alcano más sencillo, es un gas. Su fórmula química es CH₄.

Cada uno de los átomos de hidrógeno (H₂) está unido al carbono por medio de un enlace covalente. Es una sustancia no polar que se presenta en forma de gas a temperaturas y presiones ordinarias. Es incoloro y apenas soluble en agua

en su fase líquida. En la naturaleza se produce como producto final de la putrefacción anaerobia de las plantas, este proceso natural se puede aprovechar para producir biogas. Puede constituir hasta el 97 % del gas natural. En las minas de carbón se le denomina “grisú” y es muy peligroso por su facilidad para inflamarse.

Fuente de metano.

Los orígenes principales del metano son:

Descomposición de los residuos orgánicos.

Fuentes naturales como pantanos: 23 %.

Extracción de combustibles fósiles: 20 % (el metano tradicionalmente se quemaba y emitía directamente. Hoy en día se intenta almacenar en lo posible para reaprovecharlo formando el llamado “gas natural”).

Los procesos en la digestión y defecación de animales: 17 % (especialmente del ganado).

Las bacterias en plantaciones de arroz: 12 %.

Combustión anaeróbica de la biomasa .

El 60 % de las emisiones en todo el mundo es de origen antropogénico. Vienen principalmente de actividades agrícolas y otras actividades humanas. La concentración de este gas se ha incrementado de 0.8 a 1.7 ppm en los últimos 200 años.

Propiedades del metano.

- Calorías por gramo: 12 Kcal.
- Calorías por gramo de CO₂: 4.5 Kcal.

Bióxido de carbono.

El mismo wikipedia (2006), cita el dióxido de carbono, también denominado “bióxido de carbono”, “óxido de carbono (IV)” y “anhídrido carbónico”, como es un gas cuyas moléculas están compuestas por dos átomos de oxígeno y uno de carbono. Su fórmula química es CO₂.

Muchos seres vivos al respirar toman oxígeno de la atmósfera y devuelven dióxido de carbono. Es una molécula lineal y apolar.

El dióxido de carbono es uno de los gases de efecto invernadero que contribuye a que la Tierra tenga una temperatura habitable, siempre y cuando se mantenga en unas cantidades determinadas. Sin dióxido de carbono, la Tierra sería un bloque de hielo. Por otro lado, un exceso impide la salida de calor al espacio y provoca un calentamiento excesivo del planeta, fenómeno conocido como “efecto invernadero”.

En los últimos años la cantidad de dióxido de carbono ha aumentado mucho y eso contribuye al calentamiento global del planeta.

Propiedades del dióxido de carbono.

Propiedades físicas.

Tiene algunas características peculiares, pues carece de fase líquida a la presión atmosférica normal; el sólido sublima directamente a la fase gaseosa.

Para obtener la fase líquida a la temperatura ambiente es necesario aplicar una presión de 6.7 megapascal (MPa), (67 veces la presión atmosférica normal).

Propiedades químicas.

Agricultura. Por su papel en el crecimiento de las plantas, a veces se utiliza como abono. Es más común en acuarios.

Ingeniería. Se utiliza como agente extintor eliminando el oxígeno para el fuego. También en refrigeración como una clase líquido refrigerante en máquinas frigoríficas o congelado como hielo seco.

Otro uso que está incrementándose es su empleo como agente extractante cuando se encuentra en condiciones supercríticas dada su escasa o nula presencia de residuos en los extractos.

Acido sulfhídrico.

El mismo wikipedia (2006), menciona que el ácido sulfhídrico (H_2S (aq)) es un ácido inorgánico, formado por la disolución y disociación en agua del sulfuro de hidrógeno (un gas que huele a huevos putrefactos). Es decir que se le llama ácido sulfhídrico cuando se halla disuelto en agua. Con bases fuertes forma sales, los sulfuros. En estado gaseoso se le conoce con el nombre de sulfuro de hidrógeno. Su punto de ebullición es de 212.86 °k.

General.

El ácido sulfhídrico ocurre naturalmente en el petróleo crudo, gas natural, gases volcánicos y manantiales de aguas termales. También puede ocurrir como resultado de la degradación bacteriana de materia orgánica en condiciones anaeróbica. Se genera a partir de algunos aminoácidos o por la reducción de sulfato presente por los microorganismos sulfatoreductores. Es, además, producto de los desperdicios de animales y humanos. Las bacterias que se encuentran en su boca y el tracto gastrointestinal producen ácido sulfhídrico al degradar materiales que contienen proteínas de origen animal o vegetal.

El ácido sulfhídrico (H_2S) es un gas inflamable, incoloro con un olor característico a huevos podridos. Se le conoce comúnmente como “ácido

hidrosulfúrico” o “gas de alcantarilla”. La gente puede detectar su olor a niveles muy bajos. Es uno de los principales compuestos causantes de las molestias por malos olores.

Toxicidad.

La toxicidad del ácido sulfhídrico es parecida a la del ácido cianhídrico. La causa por la cual a pesar de la presencia más masificada de este compuesto hay relativamente pocos muertos causados por el mal olor con que va acompañado. Sin embargo, a partir de los 50 ppm tiene un efecto narcotizante sobre las células receptoras del olfato y las personas afectadas ya no perciben el hedor. A partir de los 100 ppm se puede producir la muerte. Como la densidad del sulfhídrico es mayor que la del aire se suele acumular en lugares bajos como pozos, etc. donde puede causar víctimas. A menudo se producen varios afectados. Una primera víctima se cae inconsciente y luego son afectados también todos los demás que van en su rescate sin el equipo de protección necesario. El sulfhídrico parece actuar sobre todo en los centros metálicos de las enzimas, bloqueándolas e impidiendo de esta manera su funcionamiento.

Nitrógeno.

Continuando con el mismo wikipedia (2006), menciona que es un elemento químico de número atómico 7, con símbolo N, también llamado “ázoe”. Antiguamente se usó también (Az), como símbolo del nitrógeno y en condiciones normales, forma un gas diatómico que constituye el 78 % del aire atmosférico.

Características principales.

Es un gas inerte, ausencia de metal, incoloro, inodoro e insípido que constituye aproximadamente las cuatro quintas partes del aire atmosférico, si bien

no interviene en la combustión ni en la respiración. Tiene una elevada electronegatividad (3 en la escala de Pauling) y 5 electrones en el nivel más externo comportándose como trivalente en la mayoría de los compuestos que forma. Se condensa a 77 °k y se solidifica a 63 °k empleándose comúnmente en aplicaciones criogénicas.

El sitio web salonhogar (2006), cita que la lluvia ácida actualmente es objeto de una gran controversia, debido a los extensos daños medioambientales que se le han atribuido. Se forma cuando los óxidos de azufre y nitrógeno se combinan con la humedad atmosférica para formar ácidos sulfúricos y nítricos, que pueden ser arrastrados a grandes distancias de su lugar de origen antes de depositarse en forma de lluvia.

2.23.- Contaminación ambiental que generan el metano y dióxido de carbono.

Metano.

El sitio web wikipedia (2006), cita que el metano (CH₄), es perjudicial por su gran contribución al efecto invernadero. Tiene una capacidad de retención de calor 300 veces superior a la del dióxido de carbono (CO₂).

Fuentes:

- Fermentación.
- Gas de digestión en los animales (rumiantes, sobre todo).
- Cultivo de arroz.

Dióxido de carbono.

El mismo wikipedia (2006), menciona que el dióxido de carbono no es tóxico en sí, y de hecho favorece el crecimiento de las plantas, los ecologistas han puesto en evidencia en los años 1990 que el exceso de dióxido de carbono es una forma más de contaminación ambiental, ya que es el principal responsable del proceso de calentamiento global. Por ello, el “Protocolo de Kyoto”, en 1999 estableció un calendario de reducción de las emisiones de este gas.

2.24.- Características del biogas.

El sitio web producechiapas (2006), cita 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 sitio web rincondelvago (2000), cita un segundo panorama a cerca de las características físicas del biogas: Menciona que teniendo en cuenta todas las mezclas de los gases, el biogas puede presentar las siguientes características físicas:

Grado de inflamación: 6 - 12 % de volumen de aire.

Temperatura de inflamación: 600 °c.

Presión crítica: 82 bar.

Temperatura crítica: - 82.5 °c.

Densidad: 1.2 kg / m³.

Poder calorífico del metano (CH₄), 90 %: 7600 kcal / m³.

2.25.- Estudios que se han realizado sobre el biogas.

Rodríguez et al. (1997), citan los trabajos realizados por Mandujano (1979), Cowley y Wase (1981) y Mandujano y Martínez (1981), en los cuales estos autores 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.

El sitio web consumer (2005), cita que un equipo de científicos de la Universidad de Cantabria, presentaba recientemente un nuevo proceso de tratamiento y gestión de los residuos del ganado vacuno lechero que reduce la contaminación y aprovecha los nutrientes del estiércol, al tiempo que permite obtener energía renovable a través del biogas generado. Estos investigadores ya han iniciado contactos con el sector ganadero y con las consejerías de Medio Ambiente y de Ganadería, Agricultura y Pesca del gobierno de Cantabria para estudiar como llevar este proyecto a la práctica. Estos expertos aseguran que si se sigue apostando por las energías renovables, la mejora de las tecnologías y el incremento de este tipo de plantas para obtener biogas y su posterior utilización es cuestión de tiempo.

La misma fuente, menciona que en Japón, presentaban el año pasado un sistema que consigue fermentar también el hidrógeno, además del metano, separadamente, lo que amplían los residuos a utilizar para la obtención de biogas, como los desechos de las cocinas, por ejemplo.

2.26.- Factores que afectan la producción de biogas.

El sitio web monografías (2005), establece que el proceso de producción de biogas depende de varios parámetros que afectan la actividad bacteriana:

Temperatura.

Tiempo de retención.

Relación Carbono / Nitrógeno.

Porcentaje de sólidos.

Factor potencial hidrógeno (pH).

El sitio web textoscientificos (2006), menciona que la actividad metabólica involucrada en el proceso metanogénico, se ve afectada por diversos factores los cuales, ya han sido mencionados por el sitio web monografías (2005) y agrega otros tres factores que pueden afectar la producción de biogas. 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.

Entre los factores más importantes a tenerse en cuenta tenemos los siguientes:

Tipo de sustrato (nutrientes disponibles).

Temperatura del sustrato; la carga volumétrica.

Tiempo de retención hidráulico.

Nivel de acidez (pH).

Relación Carbono / Nitrógeno.

Concentración del sustrato; el agregado de inoculantes.

Grado de mezclado.

Presencia de compuestos inhibidores del proceso.

2.27.- Descripción de cada uno de los factores.

El mismo textoscientificos (2006), describe cada uno de los factores de la siguiente manera:

Tipo de materia prima.

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, así 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 referente 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 participantes 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. Cuando se inicie un proyecto específico se recomienda realizar una serie de mediciones en el lugar donde se emplazará el digestor.

A modo ilustrativo se presenta a continuación, el cuadro 8, que muestra 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.

Cuadro No. 8. Tipos de estiércol y producción de biogas de cada uno de ellos.

Especie	Peso vivo (kg)	Estiércol / día (kg)	Biogas / kg (Lts)	Metano (%)
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	0.06	310 - 620	60
Caprinos	40	1.5	110 - 290	Trazas

Fuente: textoscientificos.com (2006).

Temperatura del sustrato.

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. Se realiza generalmente una diferenciación en tres rangos de temperatura de acuerdo al tipo de bacterias que predominan en cada una de ellas.

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 el proceso, la temperatura deberá ser lograda y mantenida mediante energía exterior. El cuidado en el mantenimiento también debe extremarse a medida que aumentamos la temperatura, dada la mayor sensibilidad que presentan las bacterias termofílicas a las pequeñas variaciones térmicas. Los digestores que

trabajan a temperaturas mesofílicas 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). 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. En el cuadro 9, se describe el rango de temperaturas de cada tipo de bacterias.

Cuadro No. 9. Tipos de bacterias y la sensibilidad que presentan en relación con la temperatura.

BACTERIAS	RANGO DE TEMPERATURAS (°c)	SENSIBILIDAD (°c / hora)
Psicrofílicas	menos de 20	± 2
Mesofílicas	entre 20 y 40	± 1
Termofílicas	más de 40	± 0.5

Fuente: textoscientificos.com (2006).

De acuerdo con Mejía (2005), citado en el sitio web monografía, menciona que en la temperatura mesofílica que opera entre los 17 – 40 °c (60 – 104 °F), la temperatura ideal es la de los 35 – 37 °c (95 – 99 °F). A esta temperatura la fermentación es rápida y efectiva desde el punto de vista de velocidad de degradación de la materia orgánica.

Velocidad de carga volumétrica.

El sitio web textoscientificos (2006), cita 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.

Existen diferentes formas de expresar este parámetro siendo los más usuales los siguientes: kilogramo de material / día; kilogramo de materia seca / día; kilogramo de sólidos volátiles / día, todos expresados por metro cúbico de digestor.

Las cantidades de sólidos y sólidos volátiles se extraen afectando a las cantidades en kilogramos 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:

$$1 - [(\text{peso seco} - \text{peso ceniza}) / \text{peso seco}]$$

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 hidráulica.

Este parámetro sólo puede ser claramente definido en los “sistemas discontinuos o batch”, donde el tiempo de retención 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 diferencias en las variables entre los tiempos de retención de líquidos y sólidos debido a lo cual, suelen determinarse ambos valores.

El tiempo de retención 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 tiempo de retención, pues 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. El límite mínimo de los tiempos de retención 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 permanecen 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 tiempos de retención menores (filtro anaeróbico y U. A. S. B., respectivamente).

A modo de ejemplo se dan en el cuadro 10, valores indicativos de tiempos de retención usualmente más utilizados en la digestión de estiércoles a temperatura mesofílica.

Cuadro No. 10. Tipos de estiércoles y su período de retención.

MATERIA PRIMA	Tiempo de Retención Hidráulica (T. R. H.).
Estiércol vacuno líquido	20 - 30 días
Estiércol porcino líquido	15 - 25 días
Estiércol aviar líquido	20 - 40 días

Fuente: textoscientificos.com (2006).

Valor de acidez (pH).

Una vez estabilizado el proceso fermentativo, el pH se mantiene en valores que oscilan entre 7 y 8.5. Debido a los efectos buffer que producen los compuestos dióxido de carbono - bicarbonatos ($\text{CO}_2 - \text{HCO}_3$) y Amonio - Amoníaco ($\text{NH}_4 - \text{NH}_3$), el proceso en sí mismo tiene capacidad de regular diferencias en el pH del material de entrada. 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.

De acuerdo con Mejía (2005), citado en el sitio web monografía, menciona que el valor óptimo del potencial hidrógeno es de 6.6 - 7.6.

Monroy y Viniegra (1981), citados en Biotecnología para el Aprovechamiento de los Desperdicios Orgánicos, mencionan que la fermentación butírica se acompaña de la formación 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 potencial hidrógeno (pH), lo cual hace difícil la reoxidación de NADH (o NADPH), por lo cual, la célula canaliza el acetato hacia un producto más reducido, con propiedades de pH, menos ácidos, como el ácido butírico.

Contenido de sólidos.

Sólidos totales.

El sitio web peruecologico (2006), la define como un grupo de partículas que incluye a los sólidos disueltos, suspendidos y sedimentables en agua.

Sólidos totales disueltos.

El sitio web members.tripod (2006), cita que es la concentración total de los iones disueltos, expresada en unidades de conductividad ($\mu\text{S} / \text{cm}$) o en partes por millón (ppm), de cloruro de sodio (NaCl) o de sulfato disódico (Na_2SO_4).

El sitio web peruecologico (2006), la define como una medida de la concentración total de sales inorgánicas en el agua e indica salinidad. Para

muchos fines, la concentración de sólidos totales disueltos constituye una limitación importante en el uso del agua.

Sólidos totales en suspensión.

El mismo peruecologico (2006), cita que es una cantidad de partículas flotantes o suspendidas en la columna de agua que puede ser separado del líquido por medio de métodos físicos como la filtración.

Dado que la salinidad esta relacionada con sólidos totales disueltos es necesario definirla:

Salinidad.

El mismo peruecologico (2006), la define como una expresión porcentual o en peso por unidad de volumen de sales y, en general, los sólidos disueltos en el agua. Suele medirse en partes por mil (pm).

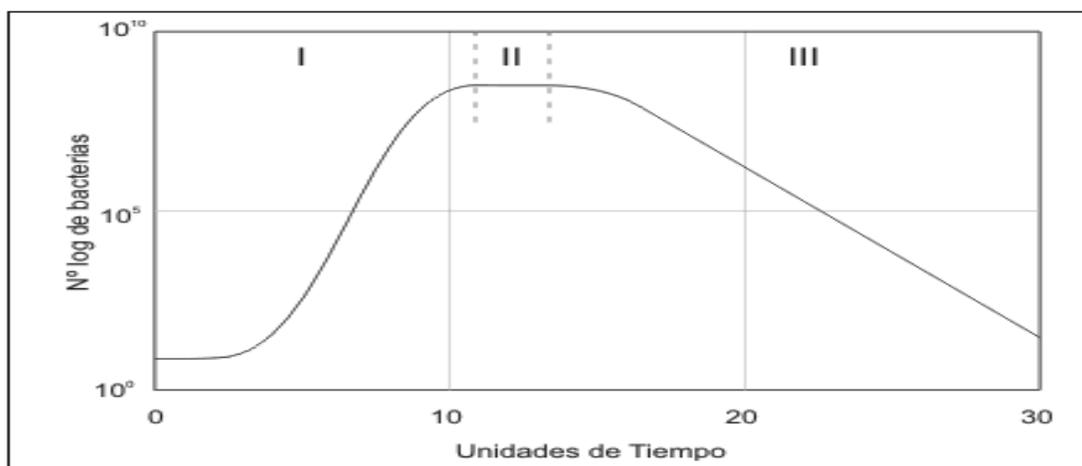
El sitio web monografías (2005), cita que la movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y producción de biogas. Por otro lado podemos encontrar en la literatura 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 12 %.

Inclusión de inoculantes.

El sitio web textoscientificos (2006), menciona que el crecimiento bacteriano dentro de los digestores sigue desde su arranque la curva típica graficada en la figura 9.

Figura No. 9. Curva sobre las tres etapas de la inoculación.



En la figura citada anteriormente, 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 kilogramo de estiércol.

Los dos factores a tener en cuenta en la inoculación de un digestor son 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 y mezclado.

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 cual 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 biogas.

Como conclusión en la elección de un determinado sistema se tendrá siempre presente tanto los objetivos buscados como el perjuicio 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 con hélice, recirculadores de sustrato e inyectores de gas.

Inhibidores.

La presencia de metales pesados, antibióticos y detergentes en determinadas concentraciones pueden inhibir e incluso interrumpir el proceso fermentativo.

Cuando es demasiado la alta concentración de ácidos volátiles (más de 2,000 ppm para la fermentación mesofílica y de 3,600 ppm para la termofílica), se inhibirá la digestión. También una elevada concentración de nitrógeno y amoníaco destruyen las bacterias metanogénicas.

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

Cuadro No. 11. Sustancias toxicas para las bacterias (hidrolíticas, acidogénicas, acetogénicas y metanogénicas).

INHIBIDORES	CONCENTRACION INHIBIDORA
SO₄ (sulfato)	5,000 ppm
NaCl (cloruro de sodio)	40,000 ppm
Nitrato (según contenido de nitrógeno)	0.05 mg / ml
Cu (cobre)	100 mg / lt
Cr (cromo)	200 mg / lt
Ni (níquel)	200 - 500 mg / lt
CN (cianuro), (Después que se han domesticado las bacterias metanogénicas a 2 - 10 mg / ml)	25 mg / lt
ABS (Detergente sintético)	20 - 40 mg / lt
Na (sodio)	3,500 – 5,500 mg / lt
K (potasio)	2,500 – 4,500 mg / lt
Ca (calcio)	2,500 – 4,500 mg / lt
Mg (magnesio)	1,000 – 1,500 mg / lt

Fuente: textoscientificos.com (2006).

2.28.- Biogas en rellenos sanitarios.

El sitio web anes (2006), menciona que el biogas también se puede producir en rellenos sanitarios que contienen gran proporción de desechos orgánicos húmedos y, en donde existen las condiciones adecuadas para que proliferen las bacterias anaeróbicas que al digerir ese material orgánico, producen metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) en el interior del relleno. En un relleno sanitario de la ciudad de México con 5.6 millones de toneladas de residuos sólidos, se produce suficiente biogas para alimentar una planta de 5 megawatts (mw) de capacidad para operar durante 10 años.

2.29.- Control de biogas.

El sitio web fortunecity.es (2006), cita que en los rellenos sanitarios de área, se utilizan varios niveles de celdas para dar disposición a los residuos, por lo que es probable que se tenga una producción continua de biogas después de algunos años, cuando se alcancen unos tres niveles de celdas. Por esta razón resulta conveniente instalar chimeneas de drenaje, distante 20 a 25 metros entre sí, en realidad esta última distancia debe ser obtenida a través de estudios en el terreno, lo que permite determinar lo que se denomina “radio de influencia” (distancia desde el centro de la chimenea que es influenciada por el drenaje).

Cuando los rellenos sanitarios son construidos en depresiones, ya sean naturales o artificiales, resulta conveniente hacer un drenaje perimetral con el fin de evitar la migración lateral; este puede ser continuo o constituido por chimeneas colocadas a menores distancias que las ubicadas al interior del relleno. El gas de

los drenes puede ser quemado en el mismo relleno o ser extraído para almacenarlo en gasómetros y luego enviarlo al consumo domiciliario o industrial.

2.30.- Consumo de biogas en litros por hora y kilocalorías por hora considerando un poder calorífico de 6000 kilocalorías por metro cúbico.

El sitio web producechiapas (2006), cita los siguientes valores para el consumo del biogas.

Cuadro No. 12. Aparatos electrónicos que consumen biogas.

uso	lts / hra	kcal / hra
Lámpara de capucho	100	600
Quemador para estufa	320	1920
Quemador para horno	420	2520
Estufa con 4 quemadores y 1 horno	2668	16008
Soplete de gas para plomero	250	1500
Motor de combustión interna	500	3000 (4.68 Hp)

Fuente: producechiapas.com (2006).

Hp = caballos de potencia.

2.31.- Usos del biogas en la electricidad.

El sitio web groups (2006), cita que el biogás no solo genera gas metano o abonos orgánicos, sino que también se puede usar para generar energía

eléctrica. El valor calorífico del biogas es cerca de 6 kilowattshora por metro cúbico (kwh / m^3).

2.32.- Usos del biogas.

El sitio web textoscintificos (2006), menciona que el biogas puede ser utilizado en cualquier equipo comercial diseñado para uso con gas natural. La figura 10, resume las posibles aplicaciones o usos.

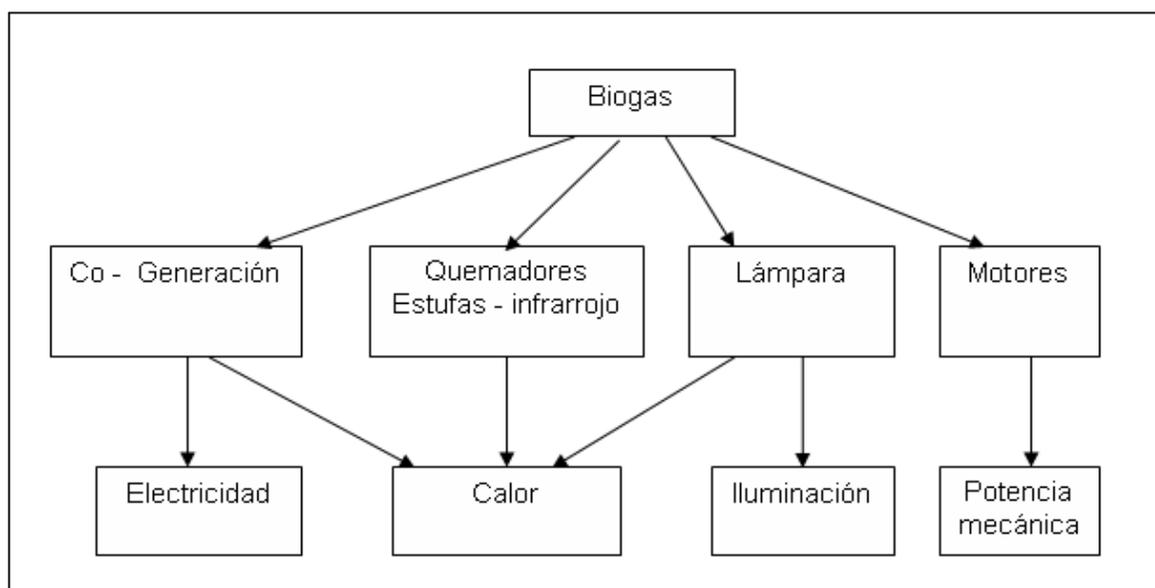


Figura No. 10. Diferentes aplicaciones del biogas.

2.33.- Aplicaciones del biogas.

El mismo textoscintificos (2006), cita en el cuadro 13, se han listado los principales artefactos que utilizan biogas juntamente a su consumo medio y su eficiencia.

Cuadro No. 13. Diferentes artefactos que utilizan biogas.

ARTEFACTO	CONSUMO	RENDIMIENTO (%)
Quemador de cocina	300 - 600 lts / hra	50 - 60
Lámpara a mantilla (60 W)	120 - 170 lts / hra	30 - 50
Heladera de 100 lts	30 - 75 lts / hra	20 - 30
Motor de gas	0.5 m ³ / kwh o Hph	25 - 30
Quemador de 10 kw	2 m ³ / hra	80 - 90
Infrarrojo de 200 W	30 lts / hra	95 - 99
Co - generador	1 kwelect. 0.5 m ³ / kwh 2 kw térmica	hasta 90

Fuente: 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 de gas tienen una muy baja eficiencia y el ambiente donde se utilicen debe estar adecuadamente ventilado para disipar el calor que generan.

Las heladeras domésticas constituyen un interesante campo de aplicación directo del biogas 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.

2.34.- El Biogas en los Motores de Combustión Interna.

El biogas puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto de 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 biogas, con una merma de la potencia máxima del 20 al 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 biogas - 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 ácido sulfhídrico (H_2S) en el biogas, 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 de biogas 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. El uso vehicular del biogas 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.

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

Estos problemas están tomando relativa importancia debido a lo avanzado en la difusión de la tecnología del GNC.

2.35.- Beneficios del biogas.

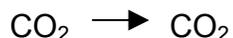
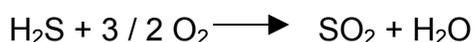
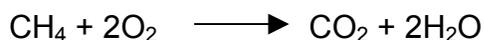
El sitio web oni.escuelas.edu.ar (2002), hace referencia de algunos beneficios más significantes sobre la utilización del biogas, el cual se menciona a continuación:

1. Producción de energía: calor, luz, electricidad.
2. Transforma los desechos orgánicos en fertilizantes de alta calidad.
3. Mejora las condiciones higiénicas por la reducción de patógenos, huevos de moscas, etc.
4. Reduce la cantidad de trabajo con respecto a la recolección de leña.
5. Favorece la protección del suelo, agua, aire y vegetación, obteniendo menor deforestación.
6. Beneficios micro - económicos a causa de la sustitución de energía y fertilizantes, del aumento de los ingresos y aumento de la producción agrícola - ganadera.

7. Beneficios macro - económicos, a través de la generación descentralizada de energía, reducción de los costos de importación y protección ambiental.

2.36.- Principios de combustion (flama).

El sitio web textoscientificos (2006), menciona que el biogas mezclado con aire puede ser quemado en un amplio espectro de artefactos, descomponiéndose principalmente en dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O). La combustión completa sin el exceso de aire y con oxígeno puro, puede ser representada por las siguientes ecuaciones químicas:



El requerimiento de aire mínimo sería del 21 % pero esta cifra debe ser aumentada para lograr una buena combustión.

La relación aire - gas puede ser ajustada aumentando la presión del aire, incrementando la apertura de la válvula dosificadora de gas (el biogás requiere de una apertura 2 a 3 veces mayor a la utilizada por el metano puro y modificando la geometría del paso de aire desde el exterior).

Debido al contenido de dióxido de carbono, el biogas tiene una velocidad de propagación de la flama lenta (43 cm / seg), y por lo tanto la llama tiende a escaparse de los quemadores. La presión para un correcto uso del gas oscila entre los 7 y los 20 megabárometros (mbar). Se debe tener especial cuidado en

este aspecto debido a que se deberán calcular las pérdidas de presión de salida del gasómetro (adicionándole contrapesos en el caso de gasómetros flotantes).



Figura No. 11. Flama del metano cuya coloración azul indica buena calidad del poder calorífico.

2.37.- Purificación del gas metano.

El sitio web *producechiapas* (2006), cita que para obtener una mejor eficiencia en el poder calorífico del biodigestor es necesario purificar el gas metano a través de unas fibras metálicas que nos permitira eliminar un porcentaje considerable de bióxido de carbono y acido sulfhídrico y con ello aumentaremos el poder calorífico de combustion.

2.38.- Seguridad.

El mismo *producechiapas* (2006), menciona que la densidad y la composición del biogas son también factores importantes en la seguridad, pues tomando en cuenta que la densidad del aire es de 1.293 gr / lt, la del metano

0.27 gr / lt y la del bióxido de carbono es de 1.98 gr / lt, y considerando una composición entre 30 y 40 % de bióxido de carbono (CO_2), la densidad del biogas llega a 1.09 gr / lt lo que lo hace más ligero que el aire y puede diluirse fácilmente perdiendo peligrosidad. Si la proporción de dióxido de carbono rebasa un 45.7 %, el biogás se vuelve más denso que el aire subiendo su límite de peligrosidad por varios factores.

El biogas puede ser asfixiante cuando causa que el oxígeno del aire baje al 17.3; y al 13 % es positivamente sofocante.

Si en la composición del biogas se tiene CO_2 en proporción de 0.1 %, es fatal en 4 horas y si la proporción de ácido sulfhídrico (H_2S), es de 0.6 %, es fatal en menos de media hora, por todas estas razones hay que tener precauciones similares a las que se tiene con el gas domestico butano - propano.

III.- MATERIALES Y METODOS.

3.1.- Localización del experimento.

El presente trabajo se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, ubicada en la ex – hacienda de Buenavista, al sur de la ciudad de Saltillo, a 10 kilómetros por la carretera a Zacatecas, entre los paralelos $25^{\circ} 22'$ y $25^{\circ} 21'$ de latitud norte y los meridianos $101^{\circ} 01'$ y $101^{\circ} 03'$ de longitud Oeste; con una altura de 1754 m. s. n. m.

El experimento se estableció en el interior de la Sección de Agrotecnia.

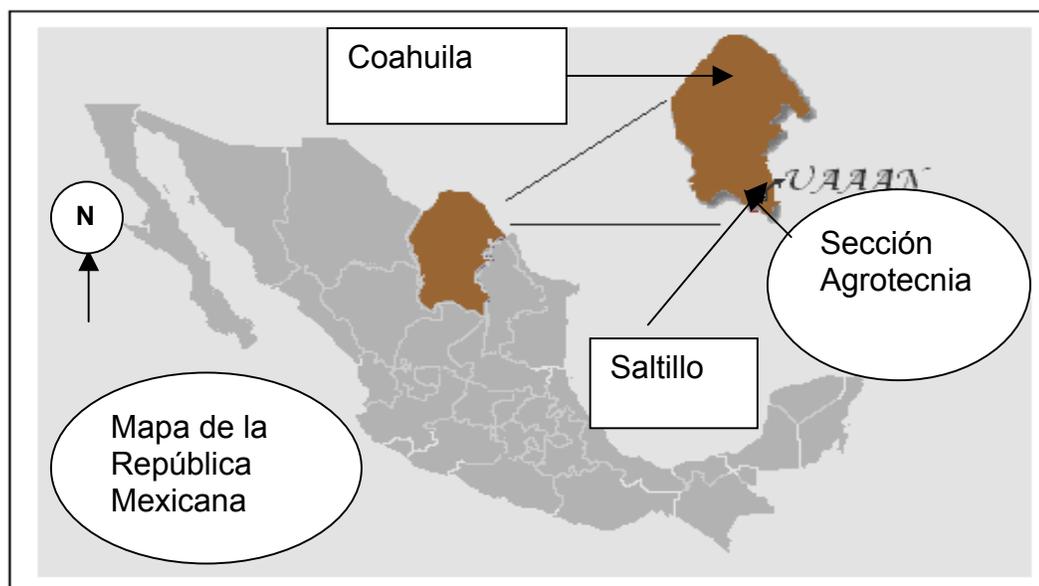


Figura No. 12. Mapa de la localización del Sitio Experimental.

3.2.- Descripción del Sitio Experimental.

Clima.

El clima es seco y templado con lluvias en verano, principalmente. La temperatura media anual es de 17.8°C , con una oscilación media anual de 10.4°C , los meses más cálidos, son junio, julio y agosto con temperatura máxima de hasta 37°C .

Durante diciembre y enero, se registran las temperaturas mas bajas de hasta -10.4 °c, con heladas regulares en el período de diciembre a febrero. La precipitación media anual es de 490 mm. Los meses mas lluviosos son julio, agosto y septiembre; las lluvias en invierno, son moderadas. Lo anterior da como resultado una humedad relativa de 64.8 %, media anual que se distribuye desigualmente. El verano es la estación de mayor humedad relativa, el invierno y primavera de mayor sequía.

3.3.- Condiciones climáticas en el interior de la Sección de Agrotecnia.

El experimento se realizó en el interior de la Sección de Agrotecnia, donde se tomaron temperaturas en su interior, a lo que se le llamó “temperatura ambiente”.

3.4.- Materiales utilizados.

Material de campo.

- Cubetas de plástico con capacidad de 20 lts.
- Tubería de PVC de $\frac{1}{2}$ pulgada.
- Conectores diversos de PVC de $\frac{1}{2}$ pulgada.
- Llaves para gas de $\frac{1}{2}$ pulgada.
- Tubo de cobre de $\frac{1}{2}$ pulgada.
- Manguera para nivel de $\frac{1}{2}$ pulgada.

- Bolsas de plástico negro (de fabricación propia), de 82 centímetros de altura y 10 centímetros de ancho.
- Cinta métrica de 3 mts.

Material biológico.

- Estiércol seco de ganado bovino. (El estiércol, se recogió en el establo ganadero, localizado dentro de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”).
- Agua potable y sin cloro.
- Agua destilada.

Material de laboratorio.

- Balanza analítica 200 grs de capacidad marca Ohaus.
- Frascos con capacidad de 250 ml.
- Potenciómetro para la toma de pH, marca Orión.



Figura No. 13. Aparato electrónico para medir el potencial hidrógeno.

- Termómetro bimetalico graduado de 0 – 220 °Fahrenheit.

El termómetro que se usó esta constituido por una barra de aluminio y fierro que en la parte terminal inferior tiene una punta de cobre con un diámetro interno muy pequeño (barra de aluminio y punta de cobre) soldado en la parte superior a una rueda circular constituido por vidrio.

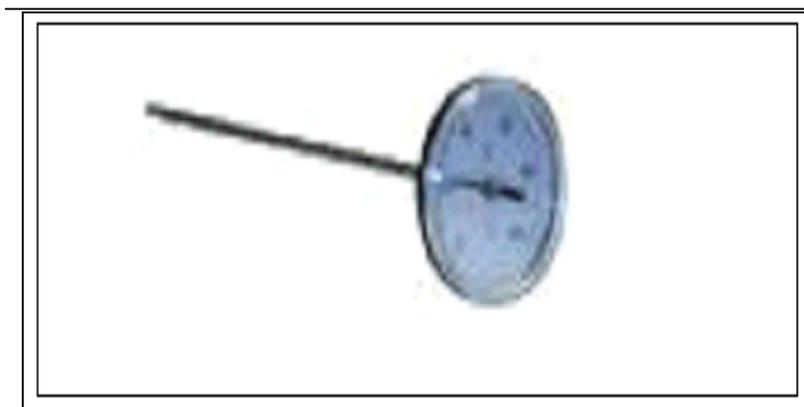


Figura No. 14. Termómetro de boullucos graduado en °F.

- Matraz con capacidad de 4000 ml.
- Analizador de CO₂ / H₂O Li – Cor.

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.

- Vasos deprecitados (500 ml).
- Matraces de 1 lt.
- Sellador térmico de bolsas de plástico.

3.5.- Biodigestor.

A continuación se presenta un esquema que muestra las partes que integra al biodigestor.

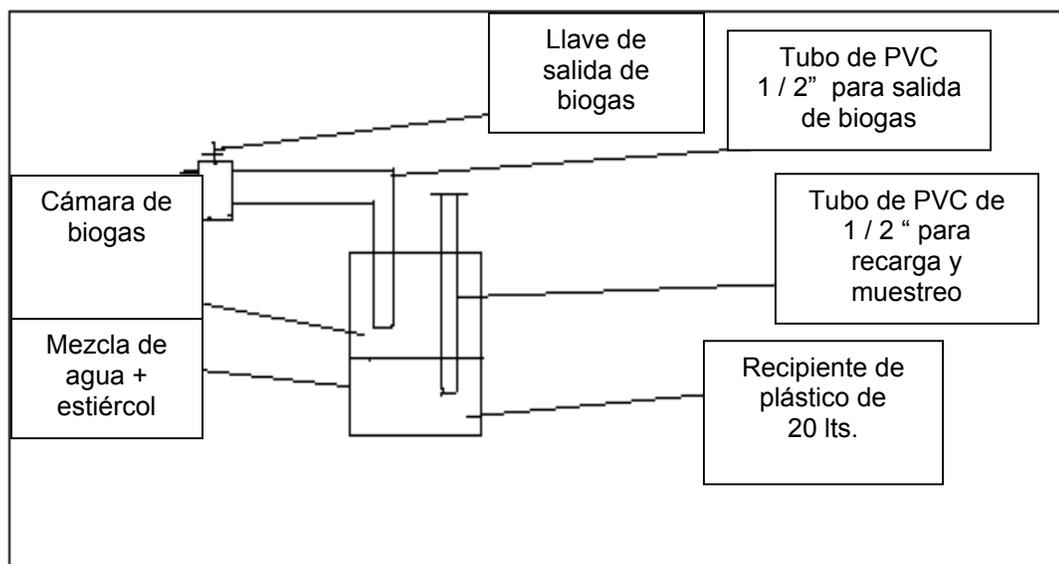


Figura No. 15. Esquema del biodigestor utilizado en la investigación.

3.6.- Metodología.

Establecimiento del experimento.

El experimento se realizó en dos fases: Fase I y Fase II. El propósito de la fase I fue familiarizarnos con los biodigestores y evaluar el funcionamiento de los mismos, de manera de corregir fallas en diseños y conexiones. La fase II correspondió al desarrollo formal del experimento.

Primera fase de la investigación.

Diseño Experimental.

La fase I se estableció en un diseño experimental de bloques al azar con dos repeticiones. El modelo estadístico fué el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

donde:

Y_{ij} = efecto del i - esimo tratamiento en la j - esima repetición.

μ = efecto de la media general.

β_j = efecto de bloques o repeticiones.

τ_i = efecto de tratamientos.

ε_{ij} = efecto del error experimental.

i = Tratamientos 1, 2, 3.

j = Repeticiones 1, 2.

Descripción de los tratamientos.

El experimento en su fase I, se integró con tres tratamientos y dos repeticiones, agregándole 8 litros de agua cada uno y 3 porcentajes de estiércol (cuadro 14).

Cuadro No. 14. Descripción de los tratamientos en la fase I de la investigación sobre producción de biogas. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.

TRATAMIENTOS Y REPETICIONES	AGUA (Lts)	DOSIS DE ESTIERCOL (% base volumen)
T ₁ R ₁	8	4
T ₂ R ₁	8	7
T ₃ R ₁	8	10
T ₁ R ₂	8	4
T ₂ R ₂	8	7
T ₃ R ₂	8	10

Como se estableció el experimento.

Para armar los biodigestores se cortaron tubos de PVC de media pulgada, con longitudes diferentes, pues un tubo sirvió para recargar o agregar el estiércol y el otro tubo sirvió para la salida del biogas, estos tubos se insertaron en los agujeros que se realizaron en cada tapa. Una vez insertados los tubos, se sellaron de manera hermética con silicón, de tal forma que el interior de cada biodigestor se aislara del oxígeno del aire, tal como se muestra en la figura 16.



Figura No. 16. Construcción de los biodigestores para retener bacterias anaeróbicas.

Una vez diseñados y construidos los biodigestores, se recogió estiércol seco del establo, y se cribó, para después agregarse al biodigestor a través del tubo de recarga.

Cabe mencionar que antes de agregar el estiércol en el interior de los biodigestores, se ordenaron los biodigestores de acuerdo con sus respectivos tratamientos. Posteriormente se realizaron algunos cálculos de la siguiente manera:

$$\begin{array}{l} 8000 \text{ ml} \text{-----} 100 \% \\ X \text{-----} 4 \% \\ X = 320 \text{ ml} \end{array}$$

De esta manera se midió en un vaso de precipitado 320 ml de estiércol mezclándolo en 8 lts de agua destilada.

Los biodigestores se instalaron en un recipiente base, al cual se le agregó agua a un nivel suficiente para cubrir una altura equivalente al 60 % del biodigestor, con el fin de transmitir calor a los biodigestores y de esta forma, estabilizar la temperatura del biodigestor. Los tratamientos se colocaron al azar, tal como se muestra en la figura 17.



Figura No. 17. Colocación de cada uno de los biodigestores.

Ahora bien, los tratamientos se colocaron al azar, pero ¿cómo darle calor a estos biodigestores? Para ello se utilizó tres calentadores eléctricos y de esta manera calentar el agua en “baño maría” para transmitirle calor a cada biodigestor (figura18).



Figura No. 18. Calentador eléctrico para calentar el agua en “baño maría”.

Duración del experimento.

Este inició el 10 y finalizó el 25 de agosto del 2005.

Parámetros evaluados en la fase I.

Para determinar los cambios en la materia orgánica en el interior del biodigestor, se hicieron lecturas de las siguientes variables:

Temperatura.

Se midió una vez al día (9:00 a.m.) en los siguientes lugares:

- Temperatura del agua del recipiente base en tres puntos.
- Temperatura de cada biodigestor.
- Temperatura ambiente.

Cabe mencionar que al realizar la medición de la temperatura el termómetro no tocó el fondo del recipiente base que contiene el agua, ni la de los biodigestores.

pH.

Se midió con un potenciómetro, cada 3 días.

Sólidos disueltos y sólidos totales.

Se realizó los análisis al inicio y al final de esta etapa. La unidad de medida es en miligramos por litro (mgr / lt).

Tiempo de retención.

Se determinó en días.

Relación Carbono / Nitrógeno.

Se ajustó a una relación de 25:1. Es la que le corresponde para el estiércol de ganado bovino.

Segunda fase de la investigación.

Diseño del experimento.

La fase II, que fué la más importante de la investigación, se estableció en un diseño bloques al azar con arreglo factorial 2 x 2 (A x B) con 4 tratamientos y 3 repeticiones.

El modelo estadístico fué el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + (T\beta)_{ij} + R_k + \epsilon_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} = Efecto del i - esimo tratamiento en la k - esima repetición.

μ = Efecto de la media general.

T_i = Efecto del factor A.

β_j = Efecto del factor B.

$(T\beta)$ = Efecto de la interacción A x B.

R_k = Efecto de repeticiones o bloques.

ϵ_{ijk} = Efecto del error experimental.

Donde:

i = Tratamiento 1, 2, 3, 4.

j = Repeticiones 1, 2, 3.

k = Bloques 1, 2.

Descripción de los tratamientos.

Los niveles del factor A fueron:

A_1 = Sin control de pH.

A_2 = Con control de pH.

Los niveles del factor B fueron:

B_1 = 5 % de materia de orgánica.

B_2 = 10 % de materia orgánica.

La distribución de los tratamientos se describen en el siguiente cuadro:

Cuadro No. 15. Descripción de los tratamientos en la fase II de la investigación sobre producción de biogas. U.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.

NUMERO DE PARCELAS	NUMERO DE TRATAMIENTOS	MEZCLA (9.5 LITROS DE AGUA + 0.5 LITROS DEL LIQUIDO DE INOCULACION).	DOSIS DE ESTIERCOL (BASE PESO EN GRAMOS)
1	1	10	500
2	2	10	1000
3	3	10	500
4	4	10	1000
5	3	10	500
6	1	10	500
7	4	10	1000
8	2	10	1000
9	1	10	500
10	3	10	500
11	2	10	1000
12	4	10	1000

Como se estableció el experimento.

Se construyeron más biodigestores siguiendo los mismos pasos de construcción ya descritos en la fase I. Es necesario mencionar que durante el desarrollo del experimento de la fase II se rompió uno de los calentadores eléctricos (figura 19).



Figura No. 19. Calentador eléctrico roto durante el experimento de la fase II.

Se fabricaron bolsas de polietileno negro calibre 600 para coleccionar el biogas, que se produciría en cada biodigestor (figura 20).



Figura No. 20. Bolsa de polietileno fabricada para coleccionar el biogas.

El estiércol que se utilizó en la investigación se seco al sol hasta que no hubo variación en peso.

En esta fase el calculo de la materia orgánica en el biodigestor se hizo en base a peso, por lo que se procedió a pesarla en una balanza analítica con un vaso de precipitado de 1000 ml, al que luego se le lleno con 1000 ml de agua y se volvió a pesar, el resultado de estos dos pesos se restaron y con el dato obtenido del sustraendo se procedió a calcular el 5 y 10 % de estiércol.

Los tratamientos quedaron distribuidos en el recipiente a “baño maría” como se muestra en el esquema de la figura 21:

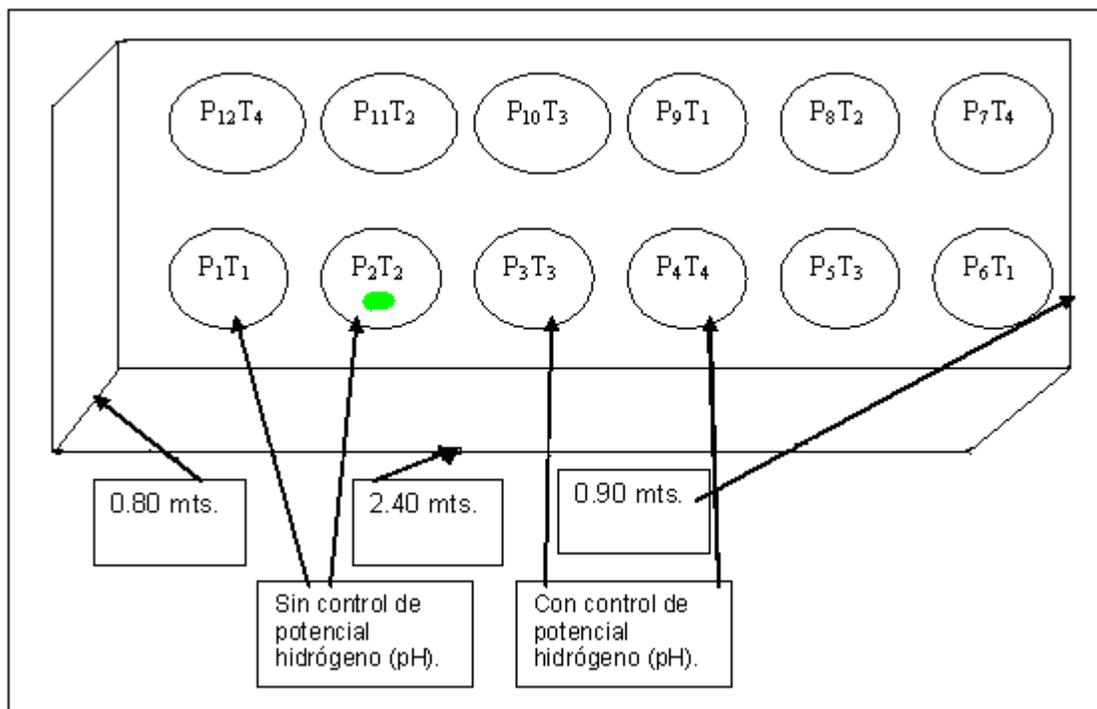


Figura No. 21. Diagrama del orden de los tratamientos en la fase II.

En el curso de la investigación, el pH del tratamiento 2, con sus respectivas repeticiones, se mantuvo a 6.7, es decir el líquido de ser alcalino se volvió ácido, lo que afectó severamente la producción de biogas, al grado de que dejó de producir el día 3 de octubre del año 2005, pero la pregunta es ¿por qué dejó de producir biogas el **tratamiento 2**? Las bacterias se colapsaron, es decir para que haya una buena producción de biogas es necesario, que las bacterias realicen actividad fermentativa de manera simbiótica, ya que si las bacterias acetogénicas, producen demasiado ácidos orgánicos, afectarían a las metanogénicas. Esto concuerda con Monroy y Viniegra (1981), citados en Biotecnología para el Aprovechamiento de los Desperdicios Orgánicos, donde mencionan que la fermentación butírica se acompaña de la formación de ácido acético o butírico. Desde un punto de vista energético, la formación de ácido acético como producto

final va en detrimento del metabolismo bacteriano, ya que este producto tiende a bajar mucho el pH, el cual hace difícil la reoxidación de (NADH o NADPH), por lo cual, la célula canaliza el acetato hacia un producto más reducido, con propiedades de pH menos ácidos, como el ácido butírico (figura 21).

Duración del experimento.

Este inicio el 15 de septiembre y finalizó el 3 de octubre del 2005.

Parámetros evaluados en la fase II.

Temperatura.

La temperatura se tomó dos veces: la primera lectura a las 9:30 a.m. en el día y la segunda a las 8:00 p.m. en la noche. La unidad de medida fue en grados Fahrenheit, transformándose en grados centígrados con la siguiente formula:

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1.8$$

pH.

El muestreo del pH se realizó cada 3 días.

Sólidos disueltos y sólidos totales.

Cuando se tomó la muestra para determinar el pH, también se realizó el análisis de sólidos totales y disueltos. Su unidad de medida es en miligramos por litro (mgr / lt).

Tiempo de retención.

Se midió en días.

Relación Carbono / Nitrógeno.

En esta se tomó la relación de 25 : 1

IV.- RESULTADO Y DISCUSIÓN.

A continuación se explicará el comportamiento de cada una de las variables y los resultados obtenidos en dicho experimento:

4.1.- Producción de biogas.

**Cuadro No. 16. Análisis de varianza para la producción de biogas.
U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.**

FV	GL	SC	CM	Fc	F α 0.05
REPETICIONES	2	6.209656	3.104828	0.9107	5.14
FACTOR A	1	24.453033	24.453033	7.1728	5.99*
FACTOR B	1	3.796844	3.796844	1.1137	5.99
INTERACCION	1	22.005219	22.005219	6.4548	5.99*
ERROR	6	20.454681	3.409114		
TOTAL	11	76.919434			

CV = 31.69 %

FV = Fuente de Variación, GL = Grados de Libertad, SC = Suma de Cuadrados, CM = Cuadrados Medios, FC = F Calculada, F α = F de Tablas, * = Significativo al nivel de 0.05, CV = Coeficiente de Variación.

En el cuadro 16, se observa diferencia estadísticamente significativa en el factor A y en la interacción A x B, esto indica que las variaciones en la producción de biogas se debieron a los tratamientos y no a variaciones del ambiente. En lo que respecta al factor B (dosis de estiércol), fue estadísticamente no significativa. El coeficiente de variación fue 31.69 %, lo que nos indica que los resultados obtenidos son confiables para llegar a conclusiones válidas.

El factor A evaluó el control del pH, es decir, controlar y no controlar el pH de la mezcla del interior del biodigestor. El pH es considerado un factor importante

y fundamental para la actividad bacteriana (bacterias hidrolíticas, acidogénicas, acetogénicas y metanogénicas), por lo que es necesario y muy importante mantener el mismo en niveles adecuados a la actividad bacterial.

Debido a que en el factor A se encontró diferencia significativa, se realizó la prueba estadística de medias D.M.S. al 5% de significancia, (cuadro 17), cuyos resultados muestran que al controlar el pH se obtiene una producción de biogas estadísticamente superior a la obtenida sin controlar este factor. La producción de biogas obtenida fue de 7.25 litros (**a**) al controlar el pH contra 4.39 litros (**b**), sin control lo que significa una diferencia de 2.86 litros (39 %) (cuadro 17) (gráfica 1).

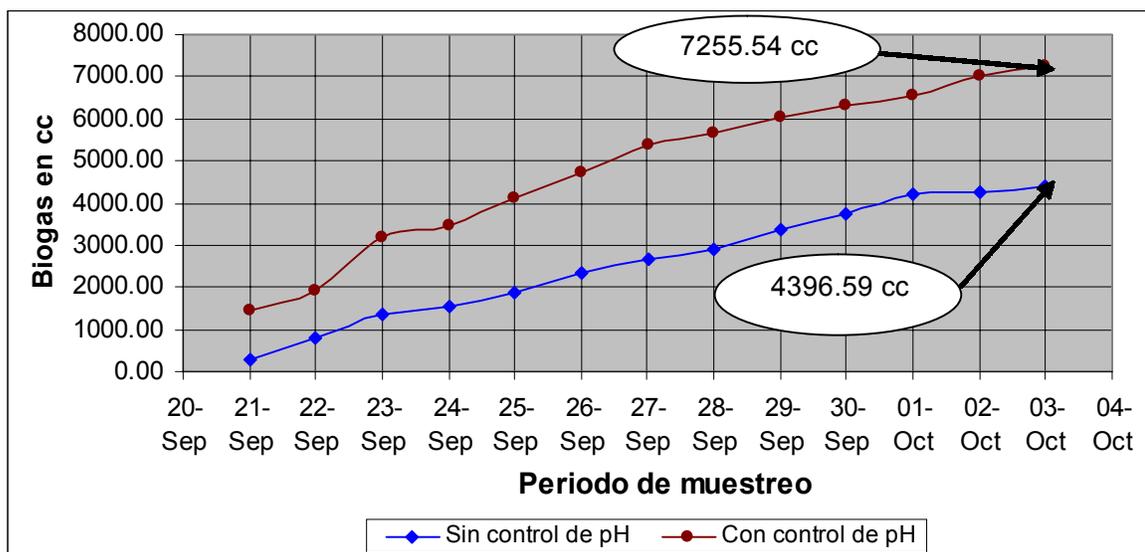
Estos resultados muestran la importancia que tiene el pH en la producción de biogas. Mantenerlo en rangos adecuados (nuestros datos indican que debe mantenerse alrededor de 7.3), permiten una adecuada generación de biogas. Nuestros resultados concuerdan con lo citado por el sitio web textoscientíficos (2006) referente a que el pH en el biodigestor debe fluctuar entre 7.0 y 8.5. En cambio diferimos en lo citado por Mejía (2005), ya que menciona que el rango de pH debe estar entre 6.6 y 7.6, pues en nuestro trabajo tuvimos serios problemas cuando la mezcla en el biodigestor alcanzó pH de 6.69, al grado de estar a punto de colapsar el proceso. Como vemos, la literatura nos indica dos rangos de valores de pHs óptimos para la producción de biogas, esto lleva a una confusión sobre cual de estos valores, es el más adecuada para la producción de biogas. Sin embargo nuestros resultados indican que debe mantenerse alrededor de 7.3.

Cuadro No. 17. Efecto del factor A (control de pH) sobre la producción de biogas. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.

Factor A (pH)	Biogas (lts)
Sin control de pH	4.39 b
Con control de pH	7.25 a

En el cuadro 17, se observa claramente, que existe una gran diferencia de los litros producidos de biogas entre los pHs que se mantuvieron sin control y con control, ya que el que se mantuvo sin control produjo una media de 4.39 litros (**b**), equivalente 4390 cm^3 por lo contrario el que se mantuvo con control produjo una media de 7.25 litros (**a**), equivalente 7250 cm^3 , dando una diferencia de de 2.86 litros equivalente a 2860 cm^3 (39 %). Esto nos indica por que hubo diferencia significativa en lo que se refiere a la producción de biogas. Por lo tanto es importante controlar pH en niveles adecuados de la actividad bacterial, ya que es un factor de gran importancia para la producción de biogas (cuadro 19).

Grafica No. 1. Evolución de la producción de biogas de acuerdo al factor A. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.



En la grafica 1, se observa que la producción de biogas fue menor en la que se mantuvo sin control obteniendo un promedio acumulativo 4396.59 cm^3 (4.39 lts), contra la que se mantuvo con control estando en un nivel más arriba pues se obtuvo un promedio acumulativo de 7255.54 cm^3 (7.25 lts). Esto nos da una diferencia de 2858.95 cm^3 (2.85 lts), lo que significa que se obtuvo un 39 % más de biogas. Por lo tanto, es importante monitorear constantemente el pH para que las bacterias degraden adecuadamente los biosolidos.

Cuadro No. 18. Efecto del factor B en la producción de biogas. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.

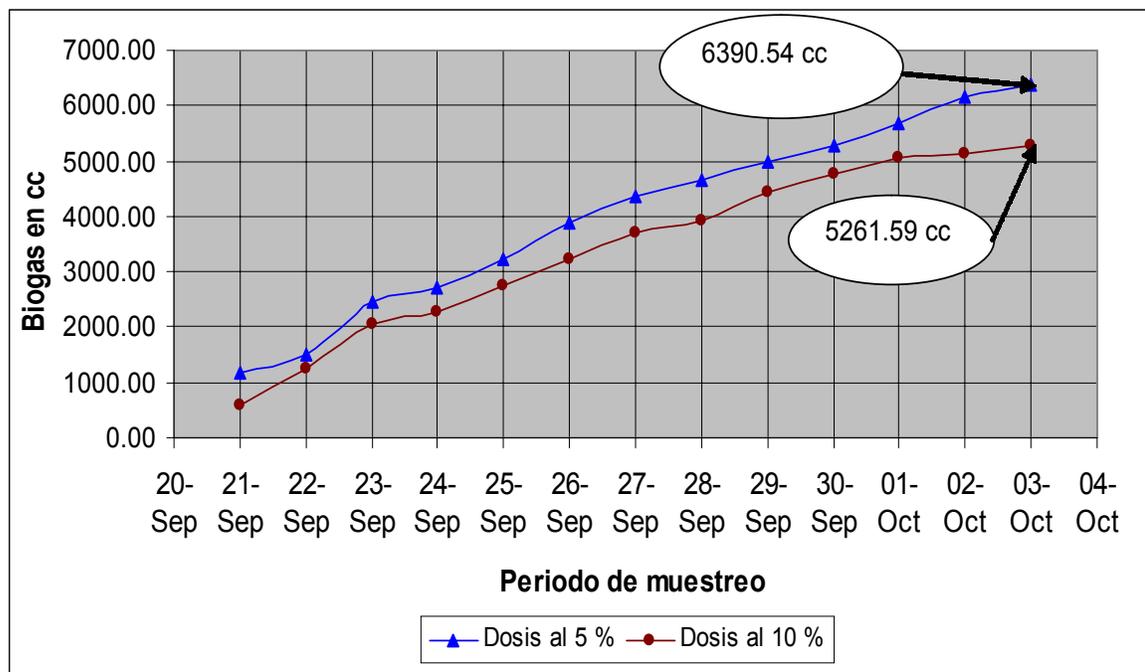
Factor B (dosis de estiércol)	Biogas (lts)
5 %	6.39 NS
10 %	5.26 NS

NS = No significativo al nivel de 0.05.

En el cuadro 18, se observa la relación que existe entre la producción de biogas y la materia orgánica. En este se aprecia que aunque no hubo diferencia significativa estadísticamente, se obtuvo diferencia en cuanto a la producción de biogas, esto se debió a las dosis que se le aplicó a cada biodigestor y no al medio ambiente. Vemos pues, que en la proporción del 5 % se produjo una media de 6.39 litros de biogas equivalente a 6390 cm^3 contra el 10 %, que únicamente produjo una media 5.26 litros de biogas equivalente a 5260 cm^3 . Esto nos da una diferencia de 1130 cm^3 (17.68 %), lo que indica que al 5 %, tuvo una mayor relación con el nivel de agua contenida en el biodigestor, lo que provocó una

mayor disolución y menor formación de espacios muertos, lo que permite obtener una buena fermentación bacteriana dando como resultado una mayor producción de biogas, sucede lo contrario al 10 %.

Grafica No. 2. Relación de la producción de biogas de acuerdo al factor B (% de sólidos). U.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.



En la grafica 2, se observa que como anteriormente fue mencionado, en lo que respecta en % de sólidos no existe diferencia estadísticamente significativa, ya que al 10 % se obtuvo una producción promedio acumulativo de 5261.59 cc (5.26 lts) y al 5 % se obtuvo un promedio acumulativo 6390.54 cc (6.39 lts) dando una diferencia de 1128.95 cc (1.12 lts), lo cual estadísticamente los datos no presentaron diferencia en lo que respecta a este factor.

Cuadro No. 19. Efecto de la interacción A x B en diferentes variables para la producción de biogas. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.

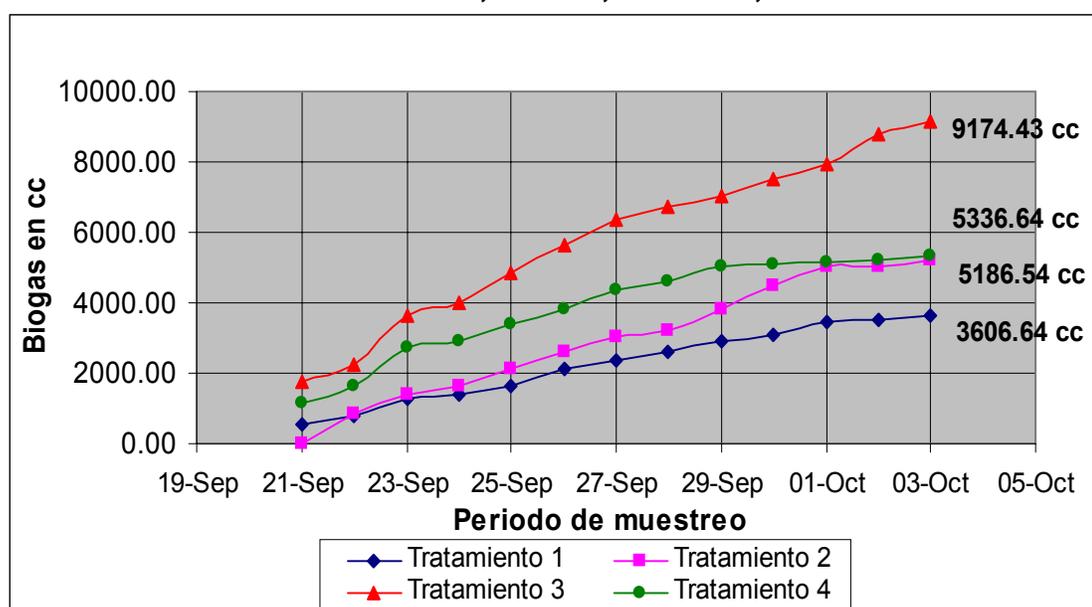
Factor A (control pH)	Factor B (% sólidos)	Tratamientos	Producción de biogas (lts)	Temperatura (°c)	pH
Sin control pH	5 %	1	3.60 c	34.07	7.27
	10 %	2	5.19 b	34.37	7.09
Promedio			4.39 b	34.22 a	7.18
Con control pH	5 %	3	9.17 a	33.85	7.30
	10 %	4	5.33 b	33.83	7.28
Promedio			7.25 a	33.84 b	7.29

En el cuadro 19, se encontró que hay una interacción entre el factor A y el factor B, es decir, entre los tratamientos que se tuvieron controlados y no controlados, del pH y su relación con la dosis de materia orgánica. En términos estadísticos, el volumen de las bolsas colectoras del biogas producido en los tratamientos donde no se controló el pH, se obtuvo una baja producción con una media de 4.39 litros. Esto se debió principalmente a que el pH se mantuvo en

promedio alrededor de 7.18 afectando la actividad de las bacterias hidrolíticas, acidogénicas, acetogénicas y principalmente las metanogénicas.

Sucedido lo contrario en aquellas que se mantuvieron con control ya que aumentó considerablemente el volumen de las bolsas colectoras obteniéndose una media de 7.25 litros. Esto se debió principalmente por que el pH se mantuvo alrededor de 7.29 favoreciendo el medio del efluente en el interior del biodigestor para la actividad bacteriana. Esto significa que las bacterias degradaron rápidamente la materia orgánica.

Gráfica No. 3. Evolución de la producción de biogas en 4 tratamientos. U.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.



En la grafica 3, se observa el comportamiento en cuanto a la producción de biogas para cada tratamiento en estudio, donde el mejor tratamiento fue el tres con una producción de 9.17 litros (9174.43 cm³), teniendo una producción por día de 705.73 cm³. La producción de biogas por gramo de materia orgánica para este

tratamiento fue de $18.35 \text{ cm}^3 / \text{gr}$. Este inició su producción a los tres días después de establecido el experimento.

Para el segundo mejor tratamiento se tiene que fue el cuatro con una producción de 5336.64 cm^3 , teniendo una producción por día de 410.51 cm^3 . La producción de biogas por gramo de materia orgánica para este tratamiento fue de $5.35 \text{ cm}^3 / \text{gr}$. Este inicio su producción a los tres días después que se estableció el experimento.

El tratamiento dos ocupó el tercer lugar con una producción de 5186.54 cm^3 , teniendo una producción por día de 398.96 cm^3 . La producción de biogas por gramo de materia orgánica para este tratamiento fue de $5.19 \text{ cm}^3 / \text{gr}$. Este inició su producción a los cuatro días después de establecido el experimento.

El tratamiento uno, ocupó el último lugar con una producción de 3606.64 cm^3 , teniendo una producción por día de 277.43 cm^3 . La producción de biogas por gramo de materia orgánica para este tratamiento fue de $7.21 \text{ cm}^3 / \text{gr}$. Este tratamiento no tuvo control del pH. Este inició su producción a los cuatro días.

4.2.- Temperatura.

Cuadro No. 20. Análisis de varianza para la temperatura. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.

FV	GL	SC	CM	F c	Fα 0.05
REPETICIONES	2	0.385742	0.192871	4.9170	5.14
FACTOR A	1	0.425781	0.425781	10.8548	5.99 *
FACTOR B	1	0.054688	0.054688	1.3942	5.99
INTERACCION	1	0.079102	0.079102	2.0166	5.99
ERROR	6	0.235352	0.039225		
TOTAL	11	1.180664			

$C V = 0.58\%$

FV = Fuente de Variación, GL = Grados de Libertad, SC = Suma de Cuadrados, CM = Cuadrados Medios, FC = F Calculada, $F\alpha$ = F de Tablas. * = significativo al nivel de 0.05.

En el cuadro 20, se observa el ANVA del factor temperatura, en donde se tiene diferencia estadística significativa en el factor A, lo que indica que el pH esta influenciado por la temperatura. El resultado muestra que la temperatura tiene una gran influencia sobre el pH, por lo que deberá mantenerse un control adecuado de la temperatura para estabilizar el pH y así la producción de biogas. Por lo tanto, el material biológico presente en el biodigestor se ira degradando rápidamente, ya que las bacterias presentes tendrán un equilibrio adecuado y por ende una eficiencia en la descomposición de toda la materia orgánica presente.

En el cuadro 20, se observa también que no existe diferencia estadística en el factor B, así como en la interacción A x B y de acuerdo a que el coeficiente de variación obtenido para este caso fue de 0.58 %, indica que el experimento se manejo adecuadamente y los datos obtenidos presentan confiabilidad.

**Cuadro No. 21. Efecto de la temperatura sobre el factor A (control de pH).
U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.**

Factor A	Temperatura (°c)
Sin control de pH	34.22 a
Con control de PH	33.84 b

Debido a la diferencia significativa registrado por el ANVA para el factor temperatura, se realizó la DMS al 5 % de probabilidad, cuyos resultados se

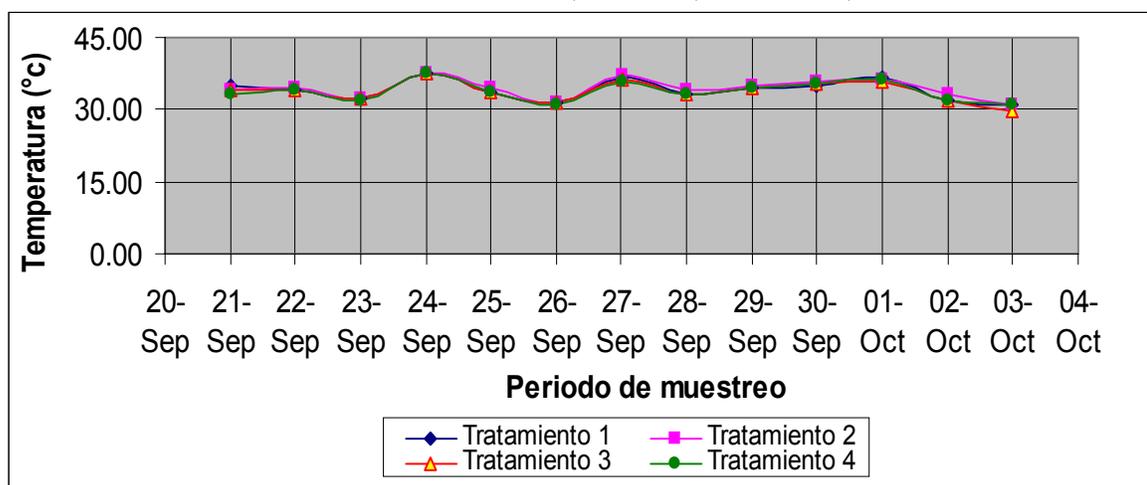
muestran en el cuadro 21, donde se observa que hay diferencia estadística significativa en los grados de temperatura con el factor A, ya que la que se mantuvo sin control, tuvo 34.22 °c (a) y la que se mantuvo con control, tuvo 33.84 °c (b), dando una diferencia de 0.38 °c (1.11 %). Por lo tanto podemos decir que el factor temperatura contribuye a que el pH se mantenga en niveles adecuados dentro del biodigestor (cuadro 19).

**Cuadro No. 22. Efecto del factor B (% de sólidos) en la temperatura.
U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.**

Factor B	Temperatura (°c)
5 %	33.96
10 %	34.09

En el cuadro 22, no hubo diferencia estadística significativa entre la temperatura y el factor B ni en la interacción A x B. Esto se debió principalmente a que la temperatura fluctuaba alrededor de los 35 °c. Contribuyendo a que las bacterias realizaran una buena actividad fermentativa del estiércol (cuadro 19).

Gráfica No. 4. Evolución de la temperatura para los 4 tratamientos en estudio. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.

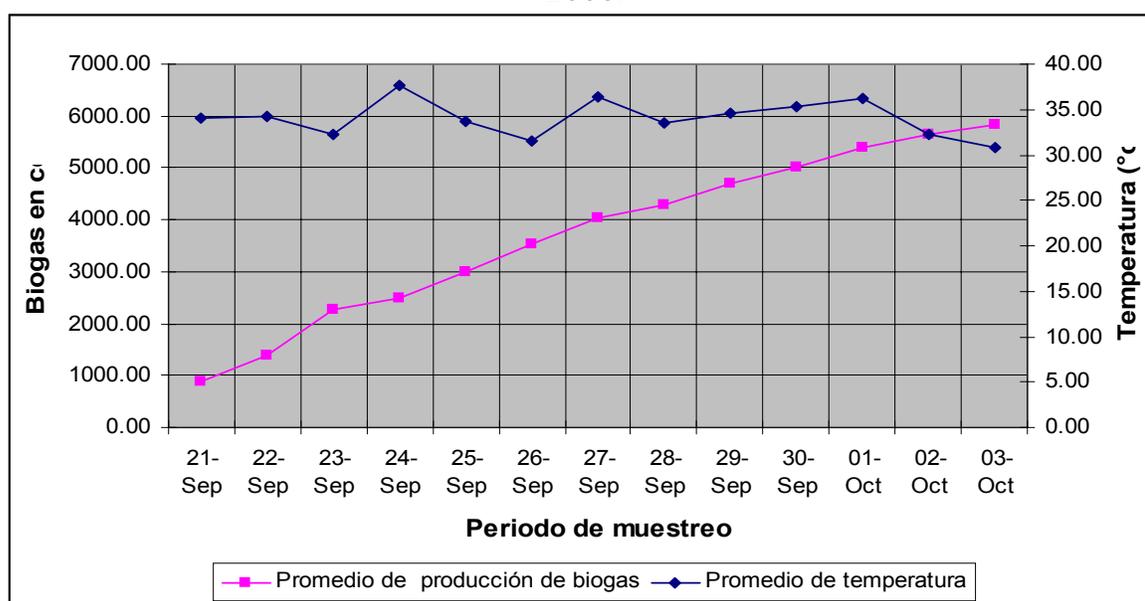


En la gráfica 4, podemos observar de manera general el comportamiento que siguieron los cuatro tratamientos en cuanto a la temperatura, en la cual podemos apreciar que el comportamiento para los tratamientos en estudio, son similares es decir que las fluctuaciones se presentaron de igual forma.

Las variaciones que se observan en cada uno de los muestreos realizados, se debe principalmente que durante el proceso del experimento el agua que contenía el recipiente base se sobrecalentaba o a veces disminuía obteniendo valores menores o mayores a los 35 °c (ideal para una buena fermentación dentro del biodigestado), o de igual manera, a que en esta región la temperatura tiene cambios repentinos que afectan, ya que, como fue mencionado con anterioridad, en este experimento se utilizó un sistema de calentamiento a “baño maría”, el cual esta influenciado con la temperatura del medio ambiente.

4.3.- Relación entre la temperatura y la producción de biogas.

Gráfica No. 5. Relación temperatura - producción de biogas para los 4 tratamientos en estudio. U.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.



En la grafica 5, se observa el comportamiento de la temperatura con respecto a la producción de biogas para los 4 tratamientos. En esta se observa claramente que la temperatura se mantuvo más o menos constante, siendo la inicial de 33.39 y la final de 30.73 °c en promedio, con una diferencia de 2.66 °c.

Lo anterior indica que la temperatura tuvo fluctuaciones durante todo el transcurso del experimento, ya que se utilizó un sistema de calentamiento a “baño maría”. Todo esto repercute en la producción de biogas ya que según el sitio web textoscientificos (2006), las bacterias que intervienen en el proceso son muy sensibles a los cambios bruscos de temperatura, principalmente las metanogénicas (+- 1 °c).

Es importante mencionar que cuando la temperatura tiene fluctuaciones repentinas la producción de biogas disminuye, lo cual hace referencia a la importancia que tiene la temperatura, ya que la actividad biológica y por lo tanto, la producción de biogás aumenta con la temperatura. El mismo sitio web hace referencia a que se deberá tener en cuenta que al no generar calor el proceso, la temperatura deberá ser lograda y mantenida mediante energía exterior.

4.4.- pH.

Cuadro No. 23. Análisis de varianza para el pH. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.

FV	GL	SC	CM	Fc	Fα 0.05
REPETICIONES	2	0.495667	0.247833	4.9710	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%

FV = Fuente de Variación, GL = Grados de Libertad, SC = Suma de Cuadrados, CM = Cuadrados Medios, FC = F Calculada, F_{α} = F de Tablas, CV = Coeficiente de Variación.

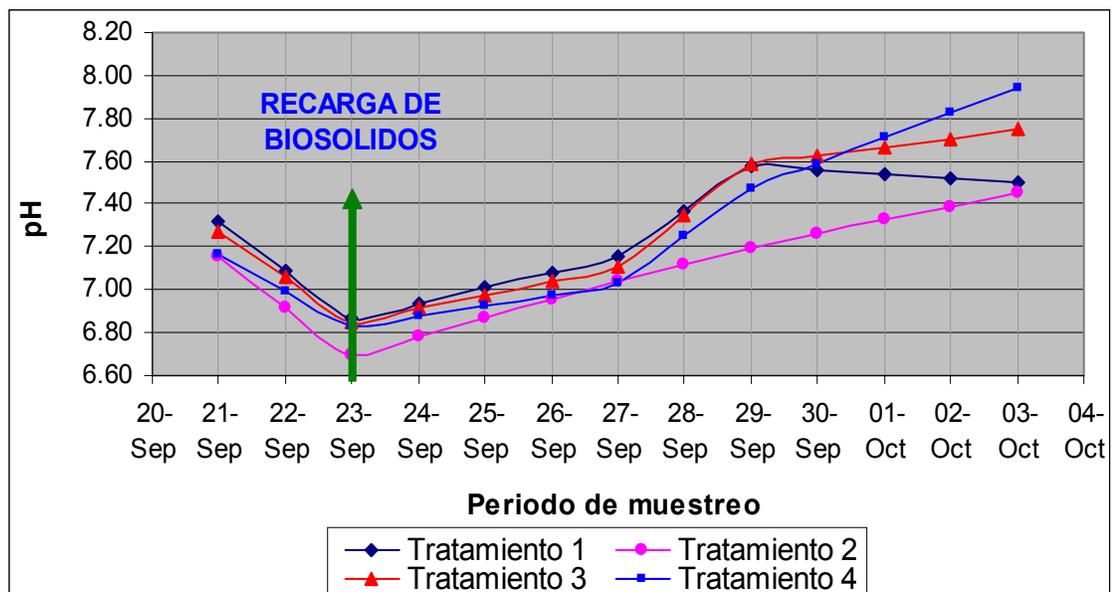
En el cuadro 23, referente al análisis de varianza (ANVA) para el caso del pH, muestra que no existe diferencia estadísticamente significativa para ninguno de los factores, lo que significa que para este caso fueron similares en todo los tratamientos en estudio.

En virtud de que el coeficiente de variación, fue bajo (un valor de 3.09 %), los datos aquí presentados son confiables para este experimento.

El pH es muy importante al igual que la temperatura, debido a que las bacterias en el proceso son muy sensibles a pHs ácidos o alcalinos. Según German Appropriate Technology Exchange (2005), hace mención 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 es índice en un aumento en el contenido de ácidos grasos volátiles lo que provoca una menor producción de biogas.

Grafica No. 6. Evolución del pH en los 4 tratamientos de estudio para la producción de biogas. U.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.



En la grafica 6, se presenta el comportamiento del pH, en el que se tiene que todos los tratamientos siguieron una curva similar, ya que iniciaron con un pH alcalino que posteriormente fue bajando hasta quedar ácido.

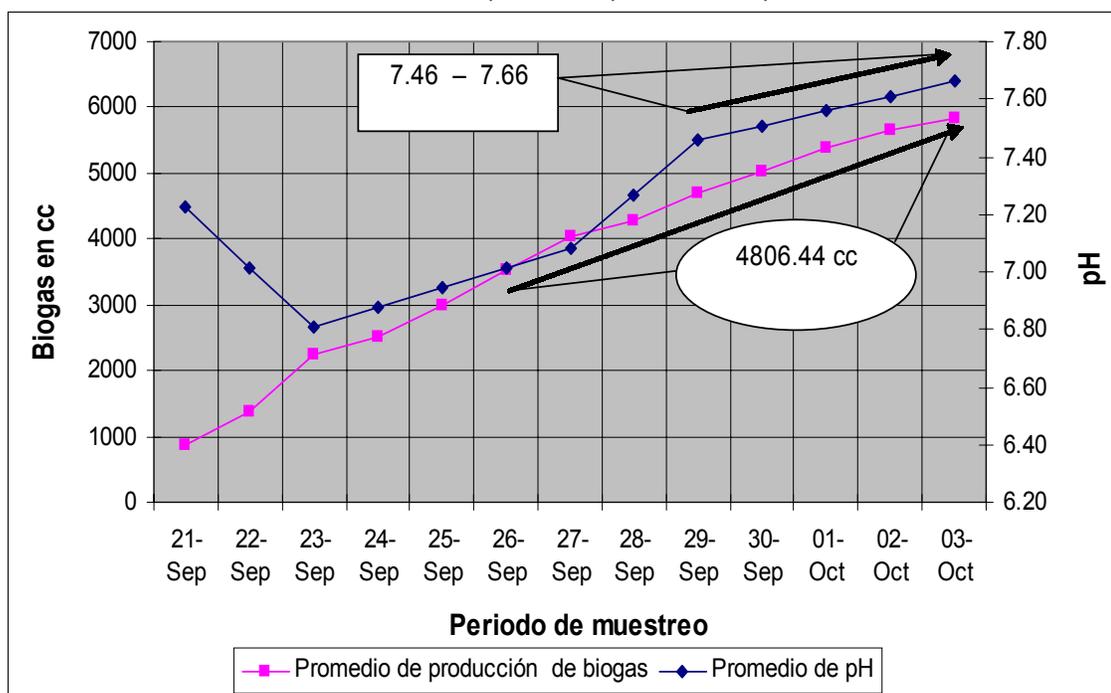
Se observa que para el día 24 de septiembre en todos los tratamientos de nuevo va recuperando de manera gradual su alcalinidad. Este efecto se debió a que el día 23 de septiembre se realizó una recarga de sólidos en todos los tratamientos, lo que mejoró notablemente el pH. Para los siguientes días el pH ya se mostraba alcalino en todos los tratamientos a excepción del tratamiento dos, que mostró una lenta y pobre recuperación de la alcalinidad.

La recarga de sólidos antes mencionado consistió en quitarle 10 % del efluente y agregarle el mismo porcentaje.

Los tratamientos uno y tres se les agregaron 50 gramos de material sólido y los tratamientos dos y cuatro se les agregaron 100 gramos de material sólido, se mezcló en 1 litro ($\frac{1}{2}$ de líquido de otro biodigestor más $\frac{1}{2}$ de agua).

4.5.- Relación entre el potencial hidrógeno y la producción de biogas para los 4 tratamientos en estudio.

Grafica No. 7. Evolución en pH – producción de biogas en 4 tratamientos. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.



Con el propósito de analizar el efecto general del pH en la producción de biogas para todos los tratamientos en estudio, se obtuvo el promedio general de

estas variables y se construyó la grafica 7. En esta se observa que el pH esta muy asociado con la producción de biogas.

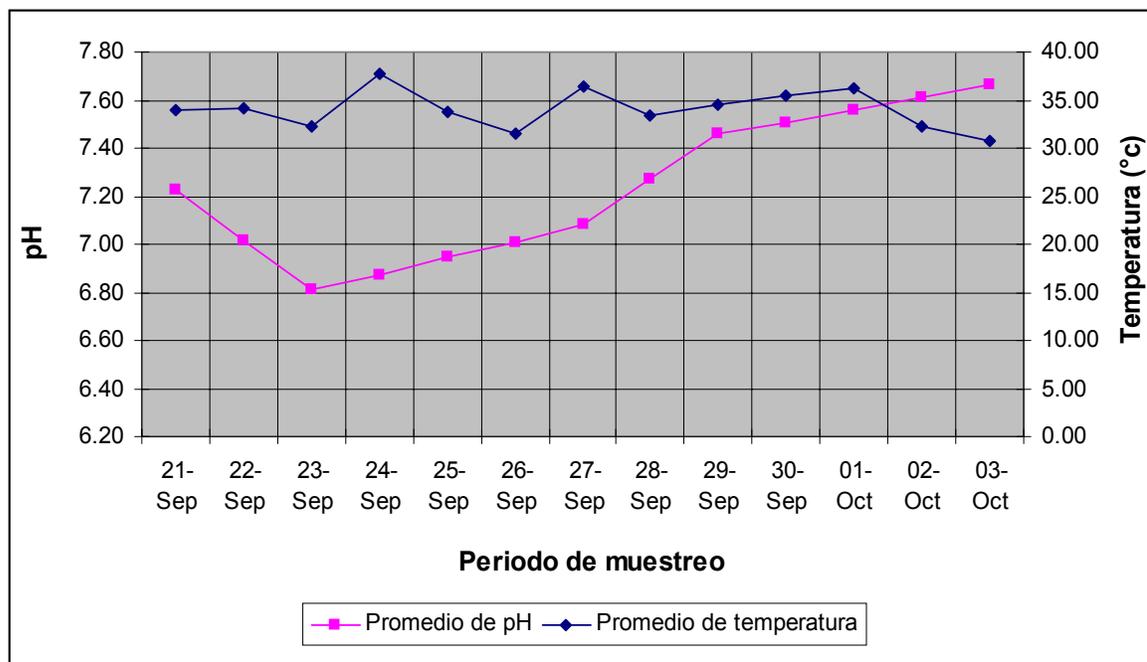
Al principio se tuvo un pH alcalino de 7.23, tres días después bajo a un nivel ácido de **6.81** (23 de septiembre), esto afectó la actividad bacteriana en menor grado pues en general fueron tolerantes a este valor (excepto el tratamiento dos). Esto concuerda con lo que menciona Álvarez et al. (2005), quien cita que el valor óptimo para obtener una buena producción de biogas oscila entre 6.6 – 7.6. Con respecto al pH de 6.6 en nuestro trabajo observamos que con este valor afecta la producción de biogas.

Tres días después el pH recupera su alcalinidad con un valor de 7.01 (26 de septiembre). Con este nivel, el biogas subió gradualmente su producción en un promedio de 4806.44 cm³ (26 de septiembre al 3 de octubre), ya que las bacterias estuvieron en un nivel adecuado lo que hizo que estas llevarán a cabo una fermentación sincronizada.

Del 29 de septiembre al 3 de octubre el pH sube lentamente 7.46 – 7.66 dando una diferencia de 0.2 (2.61%). Se considera realizar las recargas cada 10 días, aunque es necesario investigar más a este respecto.

4.6.- Relación en pH – temperatura para los 4 tratamientos en estudio.

Grafica No. 8. Evolución en pH – temperatura en 4 tratamientos. U.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005



La grafica 8, registra que la temperatura tiene cierta asociación con el pH, y las bacterias con estas variables.

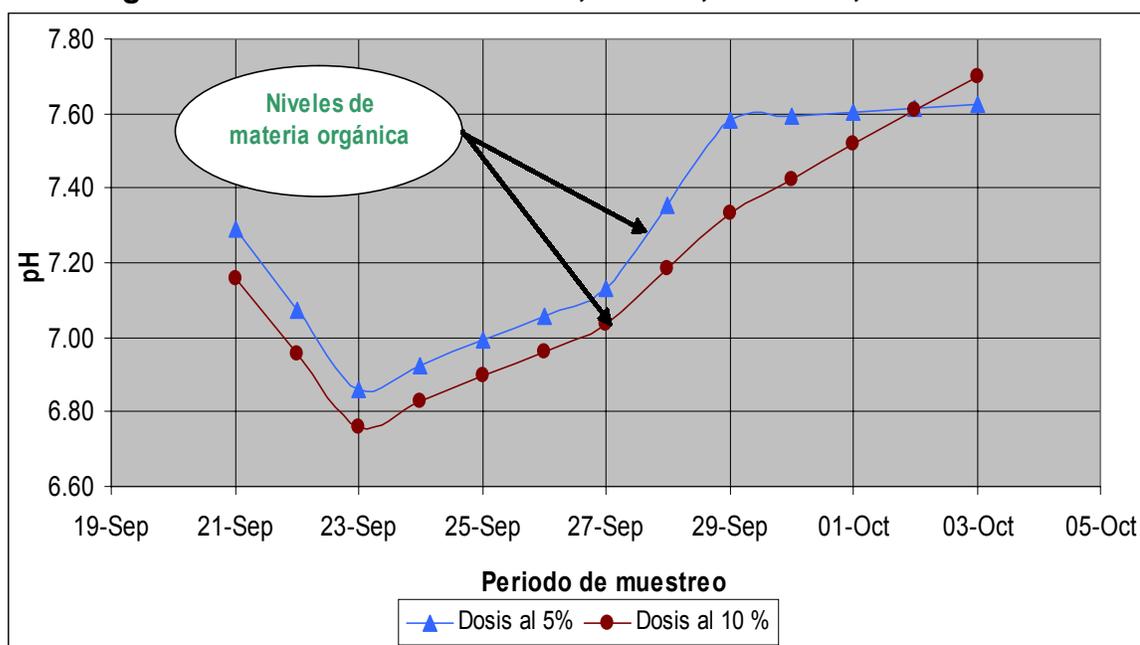
La disminución de la temperatura que fué de 32.25 °C (23 de septiembre) provocó que las bacterias hidrolíticas reaccionaran con una rápida hidrólisis de las cadenas de carbohidratos complejos. Debido a esto, las bacterias acidogénicas aceleraron la producción de ácidos orgánicos. Esto concuerda con lo citado por el sitio web textoscintificos (2006), que menciona que la desviación de los valores normales de la temperatura, provocado por severas fluctuaciones, es causa de un desequilibrio entre las bacterias de la fase acida y las bacterias metanogénicas.

Este desequilibrio entre ambos tipos de bacterias provocó una baja en el pH

hasta un valor de **6.81** (23 de septiembre). Por esta razón las bacterias (hidrolíticas, acidogénicas, acetogénicas y metanogénicas) que intervienen para que ocurra la fermentación de los biosólidos, necesitan de la temperatura y el pH en niveles adecuados.

Vemos pues que la temperatura y el pH están asociados y la importancia que ambos factores tienen para que las bacterias degraden el material biológico.

Grafica No. 9. Evolución del pH con relación con la concentración de materia orgánica. U.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005



En la grafica 9, se observa que el pH tuvo menor variación con la dosis del 10 %, teniendo un pH ácido de 6.76 (23 de septiembre) poco tolerante para las bacterias, contra el pH con dosis al 5 % que se mantuvo en un nivel menos ácido de 6.86 (23 de septiembre). Los pHs obtenidos tuvieron mayor variación con esta última dosis, debido principalmente porque las bacterias degradaron rápidamente

el estiércol. Esto concuerda con Mejía (2005), citado en el sitio web monografía, que menciona que las bacterias degradan el material biológico en mejores condiciones con menos de un 10 % en sólidos. Por lo tanto, de acuerdo a nuestros resultados la dosis al 5 % fué la más favorable para la fermentación anaerobia.

4.7.- Correlación de cada una de las variables.

En el cuadro 24, se muestra el promedio general de cada una de las variables, que contribuyen en la producción de biogas, ya que son de vital importancia para los diferentes tipos de bacterias que intervienen en el proceso de fermentación del material biológico.

Cuadro No. 24. Promedio general de cada una de las variables medidas en la producción de biogas. Fase No. II. U.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.

Tratamientos	Materia orgánica (%)	Potencial hidrógeno (pH)	Temperatura (°c)	*Biogas (cm ³)	Dióxido de Carbono (%)
1	5	7.27	34.07	3606.64	9.60
2	10	7.09	34.36	5186.54	7.80
3	5	7.30	33.85	9174.43	25.30
4	10	7.27	33.82	5336.64	23.30

Nota: *Biogas = Producción acumulativa final y total.

Cuadro No. 25. Correlación de las variables evaluadas. Fase No. II. Producción de biogas. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2005.

Variables	Materia orgánica	Potencial hidrógeno	Temperatura
Dióxido de carbono (CO₂)	-0.120899 NS	0.703911215 NS	-0.90175275 NS
Biogas	-0.27554983 NS	0.305815555 NS	-0.44758344 NS
Temperatura	0.31316768 NS	-0.92296742 NS	
Potencial hidrógeno (pH)	-0.61374306 NS		

NS = Correlación no significativa al nivel de 0.05.

En el cuadro 25, se observa que la materia orgánica tiene una correlación positiva con la temperatura (0.313 NS), esto quiere decir que al aumentar la materia orgánica se aumentara la temperatura no más a 70 °c, ya que a mayor temperatura, las bacterias(hidrolíticas, acetogénicas, acidogénicas y metanogénicas) aceleran la fermentación del material sólido; sucediendo lo contrario con dióxido de carbono, biogas, pH (-0.12 NS), (-0.28 NS), (-0.61 NS), lo cual dice que si aumenta cualquiera de estas variables, la materia orgánica tiende a decrecer, ya que presenta una correlación negativa con estos parámetros.

El pH presenta una correlación negativa con la temperatura (-0.92 NS), es decir si aumentamos la temperatura en exceso de acuerdo a la etapa en que se opere el biodigestor (criofílico, mesofílico, termofílico) y de acuerdo a la tolerancia de temperatura que tienen las bacterias en cada una de estas fases, serán afectadas las mismas y por lo tanto disminuirá el pH; sucede lo contrario al correlacionar el pH con el dióxido de carbono y biogas (0.70 NS y 0.31 NS), esto

quiere decir que si aumenta el biogas aumentara también el dióxido de carbono, los cuales dependerán del pH, pues se tiene una correlación positiva.

Al correlacionar la temperatura con el bióxido de carbono y biogas (-0.90 **NS**), (-0.45 **NS**), esto significa que si aumentamos la temperatura en exceso por arriba de la tolerancia de las bacterias, disminuirá el biogas y por lo tanto también el dióxido de carbono, ya que las bacterias serán afectadas por el exceso de temperatura. El exceso de temperatura tiende a aumentar el pH, se ha considerado que el pH óptimo es de 6.8 a 7.6, si hay un aumento de pH por exceso de temperatura se producirá demasiado amoníaco, el cual es tóxico para las bacterias metanogénicas y disminuirá la producción de biogas.

V.- CONCLUSIONES.

Considerando los objetivos e hipótesis formulados y relacionándolos con los resultados obtenidos en la presente investigación, se puede concluir que:

1.- El análisis de varianza para el pH no fué significativo (cuadro 23). Por lo tanto se rechaza **Hipótesis alternativa (Ha 1)** que dice “**las diferentes concentraciones de estiércol de bovino en el biodigestor presentan diferencias en el pH**”.

2.- El análisis de varianza para la producción de biogas fué significativo en el factor A (control de pH), por lo que se acepta la **Hipótesis alternativa (Ha 2)** que menciona que “**el pH influye en la producción de biogas**”.

3.- Se acepta la **Hipótesis alternativa (Ha 3)** que menciona que “**el tiempo de retención del material digerido es diferente para cada dosis de biosólidos**”. Ya que el tiempo de retención para la concentración de materia orgánica al 5 % fué de 9 días (23 de septiembre al 2 de octubre), mientras que para la dosis de 10 % de materia orgánica, fué de 10 días (23 al 3 de octubre) (grafica 9).

4.- Se acepta la **Hipótesis alternativa (Ha 4)** que dice “**El tiempo de retención del material digerido altera el pH en el digerido**”, ya que al 5 % de sólidos, el pH se eleva y el material se degrada rápidamente (23 al 29 de septiembre), mientras

que al 10 %, el pH se mantiene en un nivel bajo y el material se degrada lentamente (23 de septiembre al 3 de octubre) (grafica 9).

5.- Al afectar la temperatura es afectado también el pH, y este a su vez la producción de biogas. Por lo tanto, se acepta la **Hipótesis alternativa (Ha 5)** que dice “la temperatura influye en la producción de biogas” (cuadro 20).

6.- Las concentraciones o dosis de estiércol de bovino para los cuatro tratamientos, estuvieron asociados positivamente con la temperatura y pH.

7.- La mejor producción de biogas se obtuvo con el tratamiento 3 (con control de pH más 5 % de materia orgánica), con una producción de 9.17 litros en un periodo de 13 días. La producción más baja se obtuvo con el tratamiento 1 (sin control de pH más 5 % de materia orgánica), con una producción de 3606.64 cc.

8.- El pH ácido de 6.69 ocasionó un severo efecto negativo en la producción de biogas (23 de septiembre, tratamiento 2) (grafica 6)

9.- El pH alcalino de 7.75, fué el que mostró el mejor efecto en la producción de biogas (3 de octubre, tratamiento 3) (grafica 6).

10.- La temperatura presentó una influencia estadísticamente significativa sobre el pH (cuadro 20), lo que indica la necesidad de cuidar su variación, para no afectar la actividad bacteriana en el biodigestor.

VI.- RECOMENDACIONES.

A continuación se da las siguientes recomendaciones:

Análisis que deben realizarse antes de la mezcla.

1.- Realizar análisis químico del estiércol que se utilizará, para la producción de biogas, ya que la alimentación del ganado bovino varía. Además se debe considerar los productos químicos que se le aplica tales como: Asuntol, Bayticol, Descornador. Estos productos químicos pueden ir en un porcentaje mínimo en el excremento y pueden dañar a las bacterias (hidrolíticas, acidogénicas, acetogénicas y metanogénicas).

2.- Realizar un análisis químico del agua en relación con el pH y otras sustancias químicas que puede contener. Este análisis debe realizarse antes de realizar la mezcla con el estiércol.

Construcción de un biodigestor.

1.- Es necesario realizar un análisis económico de los materiales que se necesitan al construir un biodigestor.

2.- Al construir el biodigestor se debe inspeccionar muy bien algunas posibles rupturas que pueda suceder en los tubos de PVC, ya que al haber fuga de gas metano se volatiliza en forma rápida en la atmósfera y contribuye al efecto invernadero.

3.- Se recomienda sellar herméticamente con silicón al biodigestor, de tal forma que este quede completamente aislado del oxígeno del aire. La razón principal de esto es evitar que entre aire al interior del biodigestor, pues la fermentación metanogénica es completamente anaerobia.

Después que se tiene la mezcla en el interior del biodigestor.

1.- Mantener la temperatura de la mezcla del interior del biodigestor en los rangos de $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$, ya que con estas temperaturas las bacterias tienen una buena actividad fermentativa del material biosólido.

2.- Mantener el pH de la mezcla del interior del biodigestor en los rangos de 7.30 – 7.40, debido a que en estos niveles se realizan una buena fermentación del estiércol por parte de las bacterias.

3.- Realizar cada 3 días la lectura del pH y sólidos (totales y disueltos) de la mezcla en el interior del biodigestor, ya que este es un factor importante para que las bacterias realicen una buena fermentación del material sólido.

4.- Se recomienda realizar una inoculación de la mezcla inicial con líquido previamente fermentado, para acelerar la descomposición química del estiércol.

5.- Si los biodigestores se tienen a “baño maría”, se recomienda monitorear la temperatura del agua para mantenerlo alrededor de los $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$, ya que el agua le transmitirá calor a los biodigestores.

Cuidados que deben de tenerse con la bolsa colectora.

1.- Antes de conectar la bolsa de polietileno colectora de biogas, checar posibles rupturas o fugas, y para corregirlas inmediatamente. Esto asegura que la cantidad de biogas producida en cada uno de los biodigestores sea la correcta.

2.- Se recomienda que la conexión entre la manguera y la bolsa colectora de biogas se selle muy bien, ya que en esa área es donde existe mayor riesgo de fugas.

Investigaciones futuras.

1.- Estudiar en forma detallada los tiempos de recarga.

2.- La recarga se deberá realizar de acuerdo a la dosis base o inicial, ya que si no se realiza la recarga el nivel de acidez seguirá disminuyendo hasta ser inferior a 6.6, lo que dará origen el fenómeno llamado “Colapso Bacteriano”.

3.- Es recomendable realizar estudios con dosis de estiércol abajo del 10 % y mayores del 5 %, para determinar la concentración óptima de producción de biogas.

4.- Tomar el mejor tratamiento de esta investigación como base para trabajos futuros en la producción de biogas, mientras se obtiene otra dosis mejor.

5.- Es conveniente continuar con esta línea de investigación para corroborar y / o mejorar los resultados que se obtuvieron en este trabajo.

VII.- BIBLIOGRAFÍA.

Álvarez J. M., L. Caneta y C. Moyano. 2005. Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ingeniería, Catedra: Máquinas Térmicas II Biomasa y Biogás.
Sitio web:
<http://ing.unne.edu.ar/pub/biomasa.pdf>.

Anes. 2006. Sitio web:
<http://www.anes.org/docs/ermexico2.pdf>

Caparaispana. 2005 con dirección en Mafalda Impastato Planlles Avda de la Vega 12 – Alcobendas 28100 – Madrid y en el sitio web:
<http://www.capraispana.com/curiosidades/biogas/consideraciones.htm>

Cladead. 2005. Sitio web:
http://cladead.com/Cursos/AGRIC/AGRIC000001/que_es_el_biogas.htm

Consumer. 2005. Sitio web:
www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2005/04/07/141021.php

Consumer. 2005. Sitio web:
http://www.consumer.2005.es/accesible/es/medio_ambiente/energía_y_ciencia/2005/04/07/141021.php

Eco-gel. 2005. Sitio web:
www.eco-gel.com/digestion_anaerobia.htm

Ecoportal.net. 2006. Sitio web:
<http://www.ecoportal.net/content/view/full/169/offset/1>

Esi.Unav. 2005. Sitio web:
<http://www.esi.unav.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/00General/Glosario.html>

Es.wikipedia. 2006. Sitio web:
<http://es.wikipedia.org/wiki/Metano#Propiedades>.

Es.wikipedia. 2006. Sitio web:
http://es.wikipedia.org/wiki/Di%C3%B3xido_de_carbono

Es.wikipedia. 2006. Sitio web:
http://es.wikipedia.org/wiki/Sulfuro_de_hidr%C3%B3geno

Es.wikipedia. 2006. Sitio web:
<http://es.wikipedia.org/wiki/Nitr%C3%B3geno>

Es.wikipedia. 2006. Sitio web:
http://es.wikipedia.org/wiki/Contaminaci%C3%B3n_del_aire#Metano

Es.wikipedia. 2006. Sitio web:
http://es.wikipedia.org/wiki/Sulfuro_de_hidr%C3%B3geno#General

Es.wikipedia. 2006. Sitio web:
<http://es.wikipedia.org/wiki/Fuerza>

Es.wikipedia. 2006. Sitio web:
<http://es.wikipedia.org/wiki/Presi%C3%B3n>

Fortunecity.es. 2006. Sitio web:
<http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html>

Gómez H. J. 1990. Bioquímica de las Fermentaciones. Citado en Biotecnología para el Aprovechamiento de los Desperdicios Orgánicos. Monroy H. Oscar y Gustavo Viniegra G., compiladores, 1ª edición, Ediciones A. G. T., Distrito Federal, México, pp. 44.

Groups. 2006. Sitio web:
<http://groups.msn.com/NaturalismoVirtual/biodigestoresybiogas.msnw>

Krylova,- N. I., A. Ya. Obratsova, R. Eh. Khabibullin, K. S. Laurinavichyus, R. P. Naumova y V. K. Akimenco. 1994. Microbiological aspects of fowl manure anaerobic fermentation at different temperaturas. Prikladnaya – biokhimiya - i - mikrobiologiya (Russian Federation. V. 30 (1)) pp. 156 – 160.

Mejía, A. D. 2005. "Biogas". Monografía, presentada como requisito parcial, para obtener el título de Ingeniero Mecánico Agrícola. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Members. tripod. 2006. Sitio web:
<http://members.tripod.com/Arturobola/glosa.htm>

Monroy, H. O. y G. Viniegra G. 1981. Biotecnología para el Aprovechamiento de los Desperdicios Orgánicos. 1ª edición, Ediciones A. G. T., Distrito Federal, México, pp.42 – 43.

Monografías. 1997. Sitio web:
<http://www.monografias.com/trabajos/leydeboyle/leydeboyle.shtml>

Monografías. 1997. Sitio web:

<http://www.monografias.com/trabajos29/organismos-cuenca/organismos-cuenca.shtml>

Monografías. 2005. Sitio web:

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

Oni.Escuelas.Edu.Ar. 2002. Sitio web:

http://www.oni.escuelas.edu.ar/2002/santa_cruz/biogas/beneficios.htm

Peruecologico. 2006. Sitio web:

http://www.peruecologico.com.pe/glosario_s.htm

Proyecto Fin de Carrera. 2005. Sitio web:

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

Producechiapas. 2006. Sitio web:

<http://www.producechiapas.com.mx>

Rincondelvago. 2006. Sitio web:

http://html.rincondelvago.com/biomasa_1.html

Rodríguez R. J., E. K. Atrach., E. Rumbos y A. G. Delepiani. 1997. Resultados experimentales sobre la producción de biogas a través de la bora y el estiércol de ganado. *Agronomía Trop.* 47(4):441-455. Venezuela. Sitio web:

http://www.redpav-fpolar.info.ve/agrotrop/v47_4/4704a005.html

Salonhogar. 2006. Sitio web:

http://www.salonhogar.com/ciencias/contaminacion/la_lluvia_acida.htm

Sokolovsky S. 2006. Gases Ideales. Sitio web:

http://www.soko.com.ar/Fisica/Gases_ideales.htm

Tecnovet. 2004. Sitio web:

http://www.tecnovet.uchile.cl/CDA/tecnovet_articulo/0,1409,SCID%253D11508%2526SID%253D462,00.html

Textoscientificos. 2006. Sitio web:

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

Wikipedia. 2005. Sitio web:

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

