

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA
RECINTO UNIVERSITARIO "RUBÉN DARÍO"
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**

**SEMINARIO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
LICENCIADO EN QUÍMICA**



Tema:

Obtención de Biogás a partir de la mezcla estiércol bovino– agua mediante la construcción de un Biodigestor tipo Batch a escala de laboratorio, perteneciente al Departamento de Química de la Facultad de Ciencias e Ingenierías de la UNAN – Managua, Febrero - Julio 2013.

Autores:

**Br (a). Denisse Carolina Sánchez Ruíz
Br. Frankling Alexander Calero Montano**

Tutor (a):

Lic. Margarita Matamoros

Asesor:

PhD. Danilo López

MANAGUA, SEPTIEMBRE DEL 2013

Resumen

Los biocombustibles hoy en día son una alternativa para solucionar la crisis energética en nuestro país, gran parte de la obtención de este recurso natural se encuentra en la ganadería, de manera que esta investigación propone lineamientos que son favorables para reducir costos energéticos, disminuir la contaminación del medio ambiente y dar usos adicionales a los desechos producidos en diferentes procesos naturales en el ámbito pecuario.

El estiércol de ganado vacuno es un residuo con gran contenido de nutrientes, que en combinación con agua a través de procesos anaeróbicos, y con ayuda de reactores (biodigestores), se produce gas metano, un biogás que puede ser utilizado como combustible para uso industrial o doméstico. El trabajo presente se enfatiza en evaluar la producción de metano a partir de este tipo de sustratos.

Es importante tomar en cuenta la rentabilidad de este tipo de tecnologías y biomasa reutilizable que se usan en estos procesos, por lo cual se pactico una técnica a escala de laboratorio, en donde se cuantifico las condiciones óptimas para la producción de metano a través del método por desplazamiento de NaOH, el volumen de gas producido en un biodigestor tipo batch de flujo discontinuo construido artesanalmente.

De esta manera proveer soluciones a las problemáticas presentes en el rastro MEGANICSA, el cual es el sitio de estudio de la investigación, donde la disminución de la contaminación al medio y el reciclaje de residuos, principalmente el estiércol, son los puntos a analizar para suprimir tales problemas.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis madres, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional.

✠ A mi tía Ivania, a quien quiero como a una madre, por compartir momentos significativos conmigo y porque siempre estuvo dispuesta a escucharme y ayudarme en cualquier momento.

A mi hija Nazly quien ha sido mi mayor motivación para nunca rendirme en los estudios y poder llegar a ser un ejemplo para ella.

Denisse

A Dios.

Por permitirme llegar hasta esta parte de mi vida, por darme sabiduría, humildad para lograr mis objetivos, por su infinito amor y misericordia.

A mi madre.

Quien ha sido ejemplo de trabajo arduo y humilde, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante, que me ha permitido ser personas de bien, pero más que nada, por su amor, paciencia y apoyo.

A mi familia.

A todos y cada uno de mis familiares que han contribuido con su amor y motivación, mi hermana, mi abuelo mis tías que también me han compartido en un ejemplo de amor y confianza en el transcurso de mi vida.

Frankling

AGRADECIMIENTOS

Damos gracias a nuestro Dios Jesucristo, por habernos creado y haber trazado nuestro destino, de él viene la sabiduría y la inteligencia.

Agradecemos a nuestros padres quienes nos han guiado con mucha sabiduría a lo largo de nuestra carrera y nos han enseñado que la perseverancia y honestidad siempre deben ser prioridad en la vida.

Durante estos años son muchas las personas que han participado en este trabajo y a quienes queremos expresar nuestra gratitud por el apoyo y la confianza que nos han prestado de forma desinteresada.

Agradecemos al Departamento de Química por su acogida y el apoyo recibido durante los largos y fructíferos períodos que han desarrollado en ellos nuestra labor investigadora.

A nuestros profesores, quienes han impartido un sinfín de conocimientos prácticos y teóricos a lo largo de nuestra carrera universitaria.

Y sobre todo al PhD. Danilo López, por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales y para la elaboración de este trabajo; a la Lic. María Natalia por su apoyo ofrecido en este trabajo; a la Lic. Margarita Matamoros por su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional, al Lic. Jairo López por apoyarnos en su momento.

Denisse y Frankling

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1	Residuos orgánicos de diversos orígenes	1
Anexo 2	Composición química de residuos de origen animal	1
Anexo 3	Rango de niveles de nutrientes de diversos residuos de origen animal	1
Anexo 4	Esquema general de un biodigestor de flujo continuo	2
Anexo 5	Esquema de biodigestor de flujo discontinuo	2
Anexo 6	Esquema de un sistema de biodigestión de dos etapas	2
Anexo 7	Esquema de biodigestor tipo salchicha o flujo pistón	3
Anexo 8	Biodigestor de cúpula fija o modelo chino	3
Anexo 9	Modelo Hindú de domo o campana flotante	4
Anexo 10	Composición del Biogás	4
Anexo 11	Porcentajes típicos de CH ₄ y CO ₂ para diferentes materias primas	4
Anexo 12	Combustibles Típicos y su Poder Calorífico	5
Anexo 13	Duración mínima de 1m ³ de Biogás para diferentes Artefactos	5
Anexo 14	Reacciones bioquímicas en la generación de biogás	5
Anexo 15	Etapas de la fermentación metánica	6
Anexo 16	Formación de los monómeros en la hidrólisis	6
Anexo 17	Degradación Acidogénica (del Piruvato)	7
Anexo 18	Reacciones Acetogénicas	7
Anexo 19	Degradación Acetogénica	8
Anexo 20	Tipos de fermentación y rangos de trabajo	8
Anexo 21	Valores de pH para la Producción del Biogás	8
Anexo 22	Rastro MEGANICSA	9
Anexo 23	Método para determinar metano por desplazamiento	10
Anexo 24	Proceso de construcción del biodigestor tipo batch	14
Anexo 25	Entrada de las Reses de Destace al Rastro	15
Anexo 26	Reses de crianza pertenecientes al rastro Meganicsa	15
Anexo 27	Reses listas para el sacrificio	15
Anexo 28	Área de desagüe de los desechos líquidos	16
Anexo 29	Área de recepción de los desechos líquidos	16
Anexo 30	Canal de desagüe	17
Anexo 31	Pilas de recolección de los desechos sólidos	17
Anexo 32	Reactivos utilizados	18
Anexo 33	Pesaje de la muestra	18
Anexo 34	Materia prima pesada	18
Anexo 35	Preparación de la mezcla estiércol-agua	19
Anexo 36	Mezcla homogenizada	20
Anexo 37	Preparación de la solución de NaOH	20
Anexo 38	Soluciones de NaOH agregado a las botellas de vidrio	20
Anexo 39	Gotas de fenolftaleína agregadas a la solución de NaOH	21
Anexo 40	Sistema de bioconversión y medición instalado	21
Anexo 41	Desplazamiento de la solución de NaOH	22
Anexo 42	Biodigestores generando biogás	22
Anexo 43	Medición del volumen de NaOH desplazado	23
Anexo 44	Prueba de combustión	23

SIMBOLOGÍA

CH₄	Metano
O₂	Oxígeno
CO₂	Dióxido de carbono
H₂O	Agua
H₂S	Sulfuro de hidrogeno
NH₃	Amoníaco
H	Hidrógeno
C	Carbono
N	Nitrógeno
K	Potasio
P	Fósforo
Mg	Magnesio
S	Azufre
Fe	Hierro
CH₃-COOH	Ácido acético
NaOH	Hidróxido de sodio
P₂O₅	Pentóxido de difósforo
K₂O	Oxido de potasio
CaO	Oxido de calcio
MgO	Oxido de magnesio
HCOO	Ácido metanoico
CH₃	Metilo
(CH₃)₂	Etano
NH₂⁺	Amina
(CH₃)₃NH⁺	Trimetilamina
CH₃SH	Metanotiol

LISTA DE SIGLAS QUE SE UTILIZAN EN ESTE DOCUMENTO

°C	Grados centígrados
Kcal	Kilo calorías
C/N	Relación Carbono Nitrógeno
G	Gramo
Kg	Kilogramo
mL	Mililitro
m ³	Metro cúbico
KWh	Kilowatt hora
Kw	Kilowatt
pH	Potencial de Hidrógeno
TR	Tiempo de Retención
GTZ	Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit
IDA	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
ODEPA	Oficina de Estudios y Políticas Agrarias
UCA	Universidad Centro Americana
RUPAP	Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios

ÍNDICE

APARTADO I

ASPECTOS GENERALES

1.1	Introducción	1
1.2	Objetivos	2
1.2.1	Objetivo general	2
1.2.2	Objetivos específicos	2
1.3	Planteamiento del problema	3
1.4	Justificación	4
1.5	Antecedentes	5

APARTADO II

MARCO DE REFERENCIA

2.1	Biomasa	7
2.2	Materia Prima	7
2.2.1	Naturaleza y composición bioquímica de materias primas	7
2.2.2	Composición del estiércol	8
2.2.3	Tipos de estiércol de bovino	9
2.3	Definición de una planta de biogás o biodigestor	9
2.3.1	Diseño de un biodigestor	10
2.3.2	Utilidad de un biodigestor	10
2.3.3	Tipos de biodigestores	11
2.3.4	Características de operación de un biodigestor	16
2.4	Biogás	16
2.5	Calidad del Biogás	17
2.5.1	Características del biogás	17
2.5.2	Utilización del biogás	17
2.5.3	Factores que afectan la producción de biogás	18
2.6	Reacciones bioquímicas en la generación de biogás	18
2.6.1	Reacciones biológicas (Digestión Anaeróbica)	19
2.6.2	Hidrólisis	20
2.6.3	Bacterias presentes en la hidrólisis y ácido glicólico	21
2.7	Factores Influyentes en la Digestión Anaerobia	22

APARTADO III

HIPÓTESIS	26
------------------	-----------

APARTADO IV

DISEÑO METODOLÓGICO

4.1	Tipo de Estudio	28
4.2	Descripción del ámbito de estudio	28
4.3	Población	28
4.4	Muestra	28
4.5	Criterios para selección de muestra	28

4.6	Preservación y toma de muestra de muestra	29
4.7	Criterios de inclusión	29
4.8	Criterios de exclusión	29
4.9	Variables	29
4.10	Operacionalización de las variables	30
4.11	Materiales y métodos	31
4.11.1	Método	32

APARTADO V

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS 35

5.1	Resultados	36
5.2	Análisis de los resultados	37

APARTADO VI

CONCLUSIONES 42

APARTADO VII

RECOMENDACIONES 44

APARTADO VIII

BIBLIOGRAFÍA 46

APARTADO XI

ANEXOS 1-23 **GLOSARIO**

Apartado I

ASPECTOS GENERALES

1.1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la sociedad humana está basado en el consumo de grandes cantidades de energía. Los principales recursos energéticos utilizados (carbón, petróleo y gas natural) son limitados y por lo tanto, pueden agotarse, además, su utilización provoca un gran impacto ambiental en la biósfera al contaminar aire, agua y suelo. Estos hechos han generado un interés creciente por el desarrollo de nuevas tecnologías para la utilización de alternativas fuentes de energía renovables (*Flotats et al., 2000, pág. 12-15*).

A la vista de estos inconvenientes se han puesto en marcha, diversos proyectos de investigación sobre otras fuentes de energía que puedan resultar rentables, es decir, menor dependencia del mercado convencional, desarrollo de la economía local y creación de puestos de trabajo. En el mercado de los energéticos, el biogás compite con la leña, el gas propano, kerosene, velas y la electricidad en la iluminación, sobre todo en lugares donde el servicio es deficiente o no existe.

Existen diversos procesos para convertir la biomasa en energía, estos procesos utilizan las características bioquímicas de la biomasa y la acción metabólica de los microorganismos para producir combustibles, siendo el más importante la digestión anaerobia, proceso en que la biomasa a través de las bacterias generan un gas combustible llamado biogás (Metano).

Esta investigación está basada en evaluar las condiciones óptimas del estiércol /agua para la producción de biogás, tomando en cuenta que la instalación del sistema de bioconversión sea efectivo a escala de laboratorio y posteriormente estimar el medio óptimo estiércol/agua de bovino para producir el biogás.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Obtener biogás a partir de estiércol bovino - agua mediante la construcción de un biodigestor tipo Batch de flujo discontinuo a escala de laboratorio.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Construir un Biodigestor tipo Batch a escala de laboratorio.
2. Identificar las condiciones óptimas de estiércol-agua para la producción de metano.
3. Calcular la cantidad de gas metano producido en la mezcla estiércol – agua, mediante la técnica de desplazamiento volumétrico de la solución de NaOH y de agua destilada.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El biogás es un gas de origen biológico, cuyos principales componentes son el metano y dióxido de carbono, que se producen como resultado de la fermentación anaeróbica (ausencia de aire) de la materia orgánica provocada por grupos de microorganismos.

En forma natural se encuentran una gran variedad de residuos orgánicos que pueden producir biogás, tales como los desechos de animales, entre ellos el estiércol de bovino, que es el residuo de mayor producción en el proceso de matanza y crianza en los rastros, y que provocan focos de contaminación al medio ambiente.

Ante esta problemática se pretende generar biogás a través de un biodigestor construido a escala de laboratorio, que provea combustible como una alternativa efectiva de convertir la biomasa en energía utilizable a nivel industrial y doméstica, de esta manera, utilizar de modo provechoso este residuo que es desechado por los rastros.

Todo esto lleva a considerar que las construcciones de biodigestores en las unidades de producción agrícola del país, tienen un impacto positivo en la conservación y protección del medio ambiente, además permiten la utilización de desechos, como materias primas, para usarse como fuentes de energía alterna. Igualmente maximizando el uso de los pastos, y liberando al suelo de contaminantes que pueden ser arrastrados a fuentes acuíferas.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El biogás radica específicamente en dos aspectos fundamentales son: la fácil obtención de la materia prima (estiércol de cerdo, de ganado, heces humanas, desperdicios vegetales e industriales) y el bajo costo de elaboración del biodigestor.

Con el uso de biodigestores se contribuirá al mejoramiento de una serie de problemas que enfrenta nuestro país tanto en el sector rural como urbano, entre los que se destacan: quema y despale de los bosques, el calentamiento regional y global debido al efecto invernadero que provocan las sustancias de desechos biodegradable, la muerte de los organismos descomponedores de la materia, lo que conlleva a la infertilidad, degradación y desertificación de los suelos, la destrucción de las fuentes acuíferas, la contaminación de los mantos de agua, en fin, todos los perjuicios que le causamos al planeta.

Tomando en cuenta que de este modo protegeríamos nuestro medio ambiente, podemos destacar otros beneficios como:

- Mejora las condiciones higiénicas.
- Uso del gas metano como fuente alternativa.
- Reducción de la importación de petróleo y fertilizantes químicos.
- Protección del medio ambiente y salud.
- Uso del bioabono.

Cabe mencionar que el biogás es más barato a largo plazo que la leña, menos contaminante, con más aplicaciones y utilidades, puesto que con inversiones adicionales se puede obtener hasta energía eléctrica. Además el material de desecho que queda al final es un poderoso fertilizante, que está listo para ser utilizado a lo inmediato.

El país necesita tecnologías amigables con el medio ambiente, por ende la unidad de producción agropecuaria, requiere maximizar el uso de estos recursos. Este tipo de tecnología es una muestra clara de que nada en el mundo puede considerarse como desecho inutilizable.

1.5 ANTECEDENTES

El interés científico en los gases producidos por la descomposición natural de la materia orgánica, fue divulgado por primera vez en el siglo XVII por Robert Boyle, que observó que había gas inflamable en el sedimento de los lagos.

En 1808, Dalton, Henry y Davy producen gas metano (principal componente del biogás). En un laboratorio, Davy consigue determinar que el metano estaba presente en los gases producidos por el abono del estiércol de ganado. Se toma este acontecimiento como el inicio de la investigación en biogás.

El primer digestor anaerobio fue construido por una colonia en Bombay, La India en 1859 para el tratamiento de excretas humanas, y el biogás que en ella se generó fue utilizado para el alumbrado, siendo este el desarrollo de pequeñas plantas de biogás en medios rurales que comenzó en los años 50 del siglo XX. Pero no fue hasta los años 70 cuando gracias a una fuerte inversión del gobierno que da un fuerte despegue.

De este modo, hoy en día, existen más de un millón de plantas de biogás en la India También en Inglaterra, en 1904, se construyó el primer tanque de doble finalidad: para sedimentación y tratamiento del lodo, este fue instalado en Hampton.

La historia de la investigación y utilización del biogás prosigue en China cubriendo un periodo de más de 50 años. Las primeras plantas de biogás fueron instaladas en los años 40 del siglo XX por familias prósperas de la época. Luego, desde los años 70 en adelante, la investigación del biogás fue evolucionando de manera rápida y fue promocionada intensivamente por medio del gobierno chino.

Por ende la dispersión y expansión del biogás ganó terreno gracias a la necesidad de buscar fuentes alternativas de energía tras los destrozos ocasionados por la crisis de energía o, más tarde, con el cambio del precio de la electricidad.

Siendo la India y China los fuertes programas de desarrollo y expansión, los que ayudaron a que creciera en masa la tecnología del biogás. La experiencia histórica en Alemania, China e India demuestran claramente, como el desarrollo de la tecnología del biogás es favorable en diferentes condiciones.

En Nicaragua, existen proyectos similares, donde se ha desarrollado seminarios de capacitación y orientación en la zona de Nueva Guinea, San Marcos y en otros departamentos del país. Este proyecto es liderado por la Universidad Centroamericana, UCA.

En el departamento de chontales ha habido algunos esfuerzos dispersos, siendo el propósito fundamental de este proceso mostrar y acercar estas tecnologías a nuestros productores, campesinos y a todos los sectores interesados en ser beneficiados directamente o indirectamente, con la implementación de este tipo de tecnologías.

En la UNAN Chontales, ya existe un estudio previo desde el punto de vista técnico científico para la construcción de biodigestores, sobre la base de estos aportes teóricos, se pensó desarrollar éste proyecto, de construir un biodigestor a escala de laboratorio demostrando que es una buena alternativa para el beneficio de los ciudadanos.

El biogás y su tecnología están presentes en Nicaragua desde mediados del siglo XX donde la corporación GTZ entre otros incluyó en su plan de esparcimiento la tecnología del biogás. La información sobre proyectos llevados a cabo es escasa, pero si se sabe que ha habido proyectos, tanto públicos como privados que se han realizado y que funcionan hoy en día en diferentes zonas del país utilizando esta tecnología, desde pequeños biodigestores caseros de bajo coste a algunas industrias que ya los tienen implementados.

En el RUPAP hubo un proyecto de biogás a principios de los años 90 con ayuda de la cooperación alemana, donde se construyeron dos biodigestores, uno de campana flotante y otro tipo chino, pero poco después de que la cooperación finalizase su apoyo al proyecto y por diferentes circunstancias, el proyecto se vino abajo por falta de continuidad y los biodigestores quedaron en desuso.

Con respecto a nuestros objetivos, hemos encontrado antecedentes que proponen cuantificaciones de los volúmenes de CH₄ que puede producir un biodigestor en distintas proporciones. Jaimes Yessica, en Agosto de 2010, en la Universidad nacional experimental “Francisco de Miranda”, Pasantilla industrial 1, cuantifico un volumen de 81 litros de CH₄ medidos por el método de desplazamiento de NaOH, utilizando estiércol de ganado porcino, en tres biodigestores con proporciones 1:3 cada uno.

La tecnología del biogás ya es algo conocida en Nicaragua, pero con niveles de uso e implantación muy bajos. El gobierno actual llevo a cabo el proyecto de entregar biodigestores tubulares a 139 familias campesinas de los departamentos de Nueva Segovia y Madriz, las cuales han sido beneficiadas con la instalación de estos y una cocina de un quemador, con diseños de uso doméstico.

Estos biodigestores han sido contruidos e instalados por técnicos de La Empresa Nicaragüense de Alimentos Básicos (ENABAS), en los últimos cinco meses y la capacidad de producción diaria por cada biodigestor es 1.2 metros cúbicos de biogás.

Apartado II

MARCO DE REFERENCIA

2.1 Biomasa

La biomasa es el nombre dado a cualquier materia orgánica de origen reciente derivado de animales y vegetales como resultado del proceso de conversión fotosintético. La energía de la biomasa se deriva del material vegetal y animal, tal como madera de bosques, residuos de procesos agrícolas, forestales, y de la basura industrial, humana o animal, (*CNE/GTZ (2007)*).

En general cualquier substrato puede ser utilizado como biomasa en cuanto contengan carbohidratos, proteínas, grasas, celulosa y hemicelulosa como componentes principales. Para seleccionar la biomasa se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- El contenido de sustancias orgánicas debe ser el apropiado para el tipo de fermentación elegido.
- El valor nutricional de la sustancia orgánica se relaciona directamente con el potencial de formación de biogás, por ende se busca que sea lo más alto posible.
- El substrato debe estar libre de agentes patógenos que puedan inhibir el proceso de fermentación.
- El contenido de sustancias perjudiciales o tóxicas debe ser controlado para permitir una tranquila evolución de la fermentación.
- Es importante que el resultado final del substrato (después de haber aprovechado la fermentación para generar biogás) sea un desecho utilizable como por ejemplo fertilizante.

2.2 Materia Prima

2.2.1 Naturaleza y composición bioquímica de materias primas.

Las diversas materias primas que se pueden utilizar en la fermentación metanogénica, pueden ser residuos orgánicos de origen vegetal, animal, agroindustrial, forestal, doméstico u otros, ver anexo 1 el cual muestra los residuos orgánicos de diversos orígenes.

Las características bioquímicas que presentan estos residuos deben permitir el desarrollo y la actividad microbiana del sistema anaeróbico. El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio de 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, compostaje) a fin de liberar las sustancias factibles de ser transformadas de las incrustaciones de lignina. En el caso de 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 del estiércol presentan grandes diferencias. Esto es debido al sinnúmero de factores que pueden intervenir en el proceso, que hacen difícil la comparación de resultados.

El contenido de agua de estas diversas materias primas varía entre 10 a 90% del peso fresco del residuo, dependiendo de la edad, órgano del residuo, y formas de obtención. Los componentes orgánicos de estos residuos son variados y corresponden aproximadamente a un 50% del peso fresco, en función del contenido de agua y de las cenizas.

En el anexo 2 se presenta la composición química de residuos de origen animal y en el anexo 3, se muestran los rangos de niveles de nutrientes. Los minerales presentes como calcio, potasio, magnesio, fósforo, azufre y elementos trazas son del orden de 1 a 10% del peso seco.

2.2.2 Composición del estiércol.

La mezcla líquida (estiércol, orina y agua con un contenido de materia seca de 5-12%) puede usarse para la producción de biogás. Esto no cambia esencialmente la composición del estiércol desde un punto de vista medioambiental. Es un proceso de producción de energía. El contenido de materia seca del estiércol se incrementa un poco y se reduce el olor pero todos los minerales (Nitrógeno, Fosforo y Potasio) todavía están presentes en la mezcla de estiércol.

El estiércol de bovino es una rica y compleja sustancia formada principalmente por celulosa y agua. Que son capaces de convertirse mediante digestión anaerobia en Biogás. Las excretas animales contienen un alto porcentaje de polímeros naturales como carbohidratos, proteínas, péptidos y compuestos aromáticos, los cuales mediante las diferentes etapas del proceso de digestión anaerobia son hidrolizados y fermentados.

También contienen una variada población de microorganismos, los cuales intervienen en la descomposición del estiércol, convirtiéndose en dióxido de carbono, nitratos, nitritos, amoníaco, metano y agua acompañado por la síntesis de compuestos húmicos de alto peso molecular, en cuyos procesos también participan animales invertebrados, larvas e insectos.

2.2.3 Tipos de estiércol de bovino:

- **Estiércol fresco:** el estiércol fresco, acabado de producir por el bovino tiene una consistencia pastosa, de color verde encendido, de olor insoportable, debido a que su pH es altamente alcalino. Este tipo de estiércol es el más recomendado para la producción de biogás y del cual se utilizó para la prueba de obtención del biogás a escala de laboratorio.
- **Estiércol maduro:** este estiércol más o menos de 2 a 5 meses de haberse producido por el animal, tiene consistencia semi-pastosa, de color verde oscuro o pardo, su olor es soportable, y el pH se encuentra entre un rango de 7.0 y 8.0.
- **Estiércol viejo:** este estiércol más o menos de seis meses de haber sido producido tiene consistencia pastosa y dura, desmoronándose al apretarse con la mano. No presenta prácticamente ningún olor, ya que su pH es altamente ácido.

2.3 Definición de una planta de Biogás o Biodigestor

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

En un biodigestor se depositan los desechos mezclados con agua. Estos desechos pueden ser:

- ✓ Excrementos de animales
- ✓ Excremento de humanos
- ✓ Desechos vegetales
- ✓ Residuos agroindustriales tales como aserrín, desechos de tabaco, cascarilla de arroz.
- ✓ Residuos forestales como ramas, cortezas, hojas, etc.

En el digestor de fermentación tiene lugar la descomposición de las materias orgánicas por bacterias, con exclusión del aire formándose: el biogás y el cieno de pudrición inodoro.

Con el biogás producido se puede cocinar, accionar motores y lámparas de alumbrado. El cieno de pudrición es un valioso fertilizante utilizado en el campo y el jardín. En china ya existen más de 7, 000,000 de plantas de biogás y en la india 70,000, aproximadamente las cuales abastecen a un mismo número de hogares con gas.

Con los excrementos de 2-4 vacas la planta de biogás produce 2-3m³ de gas por día. Esta cantidad es suficiente para una gran familia compuesta de 4-6 personas, utilizable para cocinar y encender las lámparas por las noches.

2.3.1 Diseño de un biodigestor

El diseño de un biodigestor depende directamente de varios parámetros tales como la temperatura ambiente media del lugar donde se vaya a instalar. La temperatura marcará la actividad de las bacterias que digieren el estiércol, y cuanto menor temperatura, menor actividad tendrán éstas, y por tanto será necesario que el estiércol esté más tiempo en el interior del biodigestor.

De esta forma la temperatura marca el tiempo de retención. Por otro lado, la carga diaria de estiércol determinará la cantidad de biogás producido por día. La carga de estiércol diaria, junto con el tiempo de retención (determinado por la temperatura), determinarán el volumen del biodigestor.

Una cualidad de esta tecnología es que es adaptable a muchas situaciones, y su diseño puede considerar diferentes criterios:

- Criterios de necesidad de combustible
- Criterios de necesidades medioambientales (cuando se desea tratar todo el estiércol generado)
- Criterios de un fertilizante natural
- Criterios de límite de estiércol disponible

Según cuál sea el objetivo del biodigestor; proveer de combustible, generar un buen fertilizante o depurar residuos orgánicos, unos parámetros u otros serán los que definan la metodología de cálculo del biodigestor.

Es importante añadir en este punto que un biodigestor también puede digerir las aguas negras producidas en una letrina, pero que para ello se deberán considerar factores extra, como son el uso limitado del fertilizante y el tamaño del biodigestor.

2.3.2 Utilidad de un biodigestor

Beneficio directo para el área campesina

- Fuego y luz

Con el biogás se ahorran los gastos de kerosén, carbón vegetal, gas licuado, y ya no es necesario utilizar leña para quemar.

- Fertilizantes para el campo

El cieno de pudrición permite una productividad en un 10-20% mayor que con estiércol natural. La planta de biogás es especialmente ventajosa para los que empleaban hasta ahora el estiércol de vaca como material combustible, pues con esta planta se produce gas y abono.

- Higiene y salud

El gas arde sin formar humo, contribuyendo a reducir las enfermedades de los ojos. El cieno de pudrición apenas contiene agentes patógenos, no tiene olor, por lo que hay menos moscas y por lo tanto menos enfermedades, resultando así mejores cosechas.

- Beneficios para todo el país

Se cortan menos árboles, ya que estos retienen el agua del suelo, por lo que hay menos sequedad, más agua subterránea, menos erosión y más hierbas. Esto evita inundaciones y que los campos se pueden explotarse mejor.

- Se pueden ahorrar las divisas al reducir las exportaciones de kerosén, abonos químicos o plaguicidas.
- Se crean puestos de trabajo.

Estos beneficios para el país resultan eficaces, cuando en el mismo exista un gran número de plantas de biogás, entonces habrá verdaderamente menos enfermedades, más árboles, y menos plagas. Pero cada una de estas plantas es un paso más hacia el bienestar general.

2.3.3 Tipos de biodigestores

Los diferentes sistemas de biodigestión anaeróbica se clasifican en función del tipo de materia, el tiempo en que la degradan y el proceso de carga de la materia.

Cada sistema posee características de funcionamiento distintas y su diseño, en la búsqueda de una mayor eficiencia, ha evolucionado con el tiempo. Existen diferentes clasificaciones de sistemas de biodigestión pero, de manera general, se pueden clasificar según el proceso de carga de la materia (agua residual, excretas).

a) Sistemas continuos

Se caracterizan porque el afluente o flujo de materia que ingresa es constante, la disposición de biomasa para alimentar estos sistemas es prácticamente diaria y los tiempos en que esta se retiene son menores en comparación a los sistemas discontinuos.

En esta clasificación caben diferentes sistemas de biodigestión, como biodigestores de mezcla completa, filtro anaerobio, plantas de lecho fluidizado, lecho de lodos, biodigestores tubulares (tipo salchicha) biodigestores de cúpula fija y móvil, entre otros. Algunos de estos sistemas son complejos, pero conocerlos es

importante ya que estos sistemas de biodigestión son muy utilizados para tratar residuos en general. Los tiempos en que se retiene la materia orgánica y el agua residual dentro del biodigestor dependerán del diseño, ver anexo 4 el cual muestra un esquema general de un biodigestor de flujo continuo.

b) Sistemas discontinuos

Poseen la característica de que el afluente o materia orgánica se mantiene por tiempos prolongados dentro de la cámara de biodigestión, se cargan una sola vez en forma total y la descarga se efectúa una vez que ha dejado de producir gas combustible.

Normalmente consiste en tanques herméticos con una salida de gas conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás. Este sistema es aplicable cuando la materia a procesar está disponible en forma intermitente (*Prácticas-ITDG*).

En este tipo de sistemas se pueden instalar varios biodigestores en serie que se llenan en diferentes tiempos o épocas, esto permite que la producción de biogás sea constante, ya que cada uno de los biodigestores estará operando en distinta etapa.

Este tipo de biodigestores es eficaz para la digestión de materiales celulósicos, que no pueden ser tratados en los digestores de tipo continuo debido al posible taponamiento de los conductos de alimentación y salida. Su utilización no está muy difundida (*Jorge A. Hilbert, s.f.*). En el anexo 5 se muestra el esquema de este tipo de biodigestor.

c) Sistemas de dos etapas

Este sistema consta de dos biodigestores en serie como se muestra en el anexo 6, en cada uno de ellos se realizan diferentes etapas de degradación.

En el primer biodigestor se aplican elevados tiempos de retención y resultado de esto se desarrolla la hidrólisis y la etapa ácido génica de la materia orgánica. Una vez terminado este proceso, el efluente es trasladado a un segundo biodigestor con tiempos de retención bajos, este último se encarga de terminar el proceso de descomposición (etapa metano génica) y producir el biogás.

Ha sido aplicado con éxito para tratar residuos sólidos cuya etapa limitante es la hidrólisis. (Frutas, verduras, residuos sólidos urbanos, de ganado vacuno, etc.). (*IDA, 2007*).

Algunos de los biodigestores que se incluyen en la clasificación antes descrita no son muy utilizados a pequeña y mediana escala, y son tecnologías que están orientadas específicamente al tratamiento de aguas residuales. Es probable que no se implementen en una eco empresa pequeña o mediana.

Debido a lo anterior, se hace énfasis en los tipos de biodigestores que son más conocidos por la población en general, que históricamente han sido aplicados a pequeña y mediana escala y que, en la actualidad, su aplicación es factible para las eco empresa. A continuación se presentan dichos modelos de biodigestores:

e) Biodigestor tubular

Estos sistemas de biodigestión son conocidos también como biodigestores tipo salchicha o taiwanés como se presenta en el anexo 7, se caracterizan por ser sistemas continuos fabricados de goma, y polietileno.

Es un sistema estacionario, con formas alargadas, donde el flujo de líquido es continuo, significa que cada fracción de líquido que entra en el biodigestor no se mezcla con la fracción posterior. Debido a las características del flujo continuo, las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas del flujo cambian a medida que avanzan dentro del biodigestor; por lo tanto, la producción de biogás es distinta en cada sección del sistema.

Este tipo de biodigestor se utiliza en afluentes donde la concentración de micro-organismos es elevada, y ha sido aplicado en diferentes tipos de residuos: municipales, porcinos y bovino. El biodigestor tipo salchicha es sencillo y económico, apropiado para las granjas pequeñas, posee tuberías de entrada y salida de las aguas residuales y como elemento fundamental una bolsa de polietileno que sirve de biodigestor.

Una de las dificultades de este sistema es la falta de homogenización debido a la distribución horizontal de fluido, lo cual se puede evitar con la aplicación de un sistema de agitación transversal: reintroducción de biogás en la base del digestor si es horizontal (*IDAE, 2007*) o bien se puede introducir el agua residual en diferentes puntos del biodigestor (piso de la bolsa) para que exista una mejor mezcla.

La vida útil de estos sistemas es de 10 a 15 años y es importante mencionar que esta vida útil depende de variables como: calidad de los materiales utilizados en su construcción, diseño elaborado por profesionales, medidas de protección al sistema (muro perimetral, techo al biodigestor), forma de operarlo, entre otros.

Ventajas

- Prefabricación estandarizada se obtiene a bajo costo.
- Uso sobre el nivel de tierra, es factible en lugares con alto nivel de las aguas subterráneas.
- Se obtienen altas temperaturas de digestión en áreas cálidas.
- Fácil de limpiar, mantener y vacía.

Desventajas

- Baja presión de gas por lo que se requieren bombas de gas.
- No se puede eliminar la parte sólida en la superficie del sustrato a digerir durante la operación.

f) Biodigestor de cúpula fija

Alrededor de 7 millones de sistemas de biodigestión de este tipo han sido construidos en China, los cuales son fabricados de distintas formas y capacidades, con diferentes materiales; pero tienen un diseño básico en el que el biogás es colectado en una cúpula fija (*IDAE, 2007*).

Este tipo de biodigestor el cual se muestra en el anexo 8, está compuesto por un registro de carga, el digestor y un tanque de compensación.

Este biodigestor se caracteriza por tener una forma cilíndrica y estar enterrado, lo cual favorece el proceso de fermentación, ya que existe poca influencia por los cambios de temperatura. Este modelo de biodigestor se construye con ladrillos o con bloques, debido a ello es importante tener mano de obra calificada (albañiles) para poder construirlo y seguir el diseño que han elaborado los expertos en sistemas de biodigestión.

El funcionamiento de este sistema es sencillo, en una primera caja de registro se realiza la mezcla de la materia orgánica, que es transportada a través de tuberías hacia una cámara de digestión.

Una vez que la materia orgánica entra en el sistema, se retiene por un tiempo determinado para que los micro-organismos realicen todo el proceso de fermentación; esto permite tratar el afluente disminuyendo su carga contaminante y generando dos subproductos: el primero es el biogás, que se almacena en la cúpula fija del sistema y se capta y transporta por medio de tuberías; el segundo es un biofertilizante, que es un fluido semisólido que sale del sistema por medio de tubería hacia una caja de descarga donde se recolecta.

Una desventaja de este sistema es que la presión del biogás generado es muy variable, ya que la presión depende del volumen de materia (agua residual, excretas) que se encuentra dentro de la cámara de digestión. Este sistema ha sido bastante aplicado para tratar excretas humanas, bovinas, porcinas, a pequeña y mediana escala.

Ventajas

- Tiene bajo costo y larga vida útil.
- No posee componentes móviles y partes oxidables.
- El diseño es básico, no requiere de mucho espacio y se encuentra bien aislado.
- La construcción crea oportunidades de trabajo localmente (*ODEPA, 2009*).

Desventajas

- Cúpula de gas requiere de impermeabilizante especial y conocimiento técnico para la construcción impermeable del biodigestor.
- Fugas de gas ocurren frecuentemente.
- La presión del biogás es variable y eso complica su uso.
- La Cantidad de biogás generado no es inmediatamente visible.
- La excavación puede resultar costosa en suelos muy rocosos (*ODEPA, 2009*).

h) Biodigestor de campana flotante o tipo hindú

Este sistema es muy parecido al biodigestor tipo chino, su componente principal es una campana de acero que tiene la característica de flotar en el biodigestor; a medida que el biogás que se genera ejerce presión sobre esta cúpula, esta sube almacenando el biogás que se produce dentro del biodigestor.

Los componentes que conforman este sistema son: una caja de registro donde se disponen todos los desechos, un sistema de tuberías que transporta el afluente directamente a la cámara de digestión, lugar donde ocurre la fermentación de la materia orgánica y se produce el biogás.

Por último, tiene otra sección de tuberías que dirige el efluente tratado fuera del sistema para ser recolectado y utilizado como biofertilizante. A diferencia de la campana flotante que se construye de acero, el resto de los componentes del sistema son construidos con materiales convencionales (ladrillos, bloques, entre otros).

La cúpula de acero del sistema garantiza una presión constante del biogás, el cual se transporta por medio de tuberías hacia el lugar donde se usará o hacia un reservorio. Este biodigestor ha sido utilizado para tratar excretas de ganado bovino y porcino. Ver anexo 9 donde se muestra el modelo de este tipo de biodigestor.

Ventajas

- Es fácil de operar.
- Genera biogás a presión constante y la cantidad es rápidamente visible por la posición de la cúpula de gas (*ODEPA, 2009*).
- Es impermeable.

Desventajas

- Se debe remover el óxido de la cúpula y aplicar pintura regularmente.
- La vida útil de la cúpula de acero es relativamente corta (sobre 15 años, pero en regiones costeras tropicales alrededor de cinco años).
- Es limitado al uso de ciertos sustratos ya que la cúpula flotante tiende a quedar atascada en sustratos fibrosos (ODEPA, 2009).

2.3.4 Características de operación de un digestor

Para que un digestor de residuos orgánicos opere en forma correcta, deberá reunir las siguientes características:

- Ser hermético con el fin de evitar la entrada de aire, el que interfiere con la digestión anaeróbica y a la vez, impedir las fugas del biogás producido.
- Estar térmicamente aislado para evitar cambios bruscos de temperatura, lo que usualmente se consigue construyéndolos enterrados.
- Aun no siendo en recipiente de alta presión, el contenedor primario de gas deberá contar con una válvula de seguridad.
- Contar con medios para efectuar la carga y descarga del sistema.
- Tener acceso para el mantenimiento.
- Contar con un medio para romper las natas o costras que se forman.

2.4 Biogás

El biogás es el gas que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos (bacterias metanogénica, etc.), y otros factores, en ausencia de oxígeno (esto es, en un ambiente anaeróbico).

El producto resultante está formado por metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO) y otros gases en menor proporción. En el anexo 10 se presenta una tabla de la composición media del biogás

El gas debe de usarse como combustible sólo cuando el metano se encuentra en concentraciones mayores o iguales al 50 %; con un contenido de metano mucho menor del 50 %, el biogás deja de ser inflamable. El poder calórico promedio de un metro cúbico de biogás es de cinco mil kilocalorías, lo que permite generar entre 1,3-1,6 kWh, lo cual equivale a medio litro de petróleo, aproximadamente.

El biogás puede ser utilizado como cualquier otro combustible, tanto para la cocción de alimentos, en sustitución de la leña, el queroseno, el gas licuado, también para el alumbrado, mediante lámparas adaptadas al biogás.

Mezclas de biogás con aire, en una relación 1:20, forman un gas detonante altamente explosivo, lo cual permite que también sea empleado como combustible en motores de combustión interna adaptados.

2.5 Calidad del Biogás

2.5.1 Características del biogás

El producto principal de la digestión anaerobia es el biogás, mezcla gaseosa de metano (50 a 70%) y dióxido de carbono (30 a 50%), con pequeñas proporciones de otros componentes (nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno) y cuya composición, depende tanto de la materia prima como del proceso en sí. Aunque la composición del biogás depende de muchas variables, es posible determinar un rango típico de sus componentes (*Flotats, 2000*).

La materia orgánica, constituye el sustrato fundamental para la producción de biogás. El material de fermentación puede ser de origen animal, tales como estiércol de ganado vacuno, cerdos, ovejas, caballos, aves, otras de origen vegetal, tales como pulpa de café, hojas de papa, desechos de banano, remolachas, cascarilla de arroz entre otras; desechos de cultivos acuáticos como algas marinas, maleza acuática y de origen doméstico, aguas residuales de letrina y cocina, sin contenido de jabón (*Flotats, 2000, pág. 12-15*), variando su porcentaje de metano según se muestra en el anexo 11.

El biogás es un poco más liviano que el aire y posee una temperatura de inflamación de alrededor de los 700 ° C (Diésel 350 ° C, gasolina y propano alrededor de los 500 ° C), la temperatura de la llama alcanza 870 ° C (*Chinoweth, 2002*).

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

El poder calorífico del biogás es de 5500 Kcal/m³, es decir, 1 m³ de biogás puede reemplazar 0.46 kg de gas propano, 0.71kg de gasolina, o 3 kg de leña como se puede observar en el anexo 12 la tabla de combustibles típicos y su poder calorífico. Además 1m³ de biogás equivale a 3 KW-h/m³, todo esto dependiendo del porcentaje de metano existente en el gas (*Cofré, 2001, pág. 86- 99*).

2.5.2 Utilización del biogás

A pequeña y mediana escala, el biogás ha sido utilizado en la mayor parte de los casos para cocinar en combustión directa, sin embargo también puede ser utilizado para iluminación, calefacción, como reemplazo de la gasolina o el diésel en motores de combustión interna, operar maquinaria agrícola o bombear agua (*Veeken, 2002*).

El poder calorífico aprovechable depende del rendimiento de los quemadores o de los aparatos. Se debe tener especial cuidado con el ácido sulfhídrico del biogás, ya que ocasiona corrosión prematura en los equipos, por esta razón es necesario colocar una trampa de limadura de hierro en la línea de transporte del biogás (Cofré, 2001, pág. 86 -99).

La cámara de combustión y los quemadores deben estar hechos de acero especial o de esmalte. Para la utilización del gas en motores no es necesario filtrar el biogás, la presión del gas puede ser baja, pues los motores lo succionan, tampoco es rentable licuar el biogás. Las tuberías de gas pueden estar hechas de acero, cobre, caucho o plástico (Cofré, 2001, pág. 86 -99), ver anexo 13 donde se muestra la tabla de la duración de 1 m³ de biogás para diferentes artefactos.

2.5.3 Factores que afectan la producción de gas

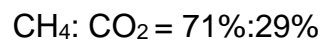
La actividad metabólica involucrada en el proceso metanogénico se ve afectada por diversos factores. Debido a que cada grupo de bacterias que intervienen en las distintas etapas del proceso responde en forma diferencial a esos cambios, no es posible dar valores cualitativos sobre el grado en que afectan cada uno de ellos a la producción de gas en forma precisa. Entre los factores más importantes a tenerse en cuenta se desarrollarán los siguientes:

- a) Tipo de sustrato (nutrientes disponibles)
- b) temperatura del sustrato; la carga volumétrica
- c) nivel de acidez (pH)
- d) relación Carbono/Nitrógeno
- e) concentración del sustrato; el agregado de inoculantes
- f) grado de mezclado

2.6 Reacciones bioquímicas en la generación de biogás

Los productos generalmente obtenidos son los que se observan en el anexo 14 el cual contiene las reacciones que se generan en la producción de biogás.

En términos generales los sulfuros permanecen en los residuos, el CO₂ se une con el NH₃ por lo tanto el gas resultante es principalmente CH₄ y CO₂ en proporción:



2.6.1 Reacciones biológicas (Digestión Anaeróbica)

El proceso unitario de tratamiento de digestión anaerobia se emplea en todo el mundo para la depuración de aguas residuales y fangos procedentes de la industria, la agricultura y de origen urbano.

Utilizando el proceso de digestión anaerobia es posible convertir gran cantidad y variedad de desechos, residuos vegetales, estiércol, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industria químicas, en subproductos útiles, ((*Alemania*), pp. 214-215. (1997)).

En la digestión anaeróbica más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aeróbico.

La digestión anaeróbica es uno de los procesos más utilizados, para el tratamiento de purines, en el que la materia orgánica es transformada biológicamente, bajo condiciones anaeróbicas, en metano(CH₄) y dióxido de carbono(CO₂).

Además de esta corriente gaseosa, se produce también una suspensión acuosa de materiales sólidos (lodos), en los que se encuentran los componentes más difíciles de degradar, la mayor parte del nitrógeno, el fósforo y la totalidad de los elementos minerales (K, Ca, Mg,).

El gas obtenido puede ser utilizado como combustible. El fango final estabilizado, que se extrae no es putrescible y su contenido en organismos patógenos es nulo o muy bajo. Esta conversión biológica del sustrato complejo, en el que se encuentra materia orgánica en suspensión o disuelta, se realiza a través de una serie de reacciones bioquímicas que transcurren tanto consecutiva como simultáneamente.

Este proceso biológico natural, es realizado por grupos o comunidades de bacterias en recipientes cerrados (reactores). Generalmente después del digester anaerobio se incorpora una laguna de almacenamiento, en la cual se acumula el efluente tratado en el digester, (*Richtlinie 1998/1999*).

La permanencia de las aguas en la laguna de almacenamiento proporciona un tratamiento adicional al purín, debido a que en ella disminuye el contenido de nitrógeno y otros nutrientes de la aguas.

Se debe descartar que el efluente proveniente del digester, posea una carga orgánica muy baja, lo que implica que la laguna deja de tener actividad microbiana de descomposición o es escasa, con lo que los sólidos que salen del digester solo tienden a decantar.

La fermentación metánica que se muestra en el anexo 15, muestra el proceso complejo que se divide en 2 etapas de degradación que son: Hidrólisis, ácido génesis y Acetogénesis, Metanización.

2.6.2 Hidrólisis

En esta etapa (hidrolítica) un amplio grupo de microorganismos actúan en los complejos indisolubles hidrolíticos como la celulosa, proteínas y grasas que son fragmentados en monómero como se observa en el anexo 16, por enzimas (hidrolasa), estas enzimas provienen exclusivamente de bacterias de metabolismo anaeróbico y actúan sobre los polímeros orgánicos u otros materiales complejos despolimerizándolos enzimáticamente en los correspondientes monómeros o fragmentos más sencillos.

Posteriormente estos compuestos experimentan un proceso de fermentación que origina diferentes ácidos orgánicos. Esta etapa resulta indispensable para lograr la ruptura de los biopolímeros complejos en polímeros solubles o monómeros, puesto que los microorganismos que realizan la depuración solamente son capaces de actuar sobre materia orgánica disuelta.

La etapa hidrolítica puede ser la etapa limitante de la velocidad del proceso global, sobre todo tratando residuos con alto contenido en sólidos. Incluso en casos donde las fases acidogénica o metanogénica son consideradas como pasos limitantes, la hidrólisis puede afectar el conjunto del proceso.

El grado de hidrólisis y la velocidad del proceso depende de muchos factores, entre otros el pH, la temperatura, la concentración de biomasa hidrolítica, del tipo de materia orgánica articulada y del tamaño de partícula. La hidrólisis de los carbohidratos toma lugar en algunas horas, para las proteínas el proceso toma algunos días y en el caso de la ligno celulosa el proceso es muy lento e incompleto.

La sostenibilidad de esta etapa se basa en que la presencia de microorganismos anaeróbicos, se consume el oxígeno disuelto en el agua y por ende bajan el potencial redox, lo que es la base para la proliferación de más microorganismos anaeróbicos. La concentración intermedia de iones de hidrógeno afecta los productos de la fermentación, un ejemplo de degradación acidogénica (del Piruvato) se muestra en el anexo 17.

2.6.3 Bacterias presentes en la hidrólisis y ácido génesis

En esta etapa encontramos bacterias anaerobias facultativas como las enterobacterias, bacterias aerotolerantes como las bacterias del ácido láctico y bacterias anaerobias estrictas como: Clostridium, Propionibacterium, Selenomona, (Angelidaki, 1997).

- **Fase Acetogénica**

Los productos de la fase ácido génica sirven de sustrato para la formación de otras bacterias, las reacciones de esta etapa son endorgénicas (se necesita energía para la degradación de los productos de la ácido génesis), en el anexo18, se muestran las típicas reacciones acetogenicas presentes en esta etapa.

Las bacterias de esta etapa producen necesariamente H₂ y están en simbiosis constante con los organismos que producen metano. Los organismos metagénicos pueden sobrevivir solo a altos niveles de presión parcial de hidrógeno, si este nivel baja, el H₂, CO₂ y acetato son producidos por bacterias acetogenicas en el caso contrario predomina la formación de ácido propiónico, butírico, valérico y etanol (entre otros).

Un esquema que muestra la degradación acetogénica y la simbiosis con los organismos metano génicos se muestra en el anexo 19.

- **Fase metanogénica**

La cuarta etapa comprende la formación de metano en condiciones estrictamente anaeróbicas, esta degradación es estrictamente energética y no cualquier microorganismo metano génico puede degradar cualquier sustrato, así se pueden distinguir los siguientes grupos:

- Tipo CO₂ = CO₂, HCOO⁻, CO
- Tipo Metílico= CH, OH, CH₃, NH₃, (CH₃)₂, NH₂⁺, (CH₃)₃NH⁺, CH₃SH, (CH₃)₂S
- Tipo Acetato: CH₃COO⁻

Cuando la metano génesis funciona, la etapa acetogénica también funciona sin problemas, en el caso contrario comienza una sobre-acidificación.

- **Bacterias presentes en la etapa metanogénicas**

Las bacterias metanogénicas pertenecen al reino de las arqueobacterias. De acuerdo a los sustratos que pueden degradar se dividen en: Hidrogenotróficos, capaces de producir metano a partir de hidrógeno y anhídrido carbónico, Aceticlásticos, producen metano y anhídrido carbónico a partir de acetato, Metilótrofos, metabolizan compuestos como metilaminas y metilsulfuros.

Los géneros de metanobacterias hidrogenofílicas más frecuentes en reactores anaerobios son: Methanobacterium, Methanospirillum y Methanobrevibacter.

2.7 Factores Influyentes en la Digestión Anaerobia

Como todo proceso biológico, la digestión anaerobia debe ser controlada, pues existen diversos factores que influyen considerablemente en el éxito o no de la misma.

Un desbalance en alguno de estos factores puede provocar la ruptura del equilibrio entre las comunidades microbianas y por consiguiente el no funcionamiento del sistema, la no producción de biogás y fertilizante (*Flotats, 1997*). A continuación se relacionan los factores de mayor importancia que influyen en este proceso fermentativo.

- **La temperatura**

Es una variable muy importante ya que a medida que aumenta la temperatura también aumenta la actividad metabólica de las bacterias (*Veeken et al., 2000, pág. 23-47*), requiriéndose menor tiempo de retención para que se complete el proceso de fermentación.

- **Temperatura y Tiempo de Residencia**

En el proceso de digestión anaerobia son las bacterias metanogénicas las que producen metano, en la parte final del proceso. Existen diferentes poblaciones de bacterias metanogénicas y cada una de ellas requiere una temperatura para trabajar de forma óptima. Existen poblaciones metanogénicas que tienen su mayor rendimiento a 70 °C de temperatura, pero para ello habría que calentar el lodo interior del biodigestor.

Hay otras poblaciones que tienen su rango óptimo de trabajo de 30 a 35 °C. Estas temperaturas se pueden alcanzar en zonas tropicales de manera natural. La actividad de las bacterias desciende si estamos por encima o por debajo del rango de temperaturas óptimas de trabajo.

En biodigestores sin sistema de calefacción dependen de la temperatura ambiente que en muchas regiones es inferior al rango de temperaturas óptimas. A menores temperaturas se sigue produciendo biogás, pero de manera más lenta. A temperaturas inferiores a 5°C se puede decir que las bacterias quedan "dormidas" y ya no producen biogás.

Por ello es necesario estimar un tiempo de retención según la temperatura a la que se trabaje. El tiempo de retención es la duración del proceso de digestión anaerobia, es el tiempo que requieren las bacterias para digerir el lodo y producir biogás. Este tiempo, por tanto, dependerá de la temperatura de la región donde se vaya a instalar el biodigestor.

Así, a menores temperaturas se requiere un mayor tiempo de retención que será necesario para que las bacterias que tendrán menor actividad, tengan tiempo de digerir el lodo y de producir biogás.

Ahora otra posible clasificación sería tener en cuenta la temperatura de trabajo que haya en el digestor, que se diferencia entre los tipos de fermentación que se observan en el anexo 20:

Fermentación Psicrófila: se produce entre los 10-20 °C y el tiempo de retención es superior a los 100 días.

Fermentación Mesófila: se produce entre los 20-35 °C y el tiempo de retención es superior a los 20 días (aproximadamente 30-40 días).

Fermentación Termófila: se produce entre los 50-60 °C y el tiempo de retención es superior a los 8 días. Este tipo de fermentación no es apropiado para las plantas sencillas.

- **Relación carbono/ nitrógeno**

Los materiales de fermentación están compuestos en su mayor parte por carbono (C) y nitrógeno (N). Si el contenido de este último es muy alto, la reproducción de las bacterias se inhibe debido a la alta alcalinidad.

Lo ideal es una relación C/N de 20:1 a 30:1; relaciones C/N menores; por ejemplo 8: 1, inhiben la actividad bacteriana por excesivo contenido de amonio. La concentración de amoníaco en el material de fermentación debe ser menor de 2000 mg/L (*Flotats et al, 2000, pág. 12-15*).

- **pH**

El pH en el digester es la función de la concentración de CO₂ en el gas, de la concentración de ácidos volátiles y de la propia alcalinidad de la materia prima. Las bacterias responsables del mecanismo de producción de biogás son altamente sensibles a cambios en el pH, oscilando de 6-8, teniendo como óptimo un pH de 7-7.2 cómo se presenta en el anexo 21, (*Lay et., 1998*).

El pH del cieno de fermentación indica si el proceso de fermentación transcurre sin estorbos. El pH debe tener un valor alrededor de 7. Esto significa que la carga de fermentación no debe ser ni alcalina, ni ácida. Luego, para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente, el pH no debe bajar de 6 ni subir de 8.

El valor el pH en el digester no sólo determina la producción de biogás sino también su composición. Una de las consecuencias de que se produzca un descenso del pH a valores inferiores a 6 es que el biogás generado es muy pobre en metano y, por tanto, tiene menores cualidades energéticas.

El pH es una de las variables utilizadas en el diagnóstico de los sistemas anaerobios, ya que muchos fenómenos tienen influencia sobre el mismo. Un ejemplo de ello, son las situaciones de acidificación de un reactor anaerobio provocadas por desequilibrios en la producción y consumo de ácidos grasos volátiles. La acumulación de éstos provoca un descenso en el pH que será más o menos acusada en función de la alcalinidad del medio.

Por otra parte, el pH afecta a los diferentes equilibrios químicos existentes en el medio, pudiendo desplazarlos hacia la formación de un determinado componente que tenga influencia en el proceso. Este es el caso de los equilibrios ácido-base del amoníaco y del ácido acético.

Al aumentar el pH se favorece la formación de amoníaco que, en elevadas concentraciones, es inhibidor del crecimiento microbiano y a pH bajos se genera mayoritariamente la forma no ionizada del ácido acético, que inhibe el mecanismo de degradación del propionato.

La alcalinidad es una medida de la capacidad útil del medio. En el rango de pH del proceso de digestión anaerobia, el principal equilibrio que controla la alcalinidad es el del dióxido de carbono. Estudios previos han demostrado que valores de la alcalinidad del CO₂ por encima de 2500 mg/l, aseguran un buen control del pH y una adecuada estabilidad del sistema.

- **Tiempo de Residencia o Tiempo de Retención (TR)**

Es el lapso durante el cual el material de fermentación permanece en el biodigestor y es el tiempo necesario para la completa fermentación del material.

Por lo cual las bacterias necesitan tiempo para la descomposición de las materias orgánicas. La duración depende en gran parte de la temperatura. Cuanto más elevada sea la temperatura más corto será el tiempo de retención y cuanto más corto sea el tiempo de retención más rápido será el proceso. Por lo general el tiempo que dura este proceso en un biodigestores es de 40-60 días teóricamente.

Apartado III

HIPÓTESIS

HIPÓTESIS

Las mezclas estiércol-agua, constituyen un sustrato adecuado para la obtención de biogás, debido a que presentan un efecto sinérgico en la cinética de biodegradación y maximiza la producción de gas en condiciones de operaciones óptimas.

Apartado IV

DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Tipo de Estudio

Es de tipo cuantitativo experimental, cuantitativo porque permite examinar los datos de manera científica, o más específicamente en forma numérica, generalmente con ayuda de herramientas del campo de la estadística, y experimental porque se desea comprobar los efectos de una intervención específica, manipulándose las condiciones en este.

4.2 Descripción del ámbito de estudio

El Rastro o matadero MEGANICSA, está ubicado en el Km-24.5 carretera norte. Tipitapa, municipio del departamento de Managua, tiene un espacio de aproximadamente una manzana, cuenta con un área administrativa, dos corrales uno para la crianza, otro de descanso y espera del ganado vacuno que ingresa al rastro, también hay con una zona de selección de bovino para el sacrificio y un espacio para la deposición de desechos líquidos y sólidos como se refleja en el esquema del anexo 22, siendo su jornada laboral de sacrificio en horas de la madrugada.

4.3 Población

La población está constituida por 70 reses que producen aproximadamente 588 Kg de estiércol diario, (Ver anexo 26 y 27); el estiércol de cada bobino es llevado a la pila de desechos sólidos, donde se tomó la muestra que se utilizó como materia prima para la producción de biogás.

4.4 Muestra

Para seleccionar las muestras, se utilizó el muestreo de tipo aleatorio simple, porque el estiércol fue tomado al azar de cualquier punto de la pila de desechos sólidos (Ver anexo 31), de forma que cada sección de la población tuvo igual oportunidad de salir en la muestra.

4.5 Criterios para selección de muestra

- El peso de la muestra fue de 2 Kg de estiércol.
- Estiércol fresco, con poco tiempo de haber sido evacuado del bobino, con un porcentaje mínimo de agua.
- Tiempo de exposición menor en condiciones ambientales, antes de ser introducido al sistema de bioconversión.

4.6 Preservación y toma de muestra

- En la recolección se tomaron las medidas de higiene y seguridad, utilizando guantes látex, gabacha, mascarilla.
- Se tomó estiércol fresco de varios puntos de la pila de desechos sólidos, con una espátula de albañil y depositada en bolsas ziplot, hasta un peso de 2 Kg.
- Se transportó la muestra hasta el laboratorio, para el ensayo de pesaje estiércol y agua.

4.7 Criterios de inclusión

- Estiércol depositado en la pila de desechos sólidos
- Estiércol fresco con poco tiempo de exposición al aire
- Específicamente estiércol de las reses para crianza y sacrificio

4.8 Criterios de exclusión

- Muestras de desechos líquidos (sangre, agua del área de lavado, orina de bobino).
- No se tomaron en cuenta residuos como viseras, huesos, grasa, pelo, cuero y tierra.
- Estiércol maduro y viejo.

4.9 Variables

Variables independientes

- Condiciones óptimas de estiércol-agua

Variables dependientes

- Gas Metano
- Prueba de combustión
- Cantidad de NaOH desalojado

Indicadores.

- Temperatura (°C)
- Tiempo de retención (Días)
- pH

4.10 Operacionalización de las variables

Tabla 4.1: Operacionalización de variables

	Variable	Concepto	Indicador	Valores esperados
Variables independiente	Condiciones óptimas de estiércol/agua	Materia prima utilizada en el proceso de fermentación para la obtención de biogás	Temperatura	20-35°C
			pH	8-9
			Tiempo de retención (Días)	28 días
Variable dependiente	Prueba de combustión	La llama del metano es de color azul, debido a que la combustión con exceso de oxígeno es en general completa. El metano se oxida a CO ₂ y H ₂ O pero si la combustión es incompleta se forma CO, H ₂ O y un residuo carbonoso, llamado negro de humo.	Color de llama: azul	La combustión del metano produce una llama azul y gran cantidad de calor: CH₄+2O₂ → CO₂+2H₂O
	Cantidad de NaOH desalojado	Volumen de NaOH equivalente al volumen de metano producido.	Volumen	En mL
Variable dependiente	Gas metano	Gas producido al final del proceso de biodigestión	Volumen de gas producido	En mL

4.11 Materiales y métodos

4.11.1. Materiales

- **Materiales para la recolección de información**

- Resúmenes referente al proceso de biodigestión (Manual del biogás)
- Textos Científicos
- Textos paralelos

- **Materiales para procesar la información**

- Tablas

Se han seleccionado las tablas para procesar la información y como base de datos para representar los indicadores propuestos con ayuda de los procesadores de texto de Microsoft Office Word y Excel.

- Gráficas

En nuestro estudio es de importancia la representación de la información en gráficos, debido a que las variables están relacionadas unas con otras, siendo de vital importancia representar los indicadores de manera que en los gráficos el análisis de las variables con respecto a los resultados obtenidos, sean fáciles de entender.

- Esquemas

Se utilizaron para representar una síntesis que resuma, de forma estructurada la teoría de dicho estudio, debido a que hay una gran gama de información.

- Observación directa

La observación directa es una técnica que consiste en observar atentamente el fenómeno, hecho o caso, tomar información y registrarla para su posterior análisis. Siendo un elemento fundamental de todo proceso investigativo; en ella nos apoyamos para obtener el mayor número de datos. Gran parte del conjunto de conocimientos que constituye la ciencia se logra mediante la observación.

- Fotografías
- Entrevista no estructurado

4.11.2 Método

Se visitó tres veces el rastro MEGANICSA en horario matutino y vespertino para la recolección de la información necesaria, toma de fotografías, entrevistas no estructuradas y recolección de muestras.

Se construyeron tres biodigestores de flujo discontinuo tipo batch, a escala de laboratorio. En estos digestores se introdujo estiércol-agua a distintas proporciones para determinar la mezcla óptima y cuantificar el volumen de gas metano producido. Este procedimiento se explica detalladamente en el anexo

El biodigestor tipo batch se caracteriza porque se carga una sola vez en forma total, y la descarga se efectúa en términos de 28 a 30 días, donde se especula ya se ha dejado de producir gas (metano), en este tipo de digestor no se instala el gasómetro flotante debido a que el gas paso directamente por el sistema de venocllisis a una botella de vidrio, en donde se almaceno el mismo y se midió el volumen de metano producido, este tipo de digestor se caracteriza por ser un biodigestor que permanece a temperatura ambiente durante todo el proceso de fermentación.

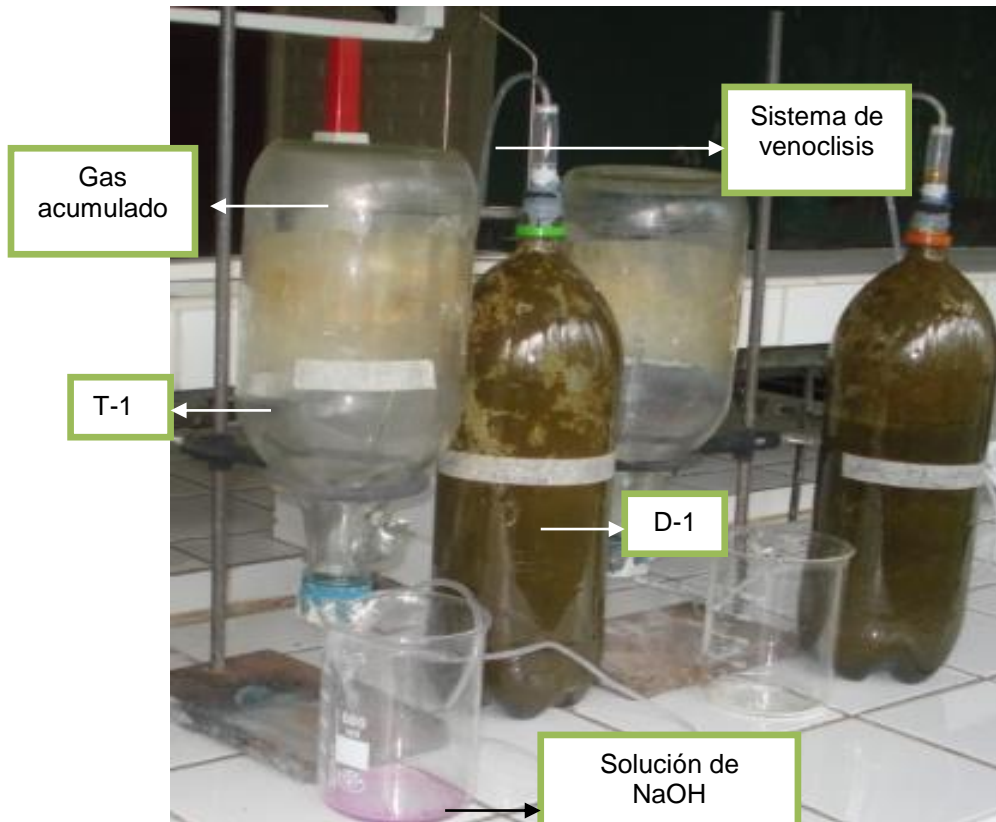
La materia prima utilizada que se empleó fue estiércol fresco de ganado vacuno, proveniente del Rastro Municipal MEGANICSA y se utilizó agua potable del laboratorio 112.

Las variables independientes fueron relación estiércol- agua (1:0.5, 1:1 y 1:1.5), % (peso/volumen) de agua potable con respecto al volumen de estiércol. La variable dependiente fue el volumen de biogás producido.

El reactor batch fue construido con dos botellas (1 de plástico y 1 de vidrio), equipo de venocllisis, beacker y tapones de caucho. La botella de plástico (D-1) es donde se lleva a cabo la digestión. Los gases producidos por la digestión son llevados a la botella de vidrio (T-1) mediante el sistema de venocllisis

En el T1 los gases son acumulados mediante desplazamiento de NaOH. Para cuantificar el gas acumulado, el T1 tiene una manguera que conecta al beacker en donde se recolecta la solución de NaOH desplazada. Por el desplazamiento de volúmenes, el gas queda contenido en la botella T1 y la solución pasa al beacker donde se puede cuantificar la cantidad de gas producido, como se observa en la ilustración 4.1.

Ilustración 4.1: Funcionamiento del biodigestor batch a escala de laboratorio



Una vez armado los reactores batch, se sellan los tapones de gaulcho con pegamento PVC para garantizar la hermeticidad. Se colocaron los reactores en la mesa de trabajo del laboratorio y se controló que la temperatura de la mezcla se encontrara en el rango 20-35 °C. La cantidad de biogás producido se midió mediante el desplazamiento de la solución de NaOH.

Los biodigestores tienen las siguientes características:

- Botellas de 3.00 L transparente, para observar la producción de CO₂; indicado por producción de burbujas en la mezcla estiércol-agua.
- Se valió de un tapón de gaulcho, perforado en el centro a cambio de la tapa de plástico de la botella, ya que este es más resistente y evita la entrada del aire al sistema de bioconversión.
- Con extrema precaución se aplicó pegamento PVC en la orilla de los tapones donde es requerido. Tanto en el sistema de bioconversión como

en el de medición se utilizó pegamento PVC, pero es de mucha importancia evitar que este haga contacto con el interior de los sistemas, ya que es un potente inhibidor que puede afectar la producción de microorganismos en el biodigestor.

El sistema de medición Tiene las siguientes características:

- Una botella de vidrio donde es depositado el NaOH con diez gotas de fenolftaleína. Específicamente de vidrio puesto que el NaOH es una base fuerte y corrosiva que derrite y corroe con el tiempo cualquier envase de plástico.
- Transparente para poder observar el desplazamiento de NaOH desalojado y también observar la turbidez del cambio de tonalidad de la solución de NaOH que indica la retención de CO₂ que ingresa en el sistema.
- Finalmente un tubo de vidrio en el interior de la botella transparente, conectado al sistema de venoclisis que sale del sistema, por donde paso el NaOH desalojado y que es recolectado en un beacker de 600 mL.

Apartado V

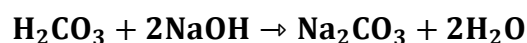
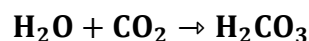
RESULTADOS Y ANÁLISIS

DE RESULTADOS

5.1 Resultados

Se utilizó 1L de NaOH al 3% en cada botella de vidrio. Se decidió manejar esta concentración debido a que en otras bibliografías, se proponían rangos de 15-20 g/L (Sanz 1977), también encontramos datos de concentraciones de 40 g/L (FUNASA. (2006) y también 150 g de NaOH, en 5L de agua destilada, para proporciones de 1:1 hasta 1:3.

Por lo tanto procuramos usar un valor intermedio de concentración a un pH 12, para garantizar que el NaOH retenga con mayor eficiencia el CO₂ producido, y a su vez puedan realizarse las reacciones fidedignas para hacer lo suficientemente densa la mezcla y poder ser desalojada con respecto a las proporciones propuestas en nuestro trabajo. He aquí las reacciones que se efectuaron en el sistema de medición:



Los tres biodigestores tuvieron un tiempo de retención de 28 días con observación y agitación diaria, obteniéndose los siguientes resultados mostrados en la tabla 5.1:

Tabla 5.1: Resultados obtenidos

Proporciones	Biodigestor 1	Biodigestor 2	Biodigestor 3
	1:0.5	1:1	1:1.5
Temperatura (°C)	Mesófila (20-35°C), Temperatura ambiente	Mesófila (20-35°C), Temperatura ambiente	Mesófila (20-35°C), Temperatura ambiente
Tiempo de retención en días	28 días	28 días	28 días
pH	9	8	9
Volumen de NaOH desalojado (mL)	479 mL	225 mL	22 mL
Volumen de CH ₄ producido	479 mL	225 mL	22 mL

Fuente: Creación propia

5.2 Análisis de los resultados

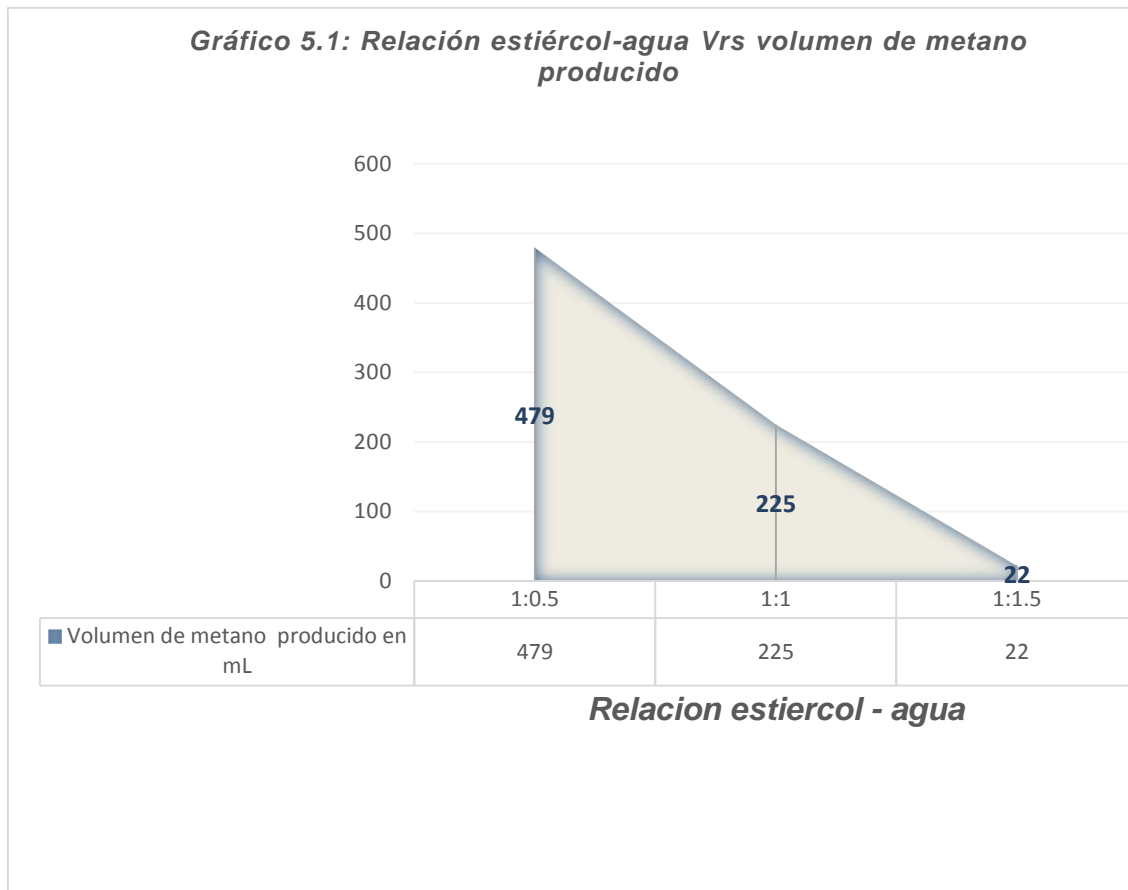
- Según los resultados obtenidos el biodigestor 1 produjo la mayor cantidad CH_4 con respecto a los otros dos, ya que hay mayor concentración de estiércol con respecto al agua, por lo tanto esta mezcla es la menos diluida y produjo 479 mL de CH_4 , a una temperatura Mesófilica, con un pH 9 y un tiempo de retención de 28 días.
- Por lo consiguiente el biodigestor 2 contenía cantidades iguales de peso/volumen (%1:1) y produjo 225mL de CH_4 , a una temperatura Mesófilica, con pH 8 y un tiempo de retención de 28 días.
- Finalmente el sistema 3 tenía un exceso de agua de 1/2 L con respecto a las dos anteriores, este sistema es el más diluido y produjo 22mL de CH_4 a una temperatura Mesófilica, con pH 9 y tiempo de retención de 28 días.

Se logra observar una disminución de la producción de CH_4 con respecto a las proporciones propuesta, de menor estiércol diluido a mayor estiércol diluido. Podemos decir que la cantidad de CH_4 producido es óptimo en cantidades bajas de agua.

También recordemos que teóricamente el pH óptimo para el proceso de fermentación es de 7-7,2, no obstante se trabajó bajo las condiciones de pH: 9, 8, y 9, respectivamente, debido a no poder encontrar un ácido orgánico idóneo para poder bajar estos valores a los rangos teórico. Probablemente esta variación pudo haber afectado en la producción de CH_4 pero no en un significativo rango de error, debido a que según lo propuesto por Baader, Brenndorder, a menor estiércol diluido hay mayor producción de biogás, lo cual coincide con nuestros resultados.

La cantidad de metano producido se expresa en mL debido a que el estudio se realizó a escala de laboratorio y los volúmenes de gas obtenidos fueron bajos con respecto a las relaciones utilizadas.

En el gráfico 5.1, se comparan los volúmenes de metano producidos por cada reactor, representando el reactor de mayor y menor producción en función de dos variables que son el volumen de NaOH (mL) desplazado, y la relación estiércol – agua:



Se puede observar que la generación de gas metano en los tres biodigestores durante el tiempo de retención de 28 días, vario con respecto a la relación estiércol- agua; a menor estiércol diluido, mayor volumen de gas producido, destacándose la relación 1:0.5 con la mayor producción, y descendiendo en las relaciones 1:1, 1:1.5 debido al aumento de agua, obteniéndose 225mL y 22 mL respectivamente.

Cabe mencionar que existen condiciones límites de operación de acuerdo a la relación del sustrato, al diseño del reactor y método de obtención del biogás.

Se realizó la prueba de combustión para comprobar la existencia de CH₄. La prueba se realizó a través del sistema de venocllisis colocada en la parte superior del tapón de caucho, se acercó la llama de una candela casera y se presionó el digestor (D-1) por la parte central, expulsando así el gas por el orificio del sistema de venocllisis, resultando una llama azul provocada por el contacto del metano con Oxígeno, por lo tanto la prueba resulto positiva. También se percibió un olor característico a gas parecido al gas licuado, pero con mayor intensidad que este.

Se deben de tomar en cuenta las siguientes dificultades en el transcurso del proceso:

- Durante la inversión de la botella de vidrio (T-1) se tuvieron fugas donde se escaparon gotas de NaOH, en los sistemas de medición 1 y 3, debido a la poca aplicación de pegamento PVC en los tapones de gaucho y en las conexiones del sistema de venoclisis.
- Falta de agitación de los sistemas de bioconversión por un 1 día de la semana (domingos), debido a los horarios del laboratorio de química.
- Falta de ácidos orgánicos para corregir los niveles de pH en los biodigestores.

Si el rastro MEGANICSA produce aproximadamente 588 Kg de estiércol, a partir de los resultados se propone un biodigestor de un volumen de 10 m³ para producir 281.652 L de gas metano.

$$\begin{array}{l} 1 \text{ Kg} - 0.479 \text{ L CH}_4 \\ 588 \text{ Kg} - X \end{array}$$
$$\frac{588 \text{ Kg} \times 0.479 \text{ l}}{1 \text{ Kg}} = 281.652 \text{ L de CH}_4$$

Logramos constatar, que los datos obtenidos con respecto a los antecedentes encontrados, no son comparables con relación a los volúmenes de CH₄ calculados, debido a algunas diferencias en las condiciones operacionales y sustratos utilizados, pero si se coincidió con el método de medición usado, ya que fue sensible independientemente del tipo de sustrato, por lo tanto afirmamos la hipótesis propuesta en nuestra investigación.

Apartado VI

CONCLUSIONES

VI CONCLUSIONES

Los objetivos propuestos se cumplieron favorablemente, a pesar de las limitantes antes mencionados, llegando así a las siguientes conclusiones:

- Se logró satisfactoriamente construir un biodigestor tipo batch de flujo discontinuo a escala de laboratorio, utilizando algunos componentes no convencionales como: botellas de plástico de 3.00L, sistema de venoclisys y pegamento PVC.
- Se identificaron las condiciones óptimas de estiércol- agua para la producción de CH₄ por medio de un biodigestor tipo batch para proporciones peso/volumen: 1:0.5, 1:1, 1:1.5 determinándose los siguientes parámetros:
 - 1kg de estiércol en volúmenes de agua de: 500 mL, 1000mL, 1500mL respectivamente
 - Temperatura Mesófila de 20-35 °C (Temperatura ambiente)
 - pH 8-9 (relativamente óptimo)
 - Tiempo de retención de 28 días, para la producción de volúmenes de CH₄
- Se cuantificaron las cantidades de CH₄ producidas en cada biodigestor bajo las condiciones identificadas, obteniéndose los siguientes volúmenes:
 - Relación 1: 0.5 se produjo 479mL
 - Relación 1: 1 se produjo 225mL
 - Relación 1: 1.5 se produjo 22mL

Finalmente se concluye, que el uso de biodigestores es una herramienta alternativa para reducir la contaminación ambiental por materia orgánica en descomposición en empresas agropecuarias, ejemplo de estas los rastros, y además son una fuente de producción de energía renovable que representa un ahorro económico y reduce la utilización de madera o gas propano de uso casero.

Apartado VII

RECOMENDACIONES

VII RECOMENDACIONES

- Recomendamos al rastro MEGANICSA hacer mejor uso de sus desechos (estiércol), e incitamos a la construcción de un biodigestor de amplia capacidad, que reciclará este residuo.
- Incentivamos a los lectores e interesados en el área, a profundizar tal tema con el afán de mejorar las técnicas y procedimientos empleados en este estudio.
- Emplear otro sustrato, a fin de comparar con los volúmenes obtenidos, la eficacia del biodigestor tipo batch.
- Utilizar otro tipo de bases fuertes para comprobar si la captura de CO₂ es mayor o menor en este tipo de sistema de medición de CH₄.
- Optar por la sustitución de otros pegamentos menos contaminantes que puedan inhibir el crecimiento microbiano en el sistema de bioconversión, al entrar en contacto con el mismo.
- Emplear otro sistema de recolección de NaOH para evitar pérdidas del mismo por fugas en el sistema de medición.
- Prevenir la exposición prolongada al Hidróxido de Sodio, puesto que puede provocar lesiones, quemaduras, y corrosión del material expuesto.
- Controlar el pH, y asegurar el agregado de estiércol fresco, para evitar pérdidas durante la fermentación del sustrato.

Apartado VIII

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. Angelidaki, I. *Anaerobic Digestion in Denmark past, present and future. Aprovechamiento Energético de Residuos Orgánicos*, Nov. Berlín (Alemania), pp. 214-215. (1997).
2. Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ), Cooperación Intergubernamental Chile-Alemania (Eds.). 69 p, Santiago.
3. (Amaya, 2009). Propuesta para la obtención de biogás mediante la digestión anaerobia de residuos forestales.
4. Baader, Brenndorder, *Biogás en la teoría y la práctica, Plantas de biogás y tecnología alemana*. Alemania 1990.
5. Bonmanti. A, Flotats. X, Maten. L, Campos. E, Study of Thermal Hydrolysis as a Pretreatment to Mesophilic Anaerobic Digestion of pig slurry, *Water science and Technology*. Vol 44 .pp 122-127 (2001).
6. Cofre, C. *Guía Para la Construcción y Operación de una Planta de Biogás, alimentada con lodos Residuales de la Industria Carnea, Austral de Chile, Valdivia (Chile)*, pp. 86 99(2001).
7. CNE, Comisión Nacional de Energía. 2006. *Guía del Mecanismo de Desarrollo Limpio para Proyectos del Sector Energía en Chile*.
8. Chynoweth, D., Fanning, k. *Biological Gasification of Marine Algae*, Department of Agricultural and Biological Engineering, University of Florida, October, pp 87-112(2002).
9. *Cálculos químicos para la preparación de soluciones*. Josa Luis Santillán Márquez, México: Trillas 2003. Primera edición ISBN968-24-6856-6.
10. *Energético de Residuos Orgánicos*, Nov. Berlin (Alemania), pp 214-215. (1997). Angelidaki, I. *Anaerobic Digestion in Denmark past, present and future. Aprovechamiento*.
11. Flotats, X., Bonmati, A., Campos, E., Teira, R. *El proceso de secado de purines en el marco de Gestión Integral de Residuos Ganadero, Tratamiento de residuos ganaderos*, Enero, Madrid (España), pp12-15 (2000).
12. Flotats, X. *Aprovechamiento Energético de Residuos Ganaderos*, Departamento de Medio Ambiente, Universidad Lleida, (1997).

13. FUNASA. (2006). Manual práctico de análisis de agua (2a ed.). Brasília: Fundação Nacional de Saúde.
14. José Guardado. Diseño y Construcción de plantas de biogás sencillas. La Habana Cuba, Cuba solar. 2007. pp. 25, 31.
15. Jaime Jessica (Agosto 2010). Evaluación de un biodigestor piloto tipo horizontal. Venezuela, Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda".
16. Hilbert, Jorge A. (s.f.). *Manual para la producción de biogás*. I.N.TA - Castelar, Recuperado el 24 de octubre de 2011 de <http://inta.gob.ar/documentos/manualpara-La-producción-de-biogás/>.
17. IDAE. (Octubre de 2007). Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, "Biomasa: Digestores anaerobios". Recuperado el 22 de octubre de 2011, de documentos: Pdf. <http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem>.
18. Lay, J., Li, Y., Noyke, T. "The Influence of pH and Ammonia Concentration on the Methane Production in High-Solids Digestion Processes". *Water Environment Research*, Vol 50, N°5, Julio/Agosto (1998).
19. Lagrange, B. 1979. Biomethane. Principes, Techniques, Utilisation. Vol.2. *Edisual / Energies Alternatives*. 249pp.
20. Prácticas-ITDG, S. (s.f). Ficha Técnica Biodigestores 8. Recuperado el 26 de octubre de 2011: <http://www.solucionespracticas.org.pe/fichastecnicas/pdf/>
21. Sanz, J. The Action of antibiotic on the anaerobic digestion process, *Biotechnology Review*, vol 2, pp 11-18, October (1997).
22. Solera, R., Romero, L. I Sales. The Evolution of Biomass in a two-phase Anaerobic Treatment Process During Start-up. Dept. of Chemical Engineering Food and Environmental Technology, Faculty of Marine Science, University of Cádiz, Campus Rio San Pedro, Spain (2002).
23. Speece, R. E. 1996. *Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatments*. Archae Press, Nashville, TN, USA.
24. Veeken, A., Hamelers, B. Effect of substrate – seed mixing and leachate Recirculation on solid state digestion of biowast. *Review Technology*, vol 5 pp 23-47 (2000).

25. Varnero y Arellano, M.T. 1991. Manual de Reciclaje Orgánico y Biogás. Ministerio de Agricultura (FIA) –Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Santiago, Chile, 48p.
26. KTBL – Taschenbuch Landwirtschaft; VDI - Richtlinie 3472, 1998/1999 Universidad de Vic. “Evaluación funcional de sistemas de tratamiento de deyecciones ganaderas”.
27. ROSSUM, J.R, VILLARRUZ, P.A., WADE, J.A. (1935) “A new method for determining methane in water” American Water Works Association.

Apartado IX

ANEXOS

Anexo 1: Residuos orgánicos de diversos orígenes

Tipos de residuos	
Residuos de origen animal	Estiércol, orina, guano. Residuos de mataderos (sangre, grasa, pelo, y otros), residuos de pescado.
Residuos de origen vegetal	Malezas, pajas, hojarasca en mal estado, broza de cosechas.
Residuos de origen humano	Heces, orina , basura
Residuos de origen agroindustriales	Salvado de arroz, melazas, residuos de semillas
Residuos de cultivos acuáticos	Alagas marinas y malezas acuáticas
Residuos forestales	Hojas, vástagos, ramas y cortezas

Fuente: Varnero y Arellano, 1991.

Anexo 2: Composición química de residuos de origen animal

Materia prima	Lípidos (%)	Proteínas (%)	Celulosa, Hemicelulosa (%)	Lignina (%)	Ceniza (%)
Bovino	3.23	9.05	32.49	35.57	19.66
Porcino	11.50	10.95	32.39	21.49	23.67
Aves	2.84	9.56	50.25	19.82	17.23
Equino	2.70	5.00	40.50	35.00	17.80
Ovino	6.30	3.75	32.00	32.00	25.95
Caprino	2.90	4.70	34.00	33.00	26.40

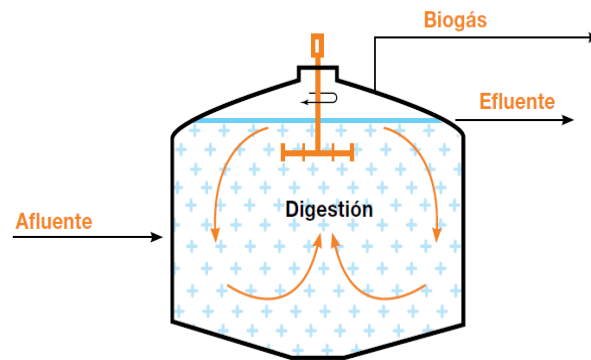
Fuente: Varnero y Arellano, 1991.

Anexo 3: Rango de niveles de nutrientes de diversos residuos de origen animal

Materia prima	C (%)	N (%)	P₂O₅ (%)	K₂O (%)	CaO (%)	MgO (%)
Excretas						
Bovino	17.4-40.6	0.3-2.0	0.1-1.5	0.10	0.35	0.13
Porcinos	17.4-40.0	1.1-2.5	0.4-4.6	0.30	0.09	0.10
Aves	28.0-35.0	1.4-2.0	2.0-2.8	1.40	0.80	0.48
Equino	35.0-46.0	0.3-0.8	0.4-1.6	0.35	0.15	0.12
Ovino	35.0-46.0	0.3-0.6	0.3-1.0	0.15	0.33	-
Caprino	35.0-50.0	1.0-2.0	0.2-1.5	2.30	-	-
Humanas	2.5	0.8-1.0	0.5	0.30	-	-

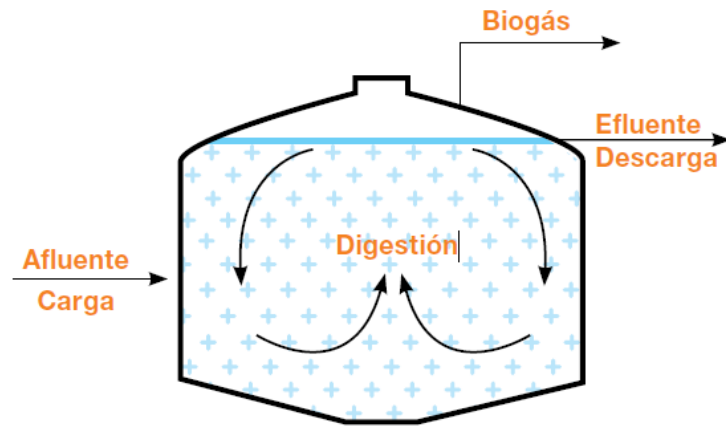
Fuente: Varnero y Arellano, 1991.

Anexo 4: Esquema o general de un biodigestor de flujo continuo



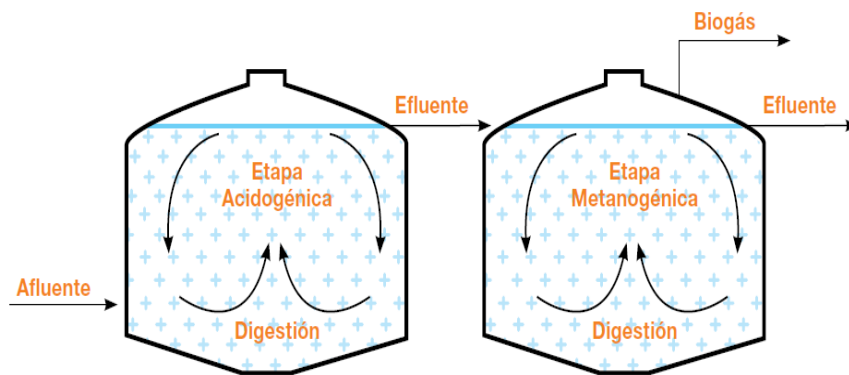
Fuente: IDAE, 2007

Anexo 5: Esquema de biodigestor de flujo discontinuo (Tipo Batch)



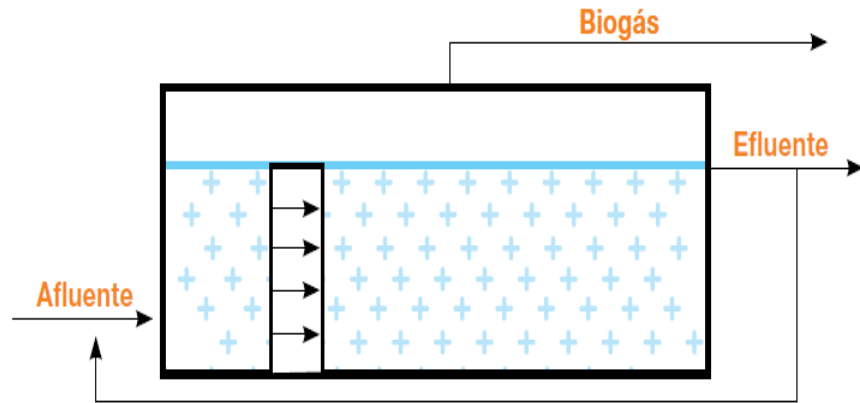
Fuente: IDAE, 2007

Anexo 6: Esquema de sistema de biodigestión de dos etapas



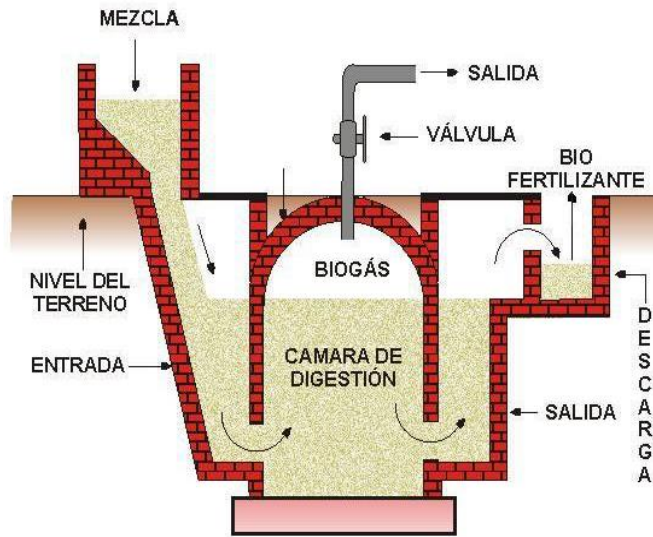
Fuente: IDAE, 2007

Anexo 7: Esquema de biodigestor tipo salchicha o flujo pistón



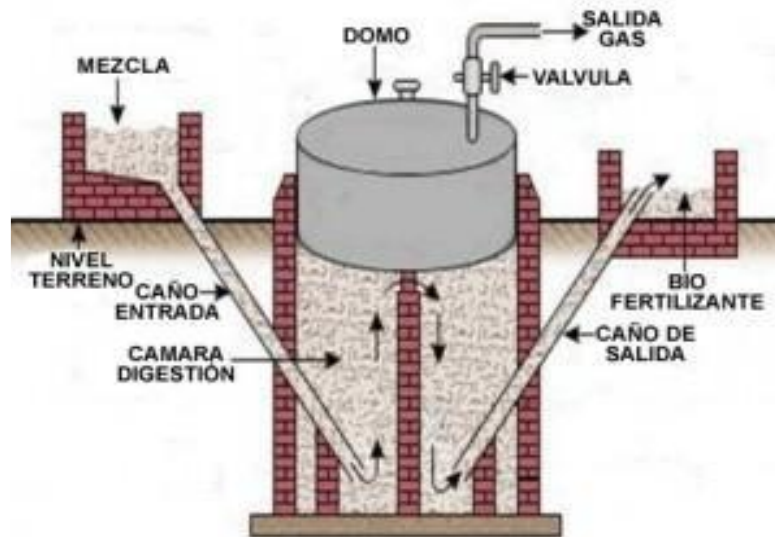
Fuente: IDAE, 2007

Anexo 8: Biodigestor de cúpula fija o modelo chino



Fuente: IDAE, 2007

Anexo 9: Modelo Hindú de domo o campana flotante



Fuente: IDAE, 2007

Anexo 10: Composición del Biogás

Elemento	%
Metano (CH ₄)	50 – 70
Dióxido de carbono (CO ₂)	30 – 50
Nitrógeno (N)	0.5 – 3
Acido sulfhídrico	0.1 – 1
Vapor de agua	Trazas
Hidrogeno (H ₂)	0 - 1
Oxigeno (O ₂)	0 - 2

Fuente:(Varnero y Arellano, 1991, pag.48)

Anexo 11: porcentajes típicos de Metano y Dióxido de carbono para diferentes materias primas.

Materia prima	CH ₄ %	CO ₂ %
Estiércol de vaca	60	-
Estiércol de cerdo	67	33
Estiércol de gallina	60	40
Pastos y vegetales	70	30
Desperdicios domiciliarios	50	50
Cascarilla de arroz	55	45

Fuente:(Varnero, 1991, pág. 48)

Anexo 12: Combustibles Típicos y su Poder Calorífico

Combustible	Poder calorífico inferior	Poder calorífico superior
	1000 Kcal/Kg	10500 Kcal/Kg
Petróleo	8850 Kcal/Kg	9293 Kcal/Kg
Gas natural	8300 Kcal/Kg	9300 Kcal/Kg
Gas licuado	10950 Kcal/Kg	11951 Kcal/Kg
Leña seca	4600 Kcal/Kg	5200 Kcal/Kg
Biogás	5500 Kcal/Kg	6000 Kcal/Kg

Fuente: (CNE (Comisión Nacional de Energía) 2006, pág. 69)

Anexo13: Duración mínima de 1m³ de Biogás para diferentes Artefactos

Alimentación	Consumo Kcal/h	1m ³ biogás (duración mínima)
Cocina de 2 quemadores	660 – 742.5	7.4h
Refrigeradora de 13 pies	550 – 600	8.3h
Lámpara	478 – 528	10.4h
Termo tanque de 110 L	1375 – 1650	3.3h
Estufa de 600 cal	3355 – 4400	1.25h
Motor (hp/h)	2750 – 4400	1.25h
Generación de electricidad	6.4 Kw/h	2h

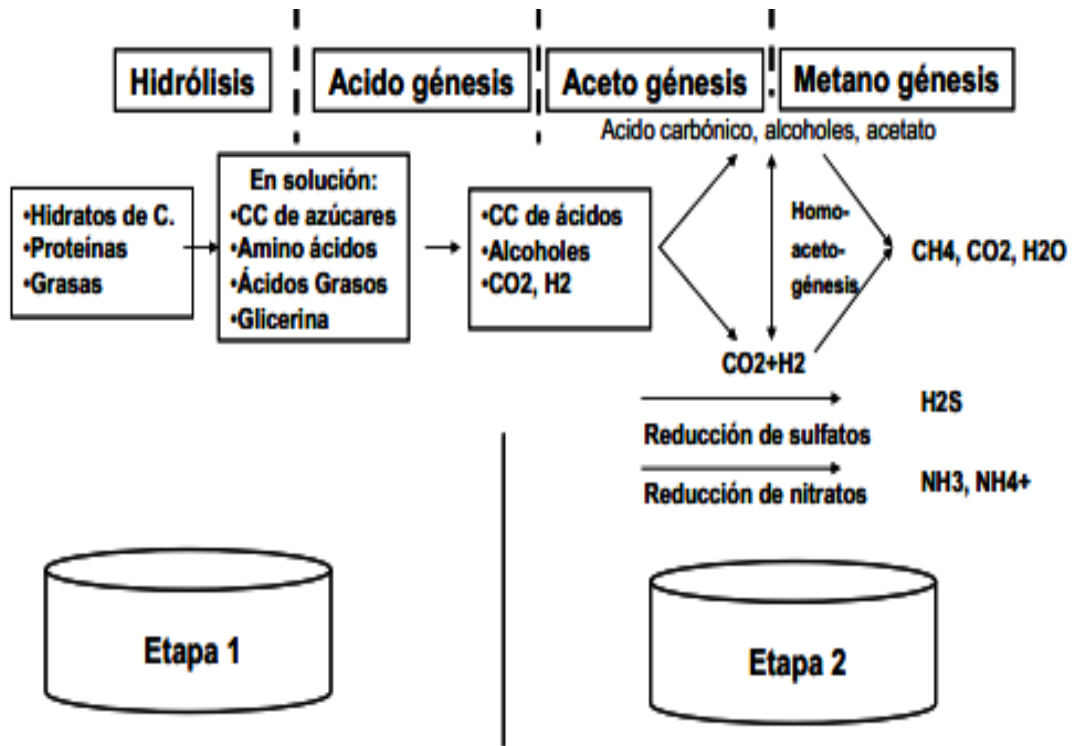
Fuente: (CNE (Comisión Nacional de Energía) 2006, pág. 69)

Anexo 14: Reacciones bioquímicas en la generación de biogás

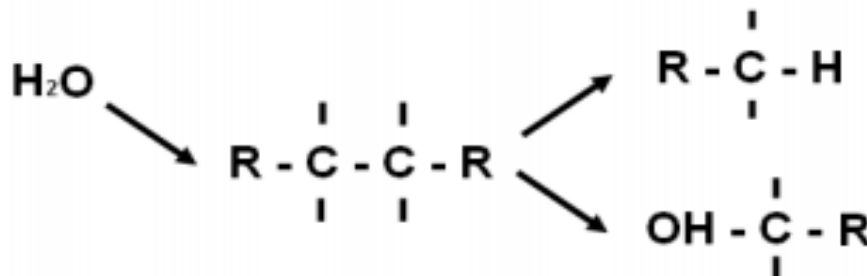
Carbohidratos	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3 \cdot CO_2 + 3 \cdot CH_4$
Grasas	$C_{12}H_{24}O_6 \rightarrow 3 \cdot H_2O + 4.5 \cdot CO_2 + 7.5 \cdot CH_4$
proteínas	$C_{13}H_{25}O_7N_3S + 6 \cdot H_2O \rightarrow 6.5 \cdot CO_2 + 6.5 \cdot CH_4 + 3 \cdot NH_3 + H_2S$

Fuente: Grupo de Investigación

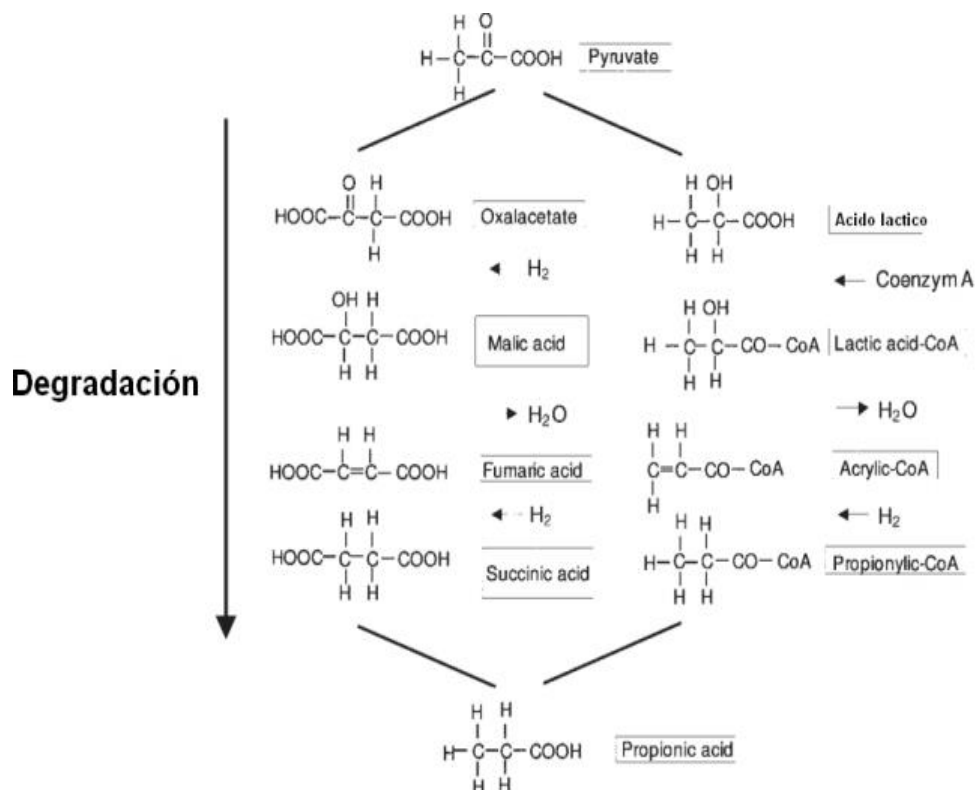
Anexo 15: Etapas de la fermentación metánica



Anexo 16: Formación de los monómeros en la hidrolisis



Anexo 17: Degradación Acidogénica (del Piruvato)

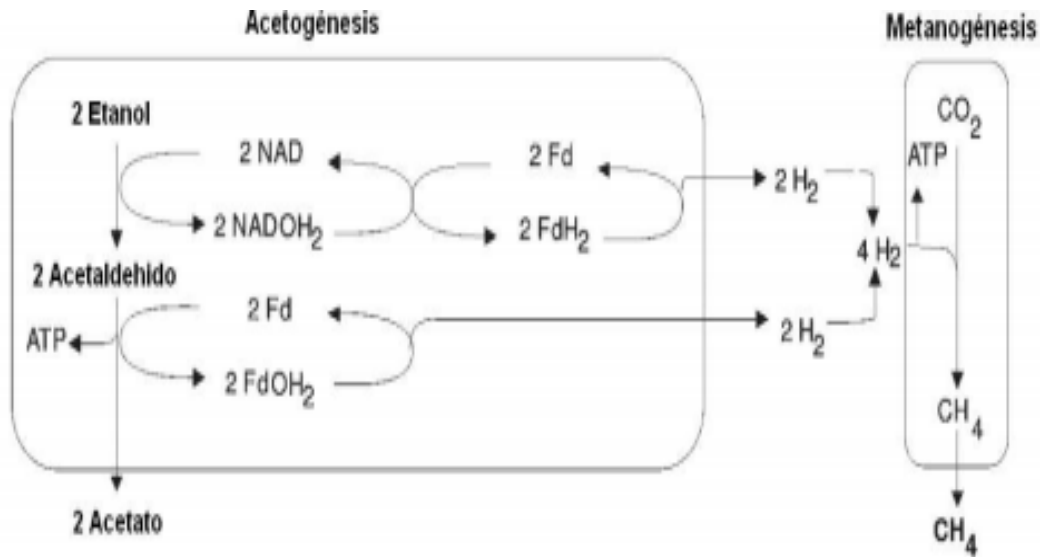


Anexo 18: Reacciones Acetogénicas

Ácido propiónico	$CH_3(CH_2)COOH + 2H_2O \rightarrow CH_3COOH + CO_2 + 3H_2$
Ácido butírico	$CH_3(CH_2)_2COO^- + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COO^- + H^+ + 2H_2$
Ácido valérico	$CH_3(CH_2)_3COOH + 2H_2O \rightarrow CH_3COO^- + CH_3CH_2COOH + H^+ + 2H_2$
Ácido isovalérico	$(CH_3)_2CHCH_2COO^- + HCO_3^- + H_2O \rightarrow 3CH_3COO^- + H_2 + H^+$
Ácido caprónico	$CH_3(CH_2)_4COOH + 4H_2O \rightarrow 3CH_3COO^- + H^+ + 5H_2$
$CO_2 + H_2O$	$2CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_3COO^- + H^+ + 2H_2O$
Glicerina	$C_3H_8O_3 + H_2O \rightarrow CH_3COOH + 3H_2 + CO_2$
Ácido láctico	$CH_3CHOHCOO^- + 2H_2O \rightarrow CH_3COO^- + HCO_3^- + H^+ + 2H_2$
Etanol	$CH_3(CH_2)OH + 2H_2O \rightarrow CH_3COO^- + 2H_2$

Fuente: Equipo de Investigación

Anexo 19: Degradación Acetogénica



Anexo 20: Tipos de fermentación y rangos de trabajo

Tipo de Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de Fermentación
Psicrofílica	4 – 10°C	15 – 18°C	25 – 30°C	Arriba de 100 días
Mesófilica	15 – 20°C	28 – 33°C	35 – 45°C	30 – 60 días
Termofílica	25 – 45°C	50 – 60°C	75 – 80°C	10 – 15 días

Fuente: (Lagrange, 1979 pág. 249)

Anexo 21: Valores de pH para la Producción del Biogás

Valores de pH para la producción de Biogás		
pH	7 – 7.2	Óptimo
pH	6.2	Retarda la acidificación
pH	7.6	Retarda la amonización

Fuente: (Lagrange, 1979, pág. 249)

Anexo 22: Rastro Meganicsa



Fuente: creación propia

El área de sacrificio está estructurada en tres secciones:

- El área de matanza: equipada con dos mesas de concreto donde se clasifican las partes extraídas en el destace, sitio de lavado con un sistema de desagüe para residuos líquidos y un sistema de deposición para residuos sólidos, aisladas debidamente con correcta señalización e iluminación.
- Área de corte: provista con dos mesas de concreto para trabajo de corte y separación de la carne de los huesos del bovino, cuenta con un área de lavado, y embazado de la carne en barriles de plástico.
- Área de desechos: Los desechos de destace y corte son transportados para luego ser depositados en pilas para residuos líquidos y sólidos. (Ver anexo 31 y 34).

Anexo 23: Método para determinar metano por desplazamiento de NaOH

A. Principio del método

La medición de los volúmenes de gas metano generados durante el proceso de digestión anaeróbica del residuo orgánico biodegradable bajo estudio, se realizó mediante el montaje de la técnica de desplazamiento volumétrico de la solución de NaOH y de agua destilada. De esta forma se desarrollaron mediciones de la producción total y acumulada tanto del biogás como del gas metano generado.

La técnica consiste en la utilización de una botella de vidrio, la cual se llena con una solución de hidróxido de sodio (3% [m/v]) y se adicionan 10 gotas de indicador fenolftaleína permitiendo la coloración de la solución con una tonalidad fucsia.

La adición de este indicador es necesaria para establecer si la solución de NaOH está reteniendo el dióxido de carbono que ingresa en el biogás; un cambio de una tonalidad fucsia oscuro a fucsia claro indica una disminución del pH de la solución y por lo tanto un aumento de la concentración del sistema ($\text{CO}_2\text{-HCO}_3$) en la solución de NaOH.

Mediante la conexión de la sonda de macro goteo que proviene del reactor anaeróbico en la botella con soda, se desarrolla el burbujeo del volumen de biogás. Cuando el biogás ingresa a la botella de medición el contenido de CO_2 presente en el biogás es retenido por la solución de hidróxido de sodio y el gas metano se ubica en la parte superior de la botella invertida.

El volumen de metano acumulado es igual al volumen desplazado de la solución contenida en la botella de medición. El volumen desplazado de NaOH es recolectado en un beacker que sale a través de otra sonda de macro goteo.

B. Equipos y materiales

- Equipos para venoclisis (sonda de macro goteo)
- Botellas de vidrio para digestión
- Recipientes de plástico de 3 litros
- Soporte universal
- Pinzas
- Agitador de vidrio
- Beacker
- Embudo cónico
- Aro metálico

C. Reactivos

- Hidróxido de Sodio (NaOH) 1N
- Fenolftaleína

D. Preparación de reactivos

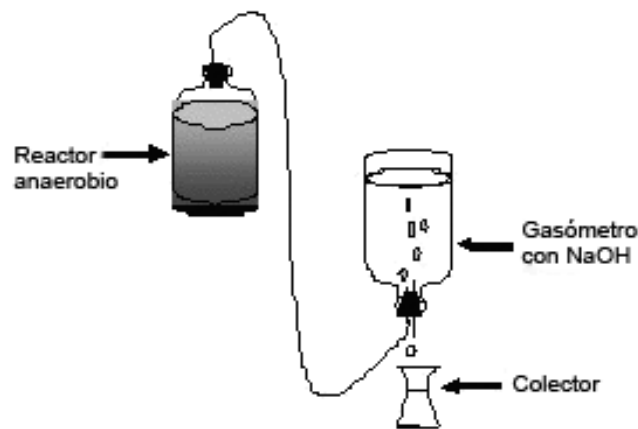
Solución de hidróxido de sodio (NaOH) 1N:

- Se prepara una solución de NaOH al 3%.

$$\% \frac{p}{v} = \frac{g \text{ soluto}}{mL \text{ solución}} \times 100 \quad \rightarrow \quad g \text{ soluto} = \frac{mL \text{ de solución} \times 3\%}{100}$$

- Se procedió a disolver los 30g de NaOH con agua destilada. Se dejó enfriar y luego se transfirió la solución cuantitativamente al balón volumétrico de 1000ml, completando el volumen hasta la marca de aforo con agua destilada. (Ver anexo 35)

E. Esquema del montaje



Desarrollo

Diseño del Biodigestor Elegido: tipo Batch

El biodigestor que fue seleccionado al final para implementarse en el laboratorio fue el tipo Batch, pero con una serie de modificaciones. Este tipo de biodigestor se trata básicamente de un biodigestor discontinuo, ya que no se le está suministrando carga de fermentación a diario. Como se describe en los objetivos, que se decidió elaborar un biodigestor a temperatura ambiente.

F. Carga del Biodigestor Batch

A continuación se describen de manera concisa los pasos que se deben seguir para cargar este tipo de biodigestor, ponerlo en funcionamiento y que genere biogás.

- Se calcula la carga de fermentación (Cf) que va a llevar el biodigestor, siempre en función de las dimensiones del biodigestor y teniendo en cuenta el tipo de sustrato que se va a utilizar, ya que varían las proporciones entre sustrato y agua.
- Una vez calculada la carga de fermentación (Cf) que se va a introducir en el biodigestor, se procede a pesar el sustrato en una balanza analítica. Se hicieron tres replicas con las siguientes proporciones: 1:0.5, 1:1, y 1:1.5. Se pesó 1 kg de estiércol por cada replica con su respectiva proporción de agua:

Replicas estiércol-agua

Proporciones	1: 0.5	1:1	1: 1.5
Peso de materia prima (estiércol)	1Kg	1Kg	1Kg
Volumen de agua	500ml	1000ml	1500ml

Fuente: Creación propia

- Se procedió a mezclar el sustrato con el agua en un mismo recipiente para homogenizar la mezcla e intentar eliminar la mayor cantidad de grumos y trozos grandes de sustrato.
- Seguidamente se carga el biodigestor utilizando un embudo cónico de 2" con la mezcla que se ha homogeneizado previamente.
- Una vez finalizada la carga del biodigestor, se debe higienizar toda la zona para limpiar la mezcla que haya quedado fuera del depósito, así como toda la indumentaria y equipos que se han utilizado durante el proceso.
- Por último, se anotó la fecha y hora de la carga del equipo para llevar el control, monitorización y mantenimiento del experimento.

Una vez que se procedió a poner en marcha el biodigestor, se le dio seguimiento a una serie de pautas de mantenimiento:

1. Se debe agitar el biodigestor diario, desde el momento de haber sido puesto en marcha para expulsar el oxígeno que quedó encerrado dentro del digestor al hacer la puesta en marcha del equipo.
2. Esperar el tiempo de retención fijado (28 a 30 días)

3. Analizar el pH de la muestra periódicamente para verificar que se está dentro de los rangos óptimos de pH y así, la muestra está trabajando correctamente.

4. Controlar la temperatura del sustrato para analizar la posible repercusión de la misma durante la fase de digestión anaerobia, ya que puede influir en el tiempo de residencia o incluso llegar a parar el proceso de digestión anaerobia.

G. Procedimiento

- Se agregó la solución de NaOH 1N en una botella de vidrio.
- Inmediatamente se le agrego 10 gotas de fenolftaleína
- Se procedió a instalar el equipo para venoclisis en las botellas que contienen la solución de NaOH y luego se les unió al Biodigestor.
- Se colocó cada botella conteniendo la solución de NaOH en un soporte universal de forma invertida.
- El volumen de NaOH recolectado en el Beacker, será el volumen de gas metano producido.

Anexo 24: proceso de construcción del Biodigestor Tipo Batch



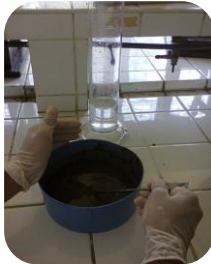
Producción y recolección de estiércol



Pesaje de Materia prima



Mezcla estiércol - agua



Disolución de la Mezcla



Preparación de la solución de NaOH



solución de NaOH preparada



Agrgando las 10 gotas de Fenolftaleina



Sistema de bioconversión ya instalado



Biodigestor generando biogás

Fuente: Creación propia



Anexo25: Entrada de las Reses de Destace al Rastro



Anexo 26: Reses de crianza pertenecientes al rastro Meganicsa



Anexo 27: Reses Listas para el Sacrificio



Anexo 28: Área de Desagüe de los desechos Líquidos



Anexo 29: Área de Recepción de los desechos líquidos



Anexo 30: Canal de desagüe



Anexo 31: Pilas de Recolección de los Desechos Sólidos (Estiércol)



Anexo 32: Reactivos utilizados



Anexo 33: Pesaje de muestra de estiércol



Anexo 34: Materia prima pesada



Anexo 35: Preparación de la mezcla de estiércol-agua



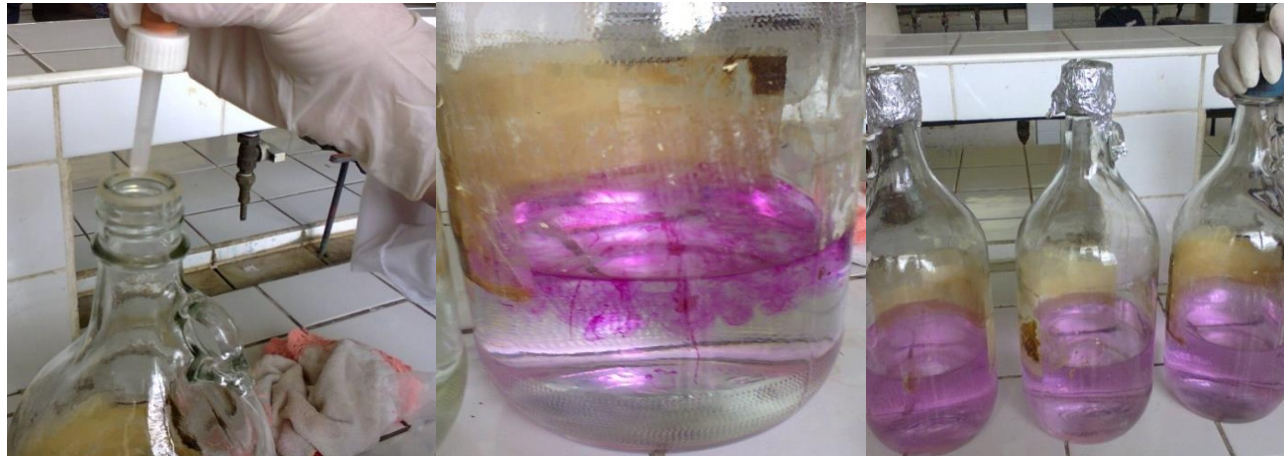
Anexo 36: Mezcla homogenizada



Anexo 37: Preparación de la solución de NaOH



Anexo 38: Soluciones de NaOH agregado a las botellas de vidrio



Anexo 39: Gotas de fenolftaleína agregadas a la solución de NaOH



Anexo 40: Sistema de bioconversión y medición instalado



Anexo 41: Desplazamiento de la solución de NaOH



Anexo 42: Biodigestores generando biogás



Anexo 43: Medición del volumen de NaOH desplazado



Anexo 44: Prueba de combustión

GLOSARIO

GLOSARIO

- **Alcalino:** Adjetivo empleado para definir determinados elementos o compuestos químicos capaces de neutralizar los ácidos y sus efectos.
- **Acción metabólica:** m. fisiol. Conjunto de reacciones bioquímicas que efectúan las células de los seres vivos para descomponer y asimilar los alimentos y sustancias que reciben del exterior: *el metabolismo comprende dos tipos de reacciones, las catabólicas y las anabólicas.*
- **Agentes patógenos:** Forman parte del ambiente y se puede clasificar de la sig. Manera: Virus, rickettsias, bacterias, hongos, protozoarios y metazoarios.
- **Acido génesis:** Implica la conversión bacteriana de los compuestos producidos en la primera etapa de la digestión anaeróbica, en compuestos intermedios identificables de menor peso molecular.
- **Biósfera:** En ecología, la biosfera o biósfera es el sistema formado por el conjunto de los seres vivos propios del planeta Tierra, junto con el medio físico que les rodea y que ellos contribuyen a conformar.
- **Biomasa:** f. Biol. Materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o de volumen. f. Biol. Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.
- **Biodigestor:** Es, en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales-no se incluyen cítricos ya que acidifican-, etcétera) en determinada dilución de agua para que a través de la fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, y además, se disminuya el potencial contaminante de los excrementos.
- **Bacterias metanogénicas:** Son un grupo especializado de bacterias anaerobias obligadas que descompone la materia orgánica y forman metano.
- **Biogás:** Es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos (bacterias metanogénicas, etc.) y otros factores, en ausencia de oxígeno (esto es, en un ambiente anaeróbico).
- **Biopolímeros:** Son especies químicas de alto peso molecular, gran tamaño y forma predominantemente alargada que forman parte de las paredes celulares de células animales y vegetales así como de exoesqueletos (esqueleto exterior) de invertebrados y endoesqueletos (esqueleto interior) de vertebrados, son los principales responsables de la capacidad biosorbente de las biomasas.

- **Carbón:** Es una roca sedimentaria de color negro, muy rica en carbono, utilizada como combustible fósil.
- **Clostridium:** Es un género de bacterias anaerobias, bacilos Gram positivas, parásitas y saprófitas algunas de ellas, que esporulan y son móviles, en general por intermedio de flagelos periticos.
- **Cieno:** Lodo que se deposita en el fondo de las lagunas o en sitios bajos y húmedos.
- **Digestión anaerobia:** Es el proceso en el cual microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno.
- **Deshidratación:** Es la pérdida excesiva de agua y sales minerales de un cuerpo.
- **Desertificación:** es un proceso de degradación ecológica en el que el suelo fértil y productivo pierde total o parcialmente el potencial de producción.

Esto sucede como resultado de la destrucción de su cubierta vegetal, de la erosión del suelo y de la falta de agua; con frecuencia el ser humano favorece e incrementa este proceso como consecuencia de actividades como el cultivo y el pastoreo excesivos o la deforestación.

- **Domo o campana:** Es un dispositivo simple de sonido realizado.
- **Endorgénicas:** se manifiestan durante los procesos anabólicos; de manera que, requieren que se le añada energía a los reactivos (sustratos o combustibles metabólicos), se le suma energía (contiene más energía libre que los reactivos).
- **Ecoempresa:** es la certificación que la Fundación Azul Ambientalistas otorga a los innovadores líderes empresarios que protegen el ambiente en Latinoamérica y el Caribe, personas comprometidas que son los pioneros de nuevas formas de hacer negocios para lograr atraer beneficios económicos a la gente y ayudar a proteger ecosistemas frágiles.
- **Energía:** Fuerza, poder: *puso toda su energía en conseguirlo.* Fuerza de voluntad o de carácter: *trata a sus trabajadores con mucha energía.* FÍS. Capacidad de los cuerpos para producir un trabajo: *energía hidráulica.*
- **Excretas:** Expulsar del organismo sustancias de desecho o secreciones elaboradas por las glándulas: *algunos animales excretan unas heces casi secas.*
- **Fermentación:** Es un proceso catabólico de oxidación incompleta, que no requiere oxígeno, siendo el producto final un compuesto orgánico.
- **Fuentes de energía:** Son elaboraciones naturales más o menos complejas de las que el ser humano puede extraer energía para realizar un determinado trabajo u obtener alguna utilidad. Por ejemplo el viento, el agua y el sol.

- **GTZ:** La Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, GTZ, GmbH es una empresa de servicios de la cooperación para el desarrollo que actúa en todo el mundo.
- **Gas natural:** Es una de las varias e importantes fuentes de energía no renovables formada por una mezcla de gases ligeros que se encuentra en yacimientos de petróleo, disuelto o asociado con el petróleo (acumulación de plancton marino) o en depósitos de carbón.
- **Gasómetro:** Instrumento para medir el volumen de los gases. Tanque en el que se almacena el gas a presión para su suministro por una red de distribución.
- **Hemicelulosa:** Son heteropolisacáridos (polisacárido compuesto por más de un tipo de monómero), formado, en este caso un tanto especial, por un conjunto heterogéneo de polisacáridos, a su vez formados por un solo tipo de monosacáridos unidos por enlaces β (1-4) (fundamentalmente xilosa, arabinosa, galactosa, manosa, glucosa y ácido glucurónico), que forman una cadena lineal ramificada.
- **Hidrolítica:** Relativo a, o que tiene la habilidad de producir hidrólisis.
- **Inoculantes:** Es un producto a base de microorganismos: hongos y/o bacterias, que aplicados a la siembra de la semilla, facilitan el crecimiento vegetal y aumentan o mantienen su rendimiento, con una dosis reducida o sin fertilizante químicos.
- **Lecho fluidizado:** Se da el nombre de fluidización al proceso de contacto que ocurre entre un sólido y un fluido (gas o líquido) en el cual el lecho formado por partículas sólidas finamente divididas se levanta y se agita por medio de una corriente ascendente de fluido.
- **Limadura:** Pulido de un material duro, como la madera o el metal, usando una lima.
- **Mesofílico:** Los organismos presentes en los residuos orgánicos y en la atmósfera comienzan a descomponer los materiales liberando calor y aumentando la temperatura, bajando el pH del compost a medida de que se van produciendo los ácidos, superando los 40°C.
- **Microorganismos:** Son organismos dotados de individualidad que presentan, a diferencia de las plantas y los animales, una organización biológica elemental.
- **Metano:** Es el hidrocarburo alcano más sencillo, cuya fórmula química es CH₄.
- **Monómeros:** Es una molécula de pequeña masa molecular que unida a otros monómeros, a veces cientos o miles, por medio de enlaces químicos, generalmente covalentes, forman macromoléculas llamadas polímeros.
- **Natas o costras:** Es un tipo de caparazón que se forma en el suelo cuando la tierra suelta es cementada por la caliza o el yeso.

- **Petróleo:** Es una mezcla homogénea de compuestos orgánicos, principalmente hidrocarburos insolubles en agua.
- **Poder calorífico:** Es la cantidad de energía que la unidad de masa de materia puede desprender al producirse una reacción química de oxidación (quedan excluidas las reacciones nucleares, no químicas, de fisión o fusión nuclear, ya que para ello se usa la fórmula $E=mc^2$).
- **Purín:** es la parte líquida que rezuma de todo tipo de estiércoles de animales, usado principalmente para referirse a los excrementos líquidos del cerdo y utilizado, junto a otros materiales orgánicos entre los que destacan los residuos sólidos urbanos, para la producción de compost.
- **Propionibacterium:** Es un bacilo Gram-positivo, de crecimiento relativamente lento, no esporulado y anaerobio estricto, aunque se cree que posee aerotolerancia.
- **Péptidos:** son un tipo de moléculas formadas por la unión de varios aminoácidos mediante enlaces peptídicos.

Los péptidos, al igual que las proteínas, están presentes en la naturaleza y son responsables por un gran número de funciones, muchas de las cuales todavía no se conocen.

- **Poda:** es el proceso de recortar un árbol o arbusto. Hecho con cuidado y correctamente, la poda puede incrementar el rendimiento del fruto; así, es una práctica agrícola común.
- **Recursos energéticos:** Son todos aquellos recursos que se encuentran en una cantidad limitada en el planeta.
- **Renovables:** adj. Que puede ser renovado: *la energía hidráulica es una forma de energía limpia que utiliza una fuente energética gratuita y renovable: el agua.*
- **Reactor:** Motor de reacción cuyo movimiento se origina mediante la expulsión de una corriente de gases producidos por él mismo y que salen en dirección contraria a la marcha. Propulsor. Avión que usa este tipo de motor. Dispositivo destinado a provocar y controlar la producción de energía nuclear: las centrales nucleares funcionan gracias a un reactor donde se produce la fisión del uranio o del plutonio.
- **Selenomona:** El género Selenomonas constituye un grupo de móviles en forma de media luna, las bacterias dentro de la Veillonellaceae de la familia e incluye las especies que viven en los tractos gastrointestinales de animales, en particular, los Rumiantes.
- **Sinérgico:** Es el resultado de la acción conjunta de dos o más causas, pero caracterizado por tener un efecto superior al que resulta de la simple suma de dichas causas.
- **Sustrato:** Superficie en la que una planta o un animal vive.

- **Simbiosis:** es una forma de interacción biológica que hace referencia a la relación estrecha y persistente entre organismos de distintas especies. A los organismos involucrados se les denomina simbiote.
- **Venoclisis:** Procedimiento utilizado para aplicar un medicamento o líquido dotado de propiedades terapéuticas directamente al torrente circulatorio a través de una vena periférica.