



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

---

---

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA U. Z  
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E  
INVESTIGACIÓN**

**APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS  
PROVENIENTE DEL ABONO DE GANADO  
VACUNO EN UN ESTABLO UBICADO EN  
IXTAPALUCA ESTADO DE MEXICO.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE  
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL.**

**PRESENTA:**

**ING. JUAN CARLOS DOROTEO OTLICA**

**DIRECTOR: DR. JORGE MELÉNDEZ ESTRADA**



**México D.F. Junio de 2012.**





**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

*CARTA CESIÓN DE DERECHOS*

En la Ciudad de México D. F. el día 26 del mes Junio del año 2012, el que suscribe Juan Carlos Doroteo Otlica alumno del Programa de Maestría en Ciencias de Ingeniería Civil con número de registro B101274, adscrito a la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura U. Z., manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Jorge Meléndez Estrada y cede los derechos del trabajo intitulado “Aprovechamiento de Biogás Proveniente del Abono de Ganado Vacuno En Un Establo Ubicado en Ixtapaluca Estado de México”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección, e-mail: [jcdoroteo@yahoo.com.mx](mailto:jcdoroteo@yahoo.com.mx). Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

J. Carlos D.O.

Nombre y firma

## **Agradecimientos:**

Gracias, una palabra que no abarca lo que deseo expresar para todos aquellos que estuvieron conmigo en este arduo camino y una palabra que no alcanza para agradecer a tantas personas que me apoyaron, aun así GRACIAS.

A Dios.

Caray, como pagar tanto apoyo, deseos cumplidos, metas alcanzadas, Compañía, Sabiduría compartida, Libertad... Tantas y tantas cosas, Señor.

A mis Padres.

Señores, agradezco todo el amor, la confianza y el cariño que me han brindado, se que nunca encontrare la forma para poder pagar todo lo que me han dado y hecho por mí. Gracias a ustedes soy quien soy y soy como soy, señores va por ustedes.

A mis hermanos.

Gracias por la confianza que me tienen y espero no fallarles en todo lo que esperan de mi, esto es por ustedes.

A mi Esposa e Hijos.

Diría que Odín me odia pero como decirlo si me concedió tenerlos a mi lado, algunos tienen mucho dinero, casas, coches, lujos y Yo... los tengo a ustedes qué más puedo pedir, nada que valga tanto como ustedes, este trabajo es por y para ustedes.

A los profesores.

Por haber compartido sus conocimientos y ayudar a mi formación, de todos y cada uno ellos aprendí algo, Dr. Jorge muchas gracias y a todos muchas gracias por toda la ayuda brindada y también por hacerme ver que un profesor no solo es alguien con autoridad, si no alguien que también puede ser un amigo.

A mis amigos, compañeros de escuela y de trabajo, gracias por su apoyo y comprensión.

<b>INDICE</b>		<b>PÁGINA</b>
Lista de Tablas.		III
Lista de Figuras.		IV
Lista de Acrónimos.		V
Glosario.		VI
Resumen.		VIII
Abstract.		X
Introducción.		XII
Objetivos.		XIV
Justificación.		XV
Capítulo 1	Antecedentes.	1
	1.1 Historia del Biogás.	2
	1.2 Definición del Biogás.	3
	1.3 Composición y características del Biogás.	3
	1.4 Ventajas, Desventajas y Usos del Biogás.	4
	1.5 Disponibilidad de Materia Prima.	7
	1.6 La Producción del Biogás.	8
	1.7 La Situación en la Unión Europea.	9
	1.8 La Producción Mundial y Situación Actual.	11
	1.9 La Situación en México.	12
	1.10 La Biomasa como Fuente de Energía.	14
	1.11 Contexto Mundial y Nacional.	15
	1.12 Electrificación Rural con Fuentes de Energía Renovables en México.	16
	1.13 El Uso de Biomasa como fuente de Energía Eléctrica.	16
	1.14 Proyectos para Obtención de Biogás en México.	17
	1.14.1 Acciones Dirigidas Hacia La Producción De Biogás Por Desarrollos Agropecuarios.	18
	1.15 Dos Casos que se Llevaron a Cabo.	20
Capítulo 2	Tipos de Biodigestores.	21
	2.1 Tipos de Biodigestores.	22
	2.2 Biodigestores de Alimentación por Lote.	22
	2.3 Biodigestores de Alimentación Continua.	22
	2.4 Digestor Tipo Chino.	24
	2.5 Digestor Tipo Hindú.	25
Capítulo 3	Área de Estudio.	27
	3.1 Descripción de la Situación Actual.	28
	3.2 Historia de Río Frío.	28
	3.3 Ubicación Geográfica.	29

---

3.4	Situación Actual en el Establo.	30
3.5	Aprovechamiento de Residuos Orgánicos.	30
Capítulo 4	Metodología.	31
4.1	Metodología.	32
4.2	Caracterización de Excretas.	34
4.3	Resumen de resultados en pruebas de laboratorio.	35
4.4	Muestreo de Excretas.	35
4.5	Determinación de Densidad Real.	36
4.6	Determinación del Contenido de Humedad.	36
4.7	Determinación de Densidad Aparente y Porosidad.	37
4.8	Determinación del Contenido de Materia Orgánica.	38
4.9	Determinación de la reacción de las Excretas (pH).	39
4.10	Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).	39
4.11	Determinación de la Cantidad de Carbono Orgánico Total.	40
4.12	Determinación de la Cantidad de Nitrógeno Total (Orgánico).	41
4.13	Determinación de la Cantidad de Fosforo.	42
4.14	Relación Agua – Excretas.	43
Capítulo 5	Resultados (Diseño del Biodigestor).	44
5.1	Parámetros de Diseño.	45
5.2	Selección del Sitio.	46
5.3	Calculo de los Componentes.	47
5.3.1	Cantidad de Energía Consumida Mensualmente.	47
5.3.2	Volumen de la Cámara del Biodigestor y Dimensiones.	48
5.3.3	Cantidad de Excretas Requeridas.	49
Capítulo 6	Análisis de Resultados.	51
6.1	Análisis de Biogás.	52
6.2	Obtención de la curva de calibración de Metano	54
6.3	Análisis cromatografico para la cuantificación de Metano.	55
6.4	Contenido de Metano en muestras de Biogás.	55
6.5	Contenido de Dióxido de Carbono en muestras de Biogás.	55
6.6	Resultados finales.	56
6.7	Eficiencia del Biodigestor.	57
Conclusiones.		1
Recomendaciones.		3
Literatura citada.		5
Anexos.		8

**LISTA DE TABLAS.**

Tabla 1.1 Elementos que contiene el biogás.

Tabla 1.2 Las características del Biogás.

Tabla 1.3 Rendimiento de los artefactos por medio de biogás.

Tabla 1.4. Cantidades de estiércol por diversos animales en rellenos sanitarios.

Tabla 1.5. Producción mundial de residuos sólidos urbanos 2007.

Tabla 1.6. Producción de energía primaria en los años 1992 y 1993 en México.

Tabla 1.7. Consumo final de energía por sectores, 1992

Tabla 1.8. Distribución de las fuentes de energía en el país.

Tabla 1.9. Cantidad de biomasa de acuerdo a diversos usos de la tierra

Tabla 1.10. Cantidad de biomasa de acuerdo a diversas coberturas en áreas bajo cultivo

Tabla 1.11. Proyectos de investigación sobre digestores desarrollados en el IIE.

Tabla 4.1. Resumen de los resultados obtenidos con las diferentes pruebas.

Tabla 4.2. Calculo de la densidad real de excretas.

Tabla 4.3. Calculo del porcentaje de humedad de excretas.

Tabla 4.4. Calculo de la densidad aparente y la porosidad de excretas.

Tabla 4.5. Calculo del porcentaje de materia orgánica en las excretas.

Tabla 4.6. Calculo del pH en las excretas.

Tabla 4.7. Calculo del DQO en las excretas.

Tabla 4.8. Cantidad de Carbono Orgánico Total en las excretas.

Tabla 4.9. Cantidad de Nitrógeno Total (Orgánico) en las excretas.

Tabla 4.10. Cantidad de Fosforo en las excretas.

Tabla 4.11. Relación Agua – excretas.

Tabla 5.1 Producción de estiércol de varios tipos de animales.

Tabla 5.2. Tiempos de digestión anaerobia en materia prima.

Tabla 5.3 equivalencia de 1 m<sup>3</sup> de biogás con otros combustibles.

Tabla 5.4 Datos básicos de diseño-biogás de excretas de ganado vacuno.

Tabla 6.1 contenido de metano en las muestras de biogás.

Tabla 6.2 Contenido de Dióxido de Carbono y otros Gases en la muestra de biogás.

Tabla 6.3 Porcentaje de Metano, Dióxido de Carbono y otros Gases en la muestra de biogás.

## **LISTA DE FIGURAS.**

Figura 1.1. La composición del Biogás.

Figura 1.2 Diferentes aplicaciones del biogás.

Figura 1.3. Consumo de Biogás a nivel Unión Europea.

Figura 1.4. Consumo de Biogás a nivel Unión Europea en términos de energía primaria.

Figura 1.5. Perspectiva de Consumo de Biogás a 2010 a nivel Unión Europea en términos de potencia instalada. (Mega watts al año).

Figura 1.6. Explotaciones de proyectos de Biogás en términos de energía primaria a nivel Unión Europea.

Figura 2.1. Biodigestor tipo Chino.

Figura 2.1. Biodigestor tipo Hindú.

Figura 3.1. Ubicación del poblado de Rio Frio Estado de México.

Figura 3.2. Vista Satelital de la ubicación del poblado de Rio Frio Estado de México.

Figura 4.1 Esquema de la metodología empleada en el presente trabajo.

Figura 5.1 Vista interior del establo del área destinada para colocar el Biodigestor.

Figura 5.2 Imágenes que muestran el proceso de montaje del Biodigestor en el establo “Los Montañó”.

Figura 6.1. Cromatografo de Gases Perkin Elmer.

Figura 6.2. Graficas obtenidas del Cromatografo de Gases.

Figura 6.3 Mezcla de excretas en Biodigestor.

## ACRÓNIMOS.

<b>LP</b>	Licuado de petróleo.
<b>SIE</b>	Sistema de Información Energética.
<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
<b>SAHOP</b>	Subsecretaria de Asentamiento Humanos y Obras Públicas.
<b>IIED</b>	Institute for Environment and Development.
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization.
<b>IIE</b>	Instituto de Investigaciones Eléctricas.
<b>GEI</b>	Gases de Efecto Invernadero.
<b>FIRCO</b>	Fideicomiso de Riesgo Compartido.
<b>PEMEX</b>	Petróleos Mexicanos.
<b>ONU</b>	Organización de las Naciones Unidas.
<b>NMX</b>	Normas Mexicanas.
<b>CINVESTAV</b>	Centro de Investigación Avanzada.
<b>IPN</b>	Instituto Politécnico Nacional.
<b>SAGARPA</b>	Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
<b>GEP</b>	Global Environmental Facilities.

## GLOSARIO.

**Aeróbico:** Aerobio o aeróbico aquel organismo que necesita oxígeno para poder vivir o desarrollarse. Se aplica también a los procesos implicados y a los ambientes donde se realizan.

**Anaeróbico:** Término técnico que significa “vida sin aire”, opuesto al término aeróbico. La digestión anaeróbica es la simplificación de la materia orgánica por bacterias, sin oxígeno. El proceso anaeróbico es el resultado de la falta de oxígeno en el medio de vivencia de algún tipo de bacteria o microorganismo viviente.

**Biodigestor:** Contenedor cerrado, hermético e impermeable, dentro del cual se deposita material orgánico para su descomposición en gas metano y fertilizantes orgánicos mediante diferentes procesos químicos.

**Biogás:** 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). Este gas se ha venido llamando gas de los pantanos, puesto que en ellos se produce una biodegradación de residuos vegetales semejante a la descrita.

**Biomasa:** Masa de materia orgánica no fósil de origen biológico. Una parte de este recurso puede ser explotada eventualmente con fines energéticos o de producción eléctrica. Aunque las distintas formas de energía de la biomasa se consideran siempre como renovables, debe señalarse que su índice de renovación es variable, ya que está condicionado por los ciclos estacionales y diarios de flujo solar, los azares climáticos y el ciclo de crecimiento de las plantas.

**Cambio Climático:** Cambio del clima que se atribuye directa o indirectamente a la actividad del hombre, que altera la composición de la atmósfera planetaria y que se suma a la variabilidad climática natural observada en períodos de tiempo comparables.

**Combustible;** Material oxidable capaz de producir combustión en condiciones apropiadas; tal como el carbón, petróleo y sus derivados, gas natural, madera, etc. Sustancia capaz de producir energía por procesos distintos al de la oxidación, incluyéndose como tales los materiales fisionables y fusionables.

**Cromatografía:** La cromatografía gaseosa es una técnica de separación y análisis de mezclas de sustancias volátiles basado en la distribución de los componentes de una mezcla entre dos fases inmiscibles, una fija y otra móvil. En cromatografía gaseosa, la fase móvil es un gas que fluye a través de una columna que contiene a la fase fija.

**Densidad:** Propiedad intensiva de la materia que relaciona la masa de una sustancia y su volumen a través del cociente entre estas dos cantidades. Se expresa en gramos por centímetro cúbico, o en libras por galón.

**DQO:** Demanda Química de Oxígeno, parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida.

**DBO:** Demanda Bioquímica de Oxígeno, parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidadada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión.

**Electricidad:** Parte de la física que estudia los fenómenos que proceden de la interacción de cargas eléctricas. Calidad de los electrones y núcleos atómicos responsable de los átomos y de las moléculas. Hay dos clases de electricidad, que se denominan positiva y negativa.

**Energía Eléctrica:** Energía que se transmite por un circuito eléctrico. Viene dada por la integral respecto al tiempo de la potencia instantánea que existe en un circuito.

**Energía Eólica:** Energía ligada a la actividad solar que origina sobre el planeta diferencias de presión atmosférica y de temperatura. Las corrientes horizontales de aire actúan permanentemente sobre el globo con flujos verticales del aire debidos a la evaporación de superficies marítimas extensas. La dirección del viento está también influida en cierta medida por la rotación de la tierra, a través de las fuerzas de Coriolis. No se puede disponer de la energía eólica producida por dichas corrientes de aire más que con intensidades variables que van desde la calma hasta las condiciones extremas del huracán.

**Energía Renovable:** Sistemas y tecnologías en su definición de —renovables||: biomasa (biomasa sólida, carbón de leña, biogás, biocombustibles y desechos municipales).

**Establo:** Espacio destinado al alojamiento del ganado bovino, equino y asnar.

**Estequiométrico:** Cálculo de las relaciones cuantitativas entre reactivos y productos en el transcurso de una reacción química. Estas relaciones dependen directamente de las leyes de conservación y se deben determinar por una ecuación ajustada de la reacción.

**Excretas:** Expulsar del organismo sustancias de desecho o secreciones elaboradas por las glándulas: algunos animales excretan unas heces casi secas.

**Fauna Nociva:** Conjunto de especies animales potencialmente dañinas para la salud y la economía, que nacen, crece, se reproducen y se alimentan de los residuos orgánicos que son depositados en tiraderos, basurales y rellenos.

**Fermentación:** Proceso anaeróbico de oxidación incompleta que da como resultado la producción de un compuesto orgánico. El compuesto que se obtiene es un derivado del sustrato que se ha oxidado anteriormente. La fermentación artificial es cuando el hombre la propicia en las condiciones necesarias.

**Gasificador:** Contenedor que transforma los desechos orgánicos, generalmente agrícolas, en biogás que se emplea en motores de combustión interna o calderas. La transformación de energía se lleva a cabo a través de varios procesos físicos y químicos.

**Hidrocarburos:** Compuestos químicos constituidos completamente de hidrógeno y carbono.

**Metano:** (del griego methy vino, y el sufijo -ano1 ) es el hidrocarburo alcano más sencillo, cuya fórmula química es CH<sub>4</sub>.

**Metanogénesis:** Formación de metano por microbios, generalmente organismos muy antiguos. Es además el paso final de la descomposición de la biomasa para generar biocombustible.

**pH:** Medida de la acidez o la alcalinidad de una solución, de acuerdo a la concentración de iones hidronio (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>) presentes en dicha sustancia. pH es la abreviatura de “potencial de hidrógeno”.

**RESUMEN.**

El presente estudio demuestra que el Biogás es una opción real en la oferta de energías sustentables, con sustanciales ventajas comparativas respecto de otras fuentes, además de que contribuye en la disminución del consumo de combustibles fósiles y fuentes de energía que en este caso en particular son costosas y poco accesibles, reduce el efecto de la contaminación local y regional en el establo “los Montañó” y ayuda al fortalecimiento de la economía familiar.

La importancia del Biogás, radica en el hecho de que México se proyecta ya como un país deficitario en la producción de gas, entonces, una de las alternativas más viables es invertir en el Biogás que puede producirse con las excretas del ganado vacuno en el establo, ya que son elementos básicos en la producción de metano y bióxido de carbono, que desafortunadamente no son aprovechados y por el contrario crean una fuente de contaminación desde el punto de vista ambiental, físico, visual y económico.

En el establo “Los Montañó” se tiene la grave problemática de no tener un lugar adecuado para la disposición de las excretas generadas por el ganado vacuno por lo que se buscó una posible solución de utilizar estas excretas para no tener que disponerlas en lugares donde puedan ser criadero de fauna nociva principalmente.

En el desarrollo de la presente investigación se analizó la posibilidad de instalar un Biodigestor piloto de Biogás en el establo, para, como ya se comento darle un uso a las excretas generadas en dicho establo.

En este establo se cuenta con la materia prima para el abastecimiento del Biodigestor, además de suficiente terreno del propietario, el cual generaría múltiples ventajas y oportunidades para sus diversos usos, tales como la generación de electricidad y de gas para el consumo del hogar. Para esto se inició una búsqueda de antecedentes en diferentes partes de la República Mexicana, que nos dieran un panorama más amplio de la producción de Biogás, posteriormente se inicio con el muestreo y caracterización de las excretas, para el diseño del biodigestor se tomó la metodología propuesta en la tesis denominada "Diseño de un Biodigestor para una Finca del Recinto San Luís de las Mercedes del Cantón Las Naves – Provincia de Bolívar” de la Escuela Superior Politécnica del Litoral de Guayaquil Ecuador (2009), posteriormente se determino la composición porcentual de los componentes del Biogás obtenido.

En la realización del estudio se obtuvieron resultados que muestran que el Biogás obtenido cumple con los requerimientos para ser aprovechado en la generación ya sea de energía eléctrica o en uso para generar calor, esto aun teniendo en cuenta que el establo se

encuentra en un lugar con clima regularmente frío. En los resultados finales se observó que no eran los mismos comparados con otros proyectos realizados en lugares con climas más cálidos, debido a que la digestión anaerobia actúa más eficientemente a temperaturas altas, pero, aun así los resultados en el biodigestor fueron suficientes para obtener Biogás con las características necesarias para su aprovechamiento.

**ABSTRACT.**

This study shows that biogas is a real option for sustainable energy supply, with substantial advantages over other sources in addition to contributing to the decline in consumption of fossil fuels and energy sources in this particular case are expensive and difficult to access, reduces the effect of local and regional pollution in the barn "the Montano" and helps to strengthen the family economy.

The LFG importance lies in the fact that Mexico is projected as a deficit country in the production of gas, so one of the most viable alternative is to invest in biogas which can occur with the excreta of cattle in the barn because they are basic elements in the production of methane and carbon dioxide, which unfortunately are not utilized and instead create a source of contamination from the standpoint of environmental, physical, visual and economic development.

In the barn "The Montano" takes the serious problem of not having a suitable place for disposal of manure generated by cattle so they looked for a possible solution using these excreta to avoid having to arrange them in places where they can be mainly farm vermin.

In developing this research examined the possibility of installing a biogas pilot biodigester in the stable, for, as already commented give an application to the excreta generated in that barn.

This barn has the raw material to supply the biodigester, plus enough land owners, which generate many benefits and opportunities for its various uses, such as the generation of electricity and gas for household consumption. For this began a background search in different parts of Mexico, give us a broader picture of the production of biogas, then began to sampling and characterization of manure to the digester design methodology was taken proposed in the thesis entitled "Design of a biodigester for Campus Villa San Luis de las Mercedes of Canton The Ships - Bolivar Province" of the Polytechnic School of the Litoral in Guayaquil Ecuador (2009), later determined the percentage composition of Biogas components obtained.

In the study results did show that the biogas obtained meets the requirements to be exploited in generating either electricity or used to generate heat, this even considering that the barn is in a place with cold weather regularly. In the final results showed that there were the same compared to other projects in places with warmer climates, because anaerobic digestion operates more efficiently at high temperatures, but still results in the digester were sufficient to obtain biogas with the necessary characteristics for its use.

This study shows that biogas is a real option for sustainable energy supply, with substantial advantages over other sources in addition to contributing to the decline in consumption of fossil fuels and energy sources in this particular case are expensive and difficult to access, reduces the effect of local and regional pollution in the barn " los Montaña " and helps to strengthen the family economy.

The biogas importance lies in the fact that Mexico is projected as a deficit country in the production of gas, so one of the most viable alternative is to invest in biogas which can occur with the excreta of cattle in the barn since they are basic elements in the production of methane and carbon dioxide, which unfortunately are not utilized and instead create a source of contamination from the standpoint of environmental, physical, visual and economical.

In the development of this research was analyzed the possibility of installing a biogas pilot biodigester in the barn " los Montañaño " in the Mexico state, where the stable which does not have the infrastructure to dispose of sewage generated by the cattle.

This barn has the raw material to supply the biodigester, plus enough land owners, which generate many benefits and opportunities for its various uses, such as the generation of electricity and gas for household consumption.

In the study results were satisfactory even considering that the barn is in a place with cold weather regularly which is the main feature with which you would have to deal with, in the final results were observed that were not the same compared with other projects in places with warmer climates, as known the anaerobic digestion works high temperatures, but even so the results in the digester were sufficient to obtain the necessary features Biogas for its use.

## INTRODUCCIÓN.

Desde la revolución industrial los combustibles fósiles han constituido una gran parte de nuestros energéticos, sin embargo el crecimiento de la población ha dado lugar a que estos recursos se vean agotados, causando además un serio problema en el medio ambiente debido a los gases efecto invernadero.

El aumento del precio de los combustibles fósiles y los esfuerzos por reducir este tipo de emisiones que producen el efecto invernadero han producido un interés considerable en las fuentes de energía renovables.

Por otro lado existen comunidades rurales en donde no cuentan con energía eléctrica, sin embargo se tienen grandes cantidades de desechos orgánicos constituyendo una oportunidad para desarrollar tecnología de gasificación de biogás.

El biogás se transforma en energía eléctrica mediante procesos térmicos y biológicos. El proceso de gasificación en residuos orgánicos es el que atrae mayor interés debido a que tiene una mayor eficiencia comparado con la combustión.

Según los pronósticos de perspectivas mundiales de la Organización Internacional de Energía, la demanda mundial de energía primaria en 2030 podrá sobrepasar en cerca de dos tercios el nivel del año 2006, alcanzando al final un equivalente de 15,300 millones de toneladas de petróleo anuales, lo que representa para los países en desarrollo un 62 por ciento de aumento. De igual manera se prevé que para el año 2025, el consumo de energía en el mundo en desarrollo aumente a casi el doble.<sup>1</sup>

El Biogás consiste principalmente de gas metano (55%-65%) producido por materia orgánica. Tiene la ventaja que a través de éste se puede generar energía eléctrica, iluminación, calor y potencia mecánica; el tren metropolitano regiomontano (metro) es el primer transporte colectivo de su tipo en México que utiliza energía generada a través de residuos sólidos para desplazarse. La energía eléctrica utilizada es generada a partir de los gases producidos en la descomposición de los residuos orgánicos de un relleno sanitario ubicado en el municipio de Salinas Victoria en el estado de Monterrey, México<sup>2</sup>.

En el presente trabajo se diseñó un Biodigestor para un establo ubicado en la comunidad de Río Frío, municipio de Ixtapaluca, Estado de México, con la finalidad de obtener una

---

<sup>1</sup> [http://www.iea.org/work/2011/statistics/s1\\_kwes.pdf](http://www.iea.org/work/2011/statistics/s1_kwes.pdf)

<sup>2</sup> <http://www.epa.gov/lmop/documents>

producción de biogás que pueda cubrir al menos el 30% el consumo mensual de energía como electricidad y gas (LP) para cocinar, y con el efluente se podrá reducir en un gran porcentaje la utilización anual de fertilizantes químicos aplicados en algunos terrenos de cultivo.

En el diseño del biodigestor se toman en consideración diferentes aspectos de la finca como el consumo mensual de electricidad y gas (LP), la disponibilidad de la materia prima (estiércol de ganado vacuno), espacio físico, temperatura del lugar y la disposición del recurso económico para cubrir los gastos de construcción, operación y mantenimiento del biodigestor.

La metodología que se siguió para el desarrollo de este proyecto es la siguiente:

- Visita a la zona de implementación.
- Auditoria de las cantidades de materia prima generada.
- Conocimientos e investigación propia.
- Realización de cálculos y determinación de dimensiones.

Por último se proponen algunos equipos que utilicen Biogás para su funcionamiento y puedan ser utilizados o que reemplacen a otros en el establo “los Montañó”.

**OBJETIVOS:**

**GENERAL:**

- Aprovechar el biogás proveniente del abono de ganado vacuno en un establo ubicado en Ixtapaluca Estado de México denominado “Los Montaña”.

**PARTICULARES:**

- Determinar la mejor relación excreta agua para ser utilizada en el proceso y obtener mayor producción de Biogás.
- Caracterización Físico Química de las excretas de ganado vacuno generadas en el establo “Los Montaña”
- Diseñar un biodigestor que cumpla con los requerimientos técnicos para la obtención de biogás necesaria para cumplir la demanda del establo.
- Determinación de la composición porcentual de los componentes del Biogás obtenido.

## **JUSTIFICACIÓN.**

Desde la revolución industrial los combustibles fósiles han constituido una gran parte de nuestros energéticos, sin embargo el crecimiento de la población ha dado lugar a que estos recursos se vean agotados, causando además un serio problema en el medio ambiente debido a los gases efecto invernadero.

El aumento del precio de los combustibles fósiles y los esfuerzos por reducir este tipo de emisiones que producen el efecto invernadero han producido un interés considerable en las fuentes de energía renovables.

México tiene que aprovechar su potencial energético proveniente del viento, el sol, la biomasa, la fuerza del agua tanto en corrientes como en embalses (energía hidroeléctrica), y el calor de la tierra proveniente del subsuelo (energía geotérmica).

La energía renovable abre una gran oportunidad para contribuir a nuestra seguridad energética, a la vez que nos sumamos al esfuerzo global del combate al cambio climático.

La constante disminución de gas LP debido a su indiscriminada extracción plantea la necesidad de enfocar los recursos técnicos en fuentes de generación alterna y renovable.

Una de ellas es el biogás, recurso renovable cuyo potencial no ha sido explotado en su totalidad.

En el desarrollo de la presente investigación se diseñó un biodigestor anaerobio el cual se instaló en un establo llamado “Los Montaña” en el municipio de Ixtapaluca Estado de México, lo cual permitió lo siguiente.

- Disminuir costos en la obtención de energía.
- Disminuir la contaminación visual y ambiental a nivel local del establo producida por las excretas.
- Disminuir la contaminación visual y ambiental a nivel regional producida por las excretas.
- Aprovechar las excretas producidas por el ganado en el establo “Los Montaña”.

# Capítulo 1

## Antecedentes

## 1.1. HISTORIA DEL BIOGÁS.

Las primeras menciones del Biogás se ubican en el año de 1600, cuando fue identificado por varios científicos como un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica. Posteriormente, en el año 1890 se construye el primer biodigestor a escala real en la India, y en 1896, en Inglaterra las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad.

Tras las guerras mundiales comienza a difundirse en Europa las llamadas fábricas productoras de Biogás cuyo producto se empleaba en tractores y automóviles de la época.

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

Durante la Segunda Guerra Mundial comienza la difusión de los biodigestores a nivel rural tanto en Europa como en China e India, que se transforman en líderes en la materia. Dicho evento se vio interrumpido por el fácil acceso a los combustibles fósiles y la crisis energética de la década de los 70s, en la que se reinició con gran ímpetu la investigación y extensión en todo el mundo, incluyendo la mayoría de los países latinoamericanos.

En los últimos 20 años se han tenido fructíferos resultados en cuanto a descubrimientos sobre el funcionamiento del proceso microbiológico y bioquímico, a través del material de laboratorio, que permitieron el estudio de los microorganismos que intervienen en condiciones anaerobias (ausencia de oxígeno) para producir biogás.

Estos avances en la comprensión del proceso microbiológico han estado acompañados por importantes logros de la investigación aplicada obteniéndose grandes avances en el desarrollo tecnológico. Los países generadores de tecnología más importantes en la actualidad son: China, India, Holanda, Francia, Gran Bretaña, Suiza, Italia, Estados Unidos, Filipinas y Alemania.

A través del tiempo la tecnología de la digestión anaerobia se fue especializando abarcando actualmente muy diferentes campos de aplicación con objetivos muy diferentes.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> García R. O, Sosa M.M, (2010), "Generación de Energía Eléctrica a través de la Biomasa", Instituto Politécnico Nacional.

## 1.2. DEFINICIÓN DE BIOGÁS.

Es un gas que consiste principalmente en el gas metano (55%-65%) producido por la digestión anaeróbica (en la ausencia del oxígeno molecular) de materia orgánica (figura 1.1).

Este gas se conoce por varios nombres, dependiendo de dónde se forma, dado que la digestión anaeróbica es muy frecuente en los humedales se le pone el nombre gas de pantano. Sin embargo, no importa donde se forme, todo biogás se produce con las mismas reacciones químicas para tener casi la misma composición gaseosa tablas 1.1 y 1.2.

El biogás con su alto contenido de metano, es una fuente de energía que puede usarse para cocinar, iluminar, generar calor y electricidad generando biogás.

## 1.3. COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL BIOGÁS.

Así como cualquier gas puro, las propiedades y características del Biogás dependen de la presión y la temperatura. El valor calorífico del biogás corresponde aproximadamente a la mitad de un litro de combustible diesel; el valor calorífico neto depende de la eficiencia de los quemadores o de su aplicación.<sup>4</sup>

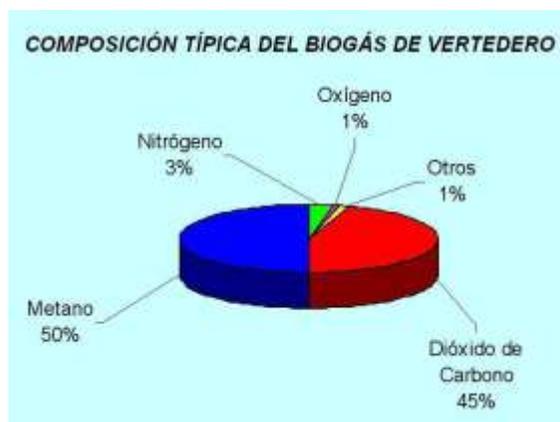


Figura 1.1. La composición del Biogás.

Fuente: Producción de biogás con fines energéticos, (Contreras, 2006).

El Biogás de vertedero constituye el métodos más común de gestión de residuos, aun cuando apareciera continuamente nuevas posibilidades, esta técnica se usa siempre y cuando se disponga de terreno libre; aquí algunas de las ventajas; método económico,

<sup>4</sup> Enciclopedia de Energía, Tecnología, Considine Douglas M., 2005, México-Barcelona, Tomo 5.

aplicable a una amplia variedad de residuos, recupera espacios libres por rehabilitación, fuente alterna de energía de calor y electricidad.

Tabla 1.1 Elementos que contiene el biogás.

Componente	Concentración por Volumen	Características
Metano (CH <sub>4</sub> )	55%	Explosivo
Bióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	35%	Acidez
Hidrogeno (H <sub>2</sub> )	<5%	Explosivo
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	<5%	Inocuo
Mercaptanos (CHS)	1.1%	Mal olor
Acido Sulfhídrico (H <sub>2</sub> S)	<2%	Mal olor, Corrosivo

Fuente: Sistemas de Energía Internacional S.A. de C.V. Aprovechamiento de los desechos sólidos municipales para la generación de Energía Eléctrica, 2008.

Tabla 1.2 Las características del Biogás.

Características	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> S	Otros	Biogás 60/40
Proporciones % volumen	55-70	27-44	1	3	100
Valor calórico mj/m <sup>3</sup>	35,8	-	10,8	22	21,5
Valor calórico kcal/m <sup>3</sup>	8600	-	2581	5258	5140
Ignición % en aire	5-15	-	-	-	6-12
Temp. Ignición en °C	650-750	-	-	-	650-750
Presión crítica en mpa	4,7	7,5	1,2	8,9	7,5-8,9
G/l	0,7	1,9	0,08	-	1,2
Densidad relativa	0,55	2,5	0,07	1,2	0,83
Inflamabilidad vol. en % aire	5-15	-	-	-	6-12

Fuente: Producción de biogás con fines energéticos, (Contreras, 2006).

#### 1.4. VENTAJAS, DESVENTAJAS Y USOS DEL BIOGÁS

##### VENTAJAS DEL BIOGÁS.

- La fermentación anaeróbica de la materia orgánica produce un residuo de excelentes propiedades fertilizantes y esto le trae beneficios al suelo, similares a los que se alcanzan con cualquier otra materia orgánica. Es decir, actúa como mejorador de las características físicas, facilitando la aireación, aumentando la capacidad de retención de humedad, la capacidad de infiltración del agua y la capacidad de intercambio catiónico.

- Actúa como fuente de energía y nutrientes para el desarrollo de núcleos microbianos que mejoran la solubilidad de los compuestos minerales del suelo. En este sentido presenta ventajas sobre el uso directo de la materia orgánica.
- Depuración ambiental y ecológica (contaminación, calentamiento global).
- Fertilizantes de gran calidad.
- Por medio de esta técnica se contribuye a la prolongación de la vida útil de las reservas con que se cuenta.
- La materia prima es existente en cualquier lugar.
- Evita la dependencia energética del exterior.
- Se Tiene gran excedente de materia prima disponible.
- Se disminuyen las emisiones nocivas que crean el efecto invernadero.
- La materia prima es un recurso doméstico, que no está afectado por fluctuaciones de precio a nivel mundial y/o por las incertidumbres producidas por las fuentes de combustibles importados.

### **DESVENTAJAS DEL BIOGÁS.**

La actividad metabólica involucrada en el proceso metanogénico se ve afectada por diversos factores. Debido a que cada grupo de bacterias que interviene en las distintas etapas del proceso responde en forma diferencial a esos cambios, no es posible dar valores cuantitativos sobre el grado que afecta cada cambio a la producción de gas en forma precisa.

Entre los factores más importantes, pueden considerarse los siguientes:

- Tipo de sustrato (nutrientes disponibles).
- Temperatura del sustrato; la carga volumétrica.
- Tiempo de retención hidráulico.
- Nivel de acidez (pH).
- Relación Carbono/Nitrógeno.
- Concentración del sustrato; el agregado de inoculantes.
- Grado de mezclado.
- Presencia de compuestos inhibidores del proceso.

### **USOS DEL BIOGÁS**

En principio el biogás puede ser utilizado en cualquier equipo comercial diseñado para uso con gas natural. La figura 1.2 resume las posibles aplicaciones.

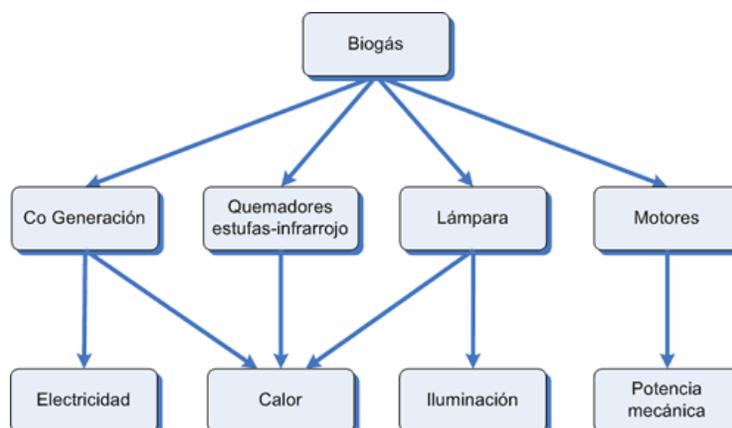


Figura 1.2 Diferentes aplicaciones del biogás.

Fuente: Energías renovables para el desarrollo sustentable en México, Secretaria de Energía, México, 2006.

En la tabla 1.3 se han listado los principales artefactos que utilizan biogás juntamente a su consumo medio y su eficiencia.

Tabla 1.3 Rendimiento de los artefactos por medio de biogás.

ARTEFACTO	CONSUMO	RENDIMIENTO (%)
Quemador de cocina	300 - 600 l/h	50 - 60
Lámpara a mantilla (60W)	120 - 170 l/h	30 - 50
Heladera de 100 L	-30 - 75 l/h	20 - 30
quemador de 10 Kw.	2 m 3 l/h	80 - 90
Infrarrojo de 200 W	30 l/h	95 - 99

Fuente: Sistemas de Energía Internacional S.A. de C.V. Aprovechamiento de los desechos sólidos municipal es para la generación de Energía Eléctrica, 2008.

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

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

Las heladeras domésticas constituyen un interesante campo de aplicación directo del biogás debido a que tienen un consumo parejo y distribuido a lo largo de las 24 horas del día lo cual minimiza la necesidad de almacenaje del gas. Recientemente se han desarrollado equipos para el enfriamiento de leche y/u otros productos agrícolas lo que abre un importante campo de aplicación directa y rentable del mismo.

Los quemadores infrarrojos comúnmente utilizados en la calefacción de ambientes, presentan como ventaja su alta eficiencia lo cual minimiza el consumo de gas para un

determinado requerimiento térmico, en la tabla 1.3 tenemos ejemplos del rendimiento de algunos artefactos en el uso de biogás.

La difusión de estos sistemas estará condicionada por la rentabilidad final. Sin embargo representa la utilización más racional del biogás ya que se obtiene una forma de energía extremadamente dúctil como la electricidad al mismo tiempo que una fuente de calor muy necesaria para la calefacción de digestores en zonas frías.<sup>5</sup>

### **1.5. DISPONIBILIDAD DE MATERIA PRIMA.**

Las materias primas fermentables son muy abundantes ya que se incluyen dentro de un amplio panorama a los excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas de las industrias (producción de alcohol, procesado de frutas, verduras, lácteos, carnes, alimenticias en general), restos de cosechas y basuras de diferentes tipos, como los efluentes de determinadas industrias químicas.

El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores).

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

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

En lo concerniente a los 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 de producción y de rendimiento en gas de los estiércoles presentan grandes diferencias. Esto debido al sin número de factores que intervienen y hacen muy difícil la comparación de resultados.

---

<sup>5</sup> Sistemas de Energía Internacional S.A. de C.V. Aprovechamiento de los desechos sólidos municipal es para la generación de Energía Eléctrica.

A modo ilustrativo se expone directamente en la tabla 1.4 las cantidades de estiércol producido por distintos tipos de animales y el rendimiento en gas de los mismos tomando como referencia el kilogramo de sólidos volátiles.<sup>6</sup>

Tabla 1.4. Cantidades de estiércol por diversos animales en rellenos sanitarios.

<b>Especie.</b>	<b>Peso vivo.</b>	<b>Kg Estiércol/día.</b>	<b>L/kg.</b>	<b>% CH<sub>4</sub>.</b>
Cerdos.	50	4,5 -6	340 – 550	65 -70
Vacunos.	400	25 - 40	90 – 310	65
Equinos.	450	12 – 16	200 – 300	65
Ovinos.	45	2,5	90 – 310	63
Aves.	1.5	0,06	310 – 620	60
Caprinos.	40	1,5	110 – 290	-

Fuente: Proyecto para la obtención de biogás a partir de estiércol, (García, 1986, datos actualizados a 2008).

## 1.6. LA PRODUCCIÓN DEL BIOGÁS.

En la actualidad la producción de biogás ha tenido un fuerte incremento debido al aprovechamiento de todo tipo de residuos biodegradables, aunado a la parte medioambiental; considerándose que se genera un subproducto del proceso que brinda comodidad y beneficios.

El aprovechamiento energético del Biogás tiene sus puntos de partida en cuatro tipos de residuos biodegradables provenientes de las ganaderías, de lodos de especializaciones depuradoras de aguas residuales, industriales y de los residuos sólidos urbanos.

Las aplicaciones de proceso de digestión anaerobia en residuos ganaderos solo son posibles tecnológicamente a partir de una elevada concentración de cabezas de ganados. El nivel de aprovechamiento energético actual de estos residuos puede considerarse como bajo, ya que el abono de animales también tiene otros usos.

El Biogás producido a partir de los residuos orgánicos tiene una aplicación energética creciente en rellenos sanitarios controlados, siendo así necesario potenciar la digestión anaerobia en biodigestores que incluya la codigestión (mezcla de diferentes subproductos en el proceso de digestión, con el objetivo de conseguir una elevada producción de biogás y la valorización de residuos orgánicos) con lodos de depuración.

<sup>6</sup> Proyecto para la obtención de biogás a partir de estiércol, García Ovando Fernando, Instituto Politécnico Nacional, México, 1986, pág. 35, datos actualizados a 2008.

Un apreciable grado de aplicación se presenta ya en el Biogás producido a partir de los residuos de instalaciones industriales y de los lodos para depurar aguas residuales.

Cabe mencionar que se tomó de base a la Unión Europea debido a su gran experiencia dentro del género.<sup>7</sup>

### 1.7. LA SITUACIÓN EN LA UNIÓN EUROPEA.

En la Unión Europea existe un gran interés por el crecimiento sustancial de las fuentes de energía renovables ya que su marco de política energética comunitaria busca disminuir con el tiempo la dependencia de los hidrocarburos, ello debido a acuerdos por parte de la comisión de las comunidades europeas como parte de una estrategia y un plan de acción para la energías limpias.

Como se puede apreciar en la figura 1.3 el Reino Unido es el país que más consume Biogás.

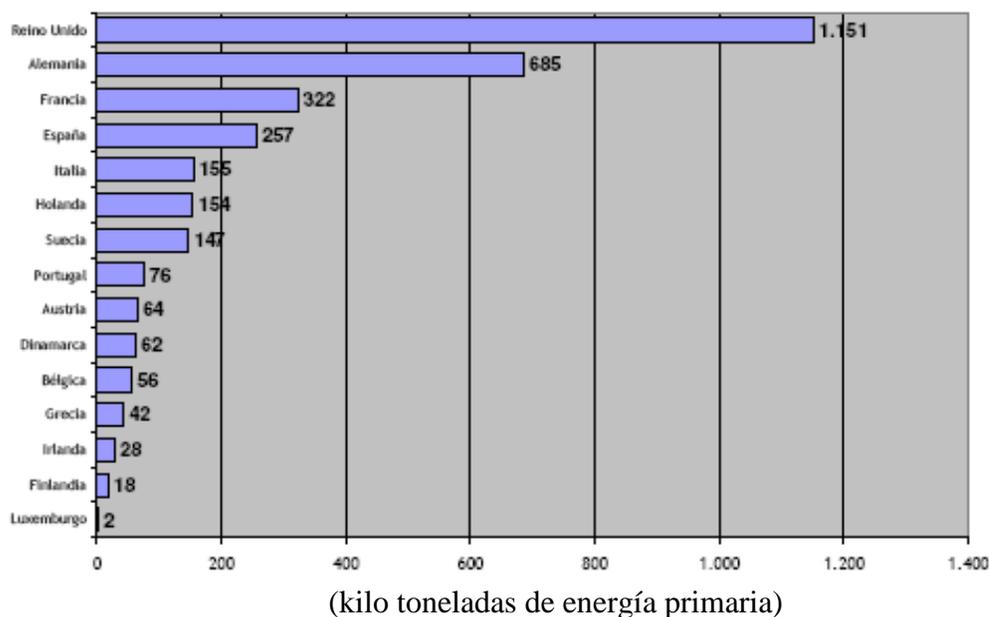


Figura 1.3. Consumo de Biogás a nivel Unión Europea.

Fuente: Plan de energía renovable de España 2005-2010, Eurobarómetro, España, 2006.

En la Unión Europea se maneja un documento que plantea un ambicioso objetivo general que consiste en la aportación de las fuentes de energía renovable en un porcentaje del 12 %

<sup>7</sup> Plan de energía renovable de España 2005-2010, Eurobarómetro, España, 2006.

de la energía primaria demandada en el año 2010. En la figura 1.4 se presenta la evolución de consumo de Biogás a Nivel Unión Europea en términos de energía primaria.

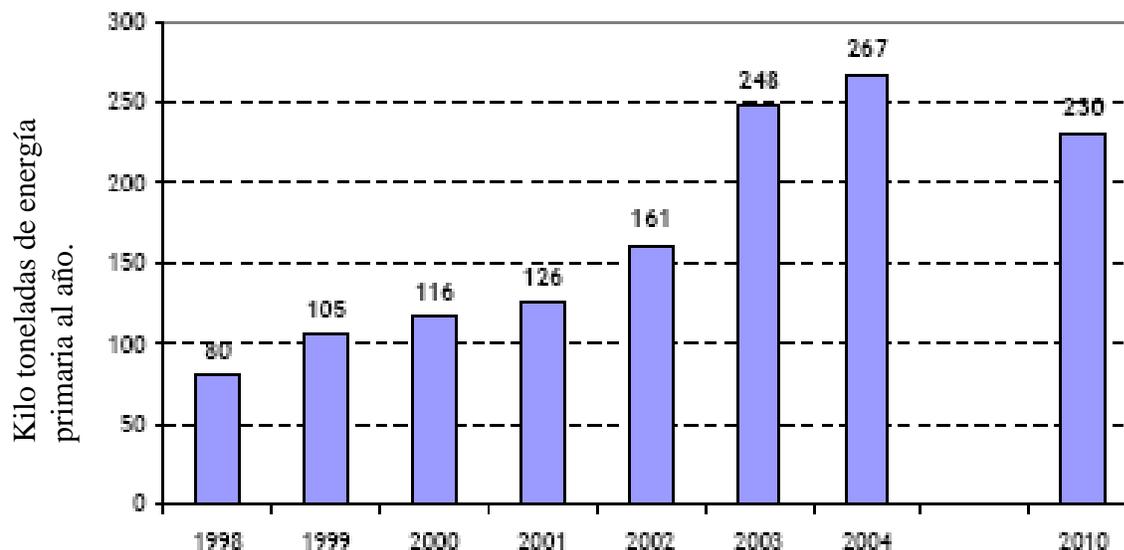


Figura 1.4. Consumo de Biogás a nivel Unión Europea en términos de energía primaria.

Fuente: Plan de energía renovable de España 2005-2010, Eurobarómetro, España, 2006.

En lo que respecta al uso energético del Biogás, el objetivo establecido para 2010 fue el incrementar la participación en el consumo energético de la Unión Europea en 15 millones de toneladas de energía primaria como lo muestra en la figura 1.5

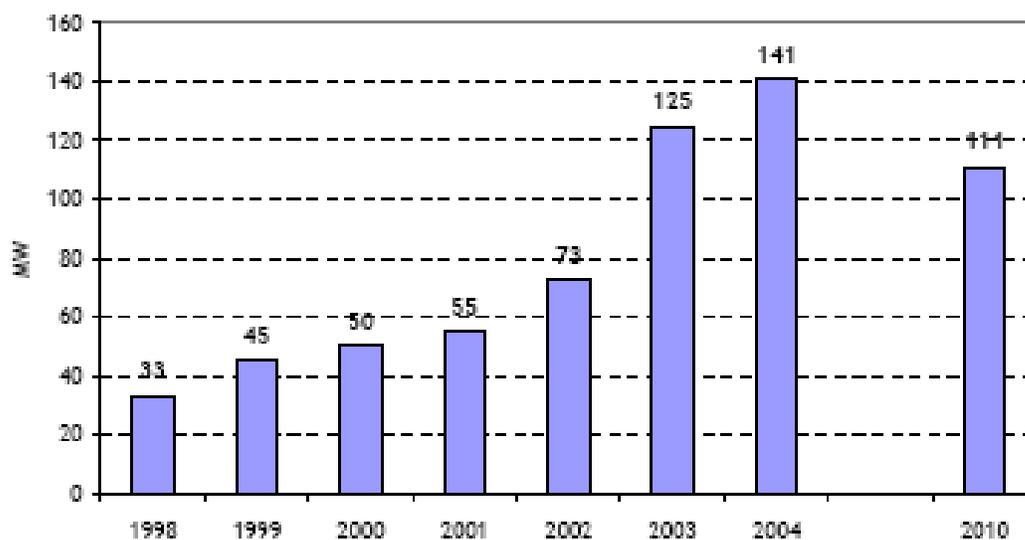
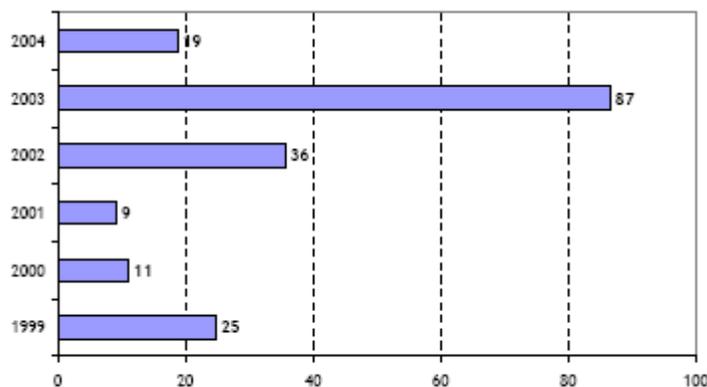


Figura 1.5. Perspectiva de Consumo de Biogás a 2010 a nivel Unión Europea en términos de potencia instalada. (Mega watts al año).

Fuente: Plan de energía renovable de España 2005-2010, Eurobarómetro, España, 2006.

En la figura 1.5 se puede observar que a finales del año 2010 el consumo de Biogás en la Unión Europea medido en términos de energía primaria, alcanzó un crecimiento del 7.3 % sobre los cuatro años anteriores. La evolución del consumo es muy heterogénea dependiendo del país de que se trate y en cualquier caso marca una tendencia que se aleja de la posibilidad de cumplir con los objetivos energéticos establecidos.

En la figura 1.6 se puede observar el avance en cuanto a explotación de proyectos de Biogás en la Unión Europea en términos de energía primaria.



(Kilo toneladas de energía primaria).

Figura 1.6. Explotaciones de proyectos de Biogás en términos de energía primaria a nivel Unión Europea.

Fuente: Plan de energía renovable de España 2005-2010, Eurobarómetro, España, 2006.

## 1.8. LA PRODUCCIÓN MUNDIAL Y SITUACION ACTUAL.

### LA PRODUCCIÓN MUNDIAL.

La población mundial supera en la actualidad los 7000 millones de habitantes. La producción de residuos sólidos urbanos de cada uno de los habitantes de la Tierra oscila ampliamente según el país, entre los valores de 0,4 y 1,2 kg / hab. día.

La producción por Continentes se muestra en la siguiente tabla 1.5:

Tabla 1.5. Producción mundial de residuos sólidos urbanos 2007.

<b>Continente.</b>	<b>Residuos (10<sup>6</sup>t/año).</b>
África.	78.
Asia.	390.
Europa.	230.
América.	390.
Australia y Oceanía.	140.
Total.	1.102

Fuente: Agencia Internacional de Energía, Contribución de renovables para la seguridad energética, 2007.

Aún en los países occidentales el vertido es la solución más extendida para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos. En España, Grecia y Portugal todavía se vierten de forma incontrolada gran parte de los residuos sólidos urbanos.

## **SITUACIÓN ACTUAL.**

Según cifras de la Agencia Internacional de Energía la producción mundial del Biogás en el año 2008 fue de 274 mil 170 gigawatts por hora, mientras que la de México asciende 432 gigawatts por hora; lo que nos indica que se ha triplicado su consumo y su aportación a los diversos balances de energía mundial y que le ha permitido superar la producción-demanda colocándose así entre una de las principales fuentes de energía renovables, y los parámetros que se usan son la cantidad generada de Biogás y de residuos sólidos urbanos y quien lleva esa cuenta es el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.<sup>8</sup>

### **1.9. LA SITUACIÓN EN MÉXICO.**

En 2006 la producción nacional de energía primaria fue de 10,619 Petajoules<sup>9</sup> de las cuales el 89,97% correspondió a los hidrocarburos como principal fuente de energía, el 7.86% a la biomasa y a la electricidad respectivamente y el 2.17% al carbón.

Con relación a los hidrocarburos del 89,97%, el 68.79% correspondió al petróleo crudo, el 19.85% al gas asociado, el cual registró un aumento del 0,33% con relación al año 2000, el 1.33% a productos condensados. En cuanto a la biomasa, del 3.24%, el 2.33% correspondió

<sup>8</sup> Biogás, generación Energética en ciernes, Vladimir M. Oscar, wordexpress, México D.F. 2008.

<sup>9</sup> Petajoules = 10<sup>15</sup> joules

a la leña y 0.91% al bagazo de caña de azúcar. Respecto a la electricidad, del 4,62%, el 2.86% correspondió a la hidroenergía, el 0,63% a geoenergía, el 0.005% a Energía Eólica y el 1.12% a la nucleoenergía (Tabla 1.6).<sup>6</sup>

Con relación al consumo final de energía por sectores, para 2006, el 44% correspondió al transporte, el 28.1% a la industria y a la minería, el 18.7% al sector residencial y público, 1.4% a Petroquímica, el 2.8% al sector agropecuario y el 2% a otros sectores (Tabla 1.7).

En cuanto a la distribución de las fuentes de energía en el país, en la Tabla 1.8, se ubican en forma general las regiones con mayor producción actual y potencial de energía renovable y no renovable.<sup>10</sup>

Tabla 1.6. Producción de energía primaria en los años 1992 y 1993 en México.

Fuentes primarias de energía	1992		1993	
	Petajoules	%	Petajoules	%
Total Nacional	9702.9	100	10618.9	100
Carbón	226.7	2.34	230.6	2.17
Bagazo de caña	88	0.91	97	0.91
Leña	250	2.58	247.2	2.33
Energía Eólica	0.1	0.001	0.5	0.005
Geoenergía	61	0.63	67	0.63
Nucleoenergía	90.3	0.93	119.4	1.12
Hidroenergía	342.1	3.53	303.5	2.86
Condensados	130.7	1.35	141.1	1.33
Gas Natural	1894.2	19.52	2108.2	19.85
Petróleo crudo	6619.8	68.22	7304.4	68.79

Fuente: Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Balance Nacional de Energía, 2006.

<sup>10</sup> Secretaría de Energía, Balance Nacional de Energía: producción de energía primaria, Sistema de Información Energética (SIE), 2008 y en Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), El sector energético en México 2007, 2007.

Tabla 1.7. Consumo final de energía por sectores, 2006

<b>Sector</b>	<b>%</b>
Transporte	44
Industria y Minería	28.1
Residencial, Comercial y Público	18.7
Petroquímica	4.4
Agropecuaria	2.8
Otros	2
Total	100

Fuente: Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Balance Nacional de Energía, 2006.

Tabla 1.8. Distribución de las fuentes de energía en el país.

<b>Tipo de energía</b>	<b>Área de distribución</b>
Eólica e hidroeléctrica	Pacífico y Atlántico
Energía solar	Plataforma central, Península de Yucatán y de Baja California
Biomasa	Trópico húmedo, costa y zonas montañosas
Geotermia	Eje neovolcánico

Fuente: La energía en los asentamientos humanos, SAHOP, 1981

### 1.10. LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA.

El uso cada vez mayor de energía procedente de combustibles fósiles, con el consiguiente agotamiento y alto costo, ha conducido a la obtención de nuevas fuentes de energía para el desarrollo económico mundial, en este contexto los recursos vegetales, residuos y productos procedentes de la silvicultura, sabanas, praderas y de la agricultura, son algunas de las principales fuentes de energía renovable que puede sustituir a la energía obtenida de los hidrocarburos, de acuerdo a datos proporcionados por el IIED y el Colegio de México, la biomasa acumulada y la producida cada año es como sigue (Tabla 1.9).

Tabla 1.9. Cantidad de biomasa de acuerdo a diversos usos de la tierra

<b>Tipo de cobertura o uso de la tierra</b>	<b>% de biomasa</b>
Áreas forestales	92
Sabanas y praderas	4
Tierras cultivadas	1
Otros	3
Total	100

Fuente: Institute for Environment and Development (IIED), Colegio de México, 1981

Respecto a la producción de biomasa en tierras cultivadas de acuerdo a diversos tipos de cobertura, se tienen los datos que se presentan en las tablas 1.10 y 1.11.

## 1.11. CONTEXTO MUNDIAL Y NACIONAL.

### CONTEXTO MUNDIAL.

La biomasa es la fuente de energía más antigua utilizada por el hombre; no obstante, el estudio de la madera como combustible no llamó la atención de los investigadores, gobiernos y organismos de cooperación internacional sino hasta la década de los años 70 como resultado de la llamada crisis del petróleo. Los estudios realizados en los años posteriores mostraron que la biomasa constituye una de las principales fuentes de energía renovable.

Tabla 1.10. Cantidad de biomasa de acuerdo a diversas coberturas en áreas bajo cultivo

<b>Tipo de cobertura</b>	<b>% de biomasa</b>
Árboles y arbustos de cultivo	68,5
Sabanas y praderas	16,2
Tierras cultivadas	7,8
Desiertos y pantanos	7,5
Total	100,0

Fuente: Institute for Environment and Development (IIED), Colegio de México, 1981

Se estima que casi el 6% de la energía consumida en el mundo proviene de la leña. De acuerdo con la FAO, en la década de los años 80, la mitad de la población del mundo dependía de este combustible para calentarse y para preparar sus alimentos, y en 45 países, con una población superior a 1.000 millones de habitantes presentaban déficit de leña. En estos países con déficit la vegetación se sobreexplota, se degrada al suelo, se acelera la desertificación y los recursos forestales dejan de tener un carácter renovable.

En los países subdesarrollados el 80% de la madera se destina a la producción de energía y el 20% de la energía consumida proviene de la biomasa, la cual de hecho es la cuarta fuente de energía, después del petróleo, gas y carbón mineral. En África, el 90% de la madera se destina a la generación de energía, la cual aporta más del 60% del consumo energético del subcontinente. En Asia el 20% de la energía consumida se obtiene a partir de madera, proporción que en algunas regiones sobrepobladas del sureste asiático podría ser más alta pero no existen suficientes recursos forestales para cubrir la demanda.<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Institute for Environment and Development (IIED), Colegio de México, 1981.

## **CONTEXTO NACIONAL.**

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

### **1.12. ELECTRIFICACIÓN RURAL CON FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA EN MÉXICO.**

Uno de los grandes problemas que presenta México es la dispersión de la población rural en su territorio, sin embargo, según informes de la Comisión Federal de Electricidad, hasta el año de 1992 se tenía una cobertura del 90% de la población; es decir más de 75 millones de habitantes contaban con este servicio. Con el objeto de atender las necesidades de energía eléctrica de las comunidades más alejadas, el Departamento de Fuentes No Convencionales de Energía del Instituto de Investigaciones Eléctricas, inició sus actividades en el año de 1977 enfocando sus esfuerzos en el aprovechamiento de energía solar, energía eólica, pequeños aprovechamientos hidráulicos y biomasa.

Las investigaciones en estas áreas de actividad se mantienen a la fecha, sin embargo pronto constituyeron un proyecto llamado: "**Sistemas energéticos integrados**".

Este proyecto plantea la integración de las cuatro fuentes de energía renovables, integrando y complementando cada unidad para su operación de acuerdo a los recursos y equipo disponibles. En las cinco áreas se han logrado avances significativos, actualmente se encuentran en operación más de 10.000 centrales pequeñas en diversas poblaciones rurales del país.

### **1.13. EL USO DE LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**

En el Instituto de Investigaciones Eléctricas se han venido desarrollando cinco líneas de investigación utilizando biomasa (productos orgánicos citados anteriormente) para la producción de biogás, mediante la utilización de digestores. Actualmente se han puesto en marcha algunos de los proyectos desarrollados, en el Tabla 1.11, se relacionan los tipos de digestores y su capacidad para ser adecuados a las diversas necesidades en las áreas rurales.

Tabla 1.11. Proyectos de investigación sobre digestores desarrollados en el IIE.

<b>Tipo de digestor</b>	<b>Capacidad (m<sup>3</sup>)</b>
Nivel laboratorio	0,2
Escala familiar	10,0
Escala comunal	40,0

Fuente: Boletín Instituto de Investigaciones Eléctricas, octubre-diciembre del 2003

Las otras 2 líneas de acción se han enfocado a la utilización del biogás obtenido a través de digestores, relacionados básicamente con su análisis, purificación, secado, compresión y almacenamiento. El gas obtenido, se utiliza actualmente en estufas domésticas de 2 quemadores, lámparas, refrigeradores de absorción, motores generadores de 700 W y motores generadores de 16 kW. Los desechos sólidos (lodos) del digestor, se evaluaron para ser utilizados como fertilizantes, se compararon con fertilizantes químicos y estiércol fresco en plantaciones de maíz y de lechugas en el Estado de Morelos, las investigaciones para optimizar el uso de los digestores para producir abonos se llevaron a cabo en la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, en 2004, en la Ciudad de México.

#### **1.14. PROYECTOS PARA OBTENCION DE BIOGÁS EN MEXICO.**

El aprovechamiento de la basura para la producción de biogás en México aún es mínimo. A pesar de sus ventajas y de que su aprovechamiento a nivel mundial ocurre desde hace décadas, en el país las actividades en torno al aprovechamiento de este energético apenas registran algunos casos aislados. Según el Instituto de Investigaciones Eléctricas, en 1995 se realizaron análisis para estimar el potencial energético del relleno sanitario de Prados de la Montaña, ubicado en la colonia Santa Fe en el Distrito Federal, a la par del estudio del confinamiento sanitario de Chiltepeque, Puebla. A partir del año 2000 iniciaron las acciones para impulsar el desarrollo de esta tecnología y difundir su aplicación en todo el país.

Así, se realizó un análisis de las localidades en las que se pudiera iniciar la implementación de dicho proceso y donde se podrían generar, en principio, cantidades limitadas de energía eléctrica. Basados en el número de habitantes, la cantidad de basura producida, los esquemas existentes para el manejo de la basura, las dimensiones y la edad de los rellenos, y las características constructivas del relleno, se ubicaron 17 municipios de tamaño medio (con una población cercana a un millón de habitantes), de los cuales se seleccionaron cinco para iniciar los proyectos: Aguascalientes, Acapulco, Puebla, Tlalnepantla y Zapopan.

Incluso, en el estudio México, proyecto de gerenciamiento de residuos y captura de carbono, elaborado en conjunto por la empresa Sistemas de Energía Internacional S.A., y el Banco Mundial, se menciona que los sitios con potencial de realizar proyectos de biogás en

México son Tijuana, Ciudad Juárez, Torreón, Aguascalientes, Monterrey, Culiacán, Guadalajara, León, Querétaro, la Zona Metropolitana del Valle de México y Puebla.

No obstante, los especialistas del IIE detectaron los principales impedimentos para la implementación de la tecnología del biogás. Entre estos factores se encuentran los limitados tiempos políticos y de gestión de los gobiernos municipales; la falta de leyes de protección al medio ambiente en materia de emisiones de rellenos sanitarios; el desconocimiento de las oportunidades y beneficios de la generación eléctrica con el biogás; la falta de información sobre la cantidad y características de los sitios de disposición final en nuestro país; y la ausencia de un programa oficial que facilite los proyectos.<sup>12</sup>

#### **1.14.1. ACCIONES DIRIGIDAS HACIA LA PRODUCCION DE BIOGÁS POR DESARROLLOS AGROPECUARIOS.**

La Corporación para el Desarrollo Agropecuario de Nuevo León, informa sobre la inauguración de la primera planta generadora de energía eléctrica, a través de la combustión de biogás, producto resultante de un proceso de fermentación anaeróbico del estiércol de puercos.

El día 24 de agosto de 2006, en la Granja “El Chanco” del Municipio de Cadereyta, se puso en marcha la primera de tres plantas generadoras de energía eléctrica abastecida por biogás, de un proyecto de nueve granjas porcícolas ubicadas en los municipios de Cadereyta, Allende y Montemorelos, que ya suprimieron sus emisiones de biogás a la atmósfera.

El Proyecto de Biodigestores para la Generación del Biogás y su transformación en energía eléctrica, permitirá a los porcicultores reducir sus costos de operación al autoabastecerse de la energía eléctrica que requieren sus granjas para su operación, mediante el procesamiento de los desechos orgánicos de sus puercos, además de descargar aguas de mejor calidad y recibir una compensación económica al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, que afectan a la atmósfera.

El Proyecto de los Biodigestores para la transformación de los desechos orgánicos de los puercos en biogás es una iniciativa de los productores y apoyado por la empresa Ag CERT y está fundamentado en el “Protocolo de Kyoto” creado por las Naciones Unidas para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a niveles del año 1990.

---

<sup>12</sup> Boletín Instituto de Investigaciones Eléctricas, octubre-diciembre del 2003.

Potencial de México para Proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio

Número de Cabezas

Porcino: 12 Millones

Lechero: 5 Millones

Aves: 367 Millones

La mayoría de los productores siguen prácticas intensivas de manejo.

Más del 65% de la industria agropecuaria de México está localizada en:

Jalisco, Sonora, Yucatán, Guanajuato, Michoacán, Puebla, Durango, Coahuila, Hidalgo y Nuevo León.

La Granja “El Chanco” tiene un inventario de 500 vientres porcinos, con un total de 4 mil 600 cerdos en diferentes etapas de desarrollo, que producen alrededor de los 650 metros cúbicos del biogás por día.

El Proyecto de los Biodigestores, además de la iniciativa e inversión del propietario de la granja, Jorge Alfredo Newell Insua y la empresa Ag CERT, también cuenta con el apoyo de la Unión Ganadera Regional de Porcicultores de Nuevo León, de la Corporación para el Desarrollo Agropecuario de Nuevo León, así como de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, a través del Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO).

En Nuevo León existían en el 2006, nueve granjas porcinas que tienen biodigestores en operación, donde quemaban el biogás que producen a través de un quemador, pero a partir de este año tres de estas granjas iniciaron un proceso para aprovechar el biogás en la generación de su propia energía eléctrica.

La generación del Biogás inicia a partir de la conducción y recolección del estiércol de los puercos en un biodigestor (bolsa) de 60 metros de largo, por 40 metros de ancho, por 7 metros de altura y recubierto por un plástico negro de alta resistencia.

La fermentación anaeróbica de la materia orgánica produce el biogás, combustible que anteriormente eliminaban a través de quemadores, como lo realiza la refinería de PEMEX en Cadereyta. El biodigestor tiene integrado un equipo de medición del biogás que produce y un quemador donde lo eliminan, cuando no es aprovechado para la generación de energía eléctrica.<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> Boletín Informativo de la Corporación para el desarrollo agropecuario de Nuevo León, Septiembre 2006

### **1.15 DOS CASOS QUE SE LLEVARON A CABO.**

Dos ayuntamientos del norte del Valle de México iniciaron en 2008 proyectos de producción de biogás en los rellenos sanitarios de sus demarcaciones. El presidente municipal de Tlalnepantla, Marco Rodríguez Hurtado, anunció que para diciembre del 2008 operaría la primera etapa del proyecto de generación de biogás en el relleno sanitario ubicado en la colonia La Providencia de esta demarcación.

En su momento el edil tlalnepantlense afirmó lo siguiente: “La electricidad que ahí se produzca, servirá para la iluminación de vialidades y plazas públicas del municipio, así como para el funcionamiento de cárcamos y bombas de abastecimiento de agua”.

Asimismo, garantizó la mejora de la calidad de vida de los vecinos que habitan en los alrededores del relleno sanitario. “Con estas acciones el gobierno municipal refrenda su compromiso con la ecología y de seguir rescatando los espacios públicos que permitan la mejora del medio ambiente en esta ciudad”, afirmó Rodríguez Hurtado.

Por su parte, en Naucalpan, el alcalde José Luis Durán Reveles también anunció la implementación de la tecnología de generación energética en el confinamiento sanitario municipal. Para ello, informó, se saneó el antiguo tiradero a cielo abierto del paraje Rincón Verde, donde tras el otorgamiento de las certificaciones que concede la Organización de las Naciones Unidas (ONU) para la explotación del biogás y la generación de energía eléctrica, el municipio iniciará el aprovechamiento energético de la basura que se genera en la demarcación mexiquense.

De acuerdo con Durán Reveles, con los desechos de Naucalpan que se transformen, se podrían generar entre seis y ocho megawatts, lo que eventualmente significará un ahorro de 50% en los recursos económicos que se gastan anualmente en electricidad para el alumbrado público, ello en beneficio de los habitantes del municipio.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> <http://www.ciudadnorte.com.mx/635/biogas-energia-renovable/index.html>

# Capítulo 2

## Tipos de

# Biodigestores

### **2.1. TIPO DE BIODIGESTORES.**

Los biodigestores se pueden separar en:

- Alimentación por lote.
- Alimentación continúa.

### **2.2. BIODIGESTORES DE ALIMENTACIÓN POR LOTE.**

Con los biodigestores en lotes, se pone una carga completa de materias primas (mezcla de abono y agua) en el biodigestor que se sella y se deja que fermente, en tanto se produzca biogás. Cuando la producción de biogás se haya terminado, se vacía el biodigestor y se vuelve a llenar con un nuevo lote de materias primas.

Los biodigestores en lotes son ventajosos donde la disponibilidad de materias primas sea esporádica o se limite a desechos gruesos de plantas (que contienen materiales no digeribles que se pueden retirar de manera conveniente cuando se recargan los biodigestores alimentados en lotes). Por otra parte los biodigestores en lotes requieren poca atención diaria. Sin embargo, estos biodigestores tienen desventajas debido a que se requiere gran cantidad de energía para vaciarlos y cargarlos; por otra parte la producción de biogás y sedimentos tiende a ser esporádica. Se puede solventar este problema construyendo varios biodigestores en lotes conectándolos al mismo depósito de almacenamiento de biogás. De este modo los biodigestores individuales se pueden rellenar en secuencia escalonada para asegurar un suministro relativamente constante de biogás. La mayoría de los biodigestores antiguos eran del tipo en lotes.<sup>15</sup>

### **2.3. BIODIGESTORES DE ALIMENTACIÓN CONTINUA.**

En el caso de los biodigestores de carga continua se agrega una pequeña cantidad de materias primas cada día, poco más o menos. De este modo, el índice de producción, tanto de biogás como sedimentos, es más o menos continuo y digno de confianza. Los biodigestores de carga continua son especialmente eficientes cuando las materias primas consisten en un suministro regular de desechos fácilmente digeribles, procedentes de fuentes, tales como estiércol de animales, plantas marinas, vegetación, o algas de estanques de producción.

Los biodigestores de alimentación continua pueden ser de dos diseños básicos:

- de mezcla vertical.

---

<sup>15</sup> "Propuesta para la Generación de Energía Eléctrica a Partir de Biogás", Colín *et al*, IPN, 2009.

- desplazamiento.

Los biodigestores de mezcla vertical consisten en cámaras verticales a las que se agregan materias primas. La mezcla de abono y agua se eleva en el biodigestor y se desborda por la parte superior. En los diseños de cámara simple, los sedimentos digeridos pueden sacarse directamente por tuberías de efluentes. En los diseños de cámara doble, la mezcla digerida al desbordarse pasa a una segunda cámara donde prosigue la digestión en forma mucho más completa.

Los biodigestores de desplazamiento consisten en un cilindro alargado acostado paralelamente al suelo ( tubos internos, barriles de petróleo soldados extremo con extremo, cisternas de camiones, etc.)

Conforme se digiere, la mezcla se ve desplazada gradualmente al extremo del digestor, pasando en su camino por un punto de máxima fermentación.

El diseño de los biodigestores de desplazamiento parece tener ventajas claras sobre los diseños de mezcla vertical, popularizados en la India:

a) En los biodigestores de mezcla vertical, las materias primas se ven sometidas a un movimiento de bombeo vertical y a menudo escapan de la acción localizada de las bacterias digestivas. La mezcla introducida en un momento dado se puede retirar con facilidad, poco después, en la forma de material parcialmente digerido. En los biodigestores de desplazamiento la mezcla debe pasar por una zona de máxima actividad de fermentación, de modo de que todas las materias primas se digieren eficientemente (en gran parte como los intestinos de un animal.

b) Desde un punto de vista práctico, los biodigestores de desplazamiento son más difíciles de manejar. Si el contenido del biodigestor comienza a echarse a perder por una u otra razón, se puede recircular eficientemente el material muy estabilizado del extremo más alejado, invirtiendo simplemente el flujo del material a lo largo de la línea del cilindro. Además, las materias primas se pueden digerir en cualquier grado deseado, sin necesidad de construir biodigestores o cámaras adicionales.

c) Cualquier digestor de carga continua acumulara eventualmente suficiente espuma y partículas sólidas no digeridas para que sea preciso limpiarlo. El “lavado” periódico de los biodigestores de desplazamiento resulta considerablemente más fácil que el de los biodigestores de mezcla vertical.

d) El problema de la acumulación de espuma se reduce en los biodigestores de desplazamiento, puesto que la espuma se forma uniformemente en la superficie de la mezcla en digestión, cuando más amplia sea la superficie, tanto más tiempo será necesario para que se acumule la espuma hasta el punto en que inhiba la digestión, un cilíndrico postrado tiene un área de liquido de superficie mayor que la vertida.<sup>16</sup>

#### **2.4. DIGESTOR TIPO CHINO.**

La Republica Popular de China tiene una gran experiencia en la producción de biogás. La construcción de 8,000,000 de digestores de biogás la han colocado a la vanguardia de la tecnología de biogás para el medio rural.

Estos digestores consisten de:

- Una entrada recta para alimentación sin atoros.
  - Una salida a la altura media del tanque principal para que huevos y parásitos conjuntamente con sólidos no digeribles se depositen en el fondo.
  - Una cubierta removible, sumergida en agua para detectar fugas.
- Un tanque principal de paredes circulares con techo y fondo cónico, que cumple la función de tanque de fermentación y cámara de gas.

Cuando el gas es producido el nivel del liquido en el tanque será forzado a bajar, mientras que en la salida subirá, la diferencia de altura H, del nivel de liquido variara con la presión del gas, la cual se lee en un manómetro conectado a la salida del digestor. Estos digestores de (6 a 12 m<sup>3</sup> de capacidad) son apropiados para uso domestico en casas rurales dispersas o comunidades campesinas, su forma circular y cónica le da un mejor comportamiento estructural, reduciendo el uso de materiales. Todo el digestor está bajo tierra, la cual actúa como un aislante térmico y como soporte, permitiendo combinarlo con letrinas y porquerizas y desechos sólidos desde la superficie.

La construcción de estos digestores se realiza mediante técnicas de construcción de albañilería, con ladrillos o bloques prefabricados, o la técnica de vaciado integral de concreto de bajo grado sobre la armazón de tierra (fig. 2.1).

---

<sup>16</sup> "Propuesta para la Generación de Energía Eléctrica a Partir de Biogás", Colín et al, IPN, 2009.

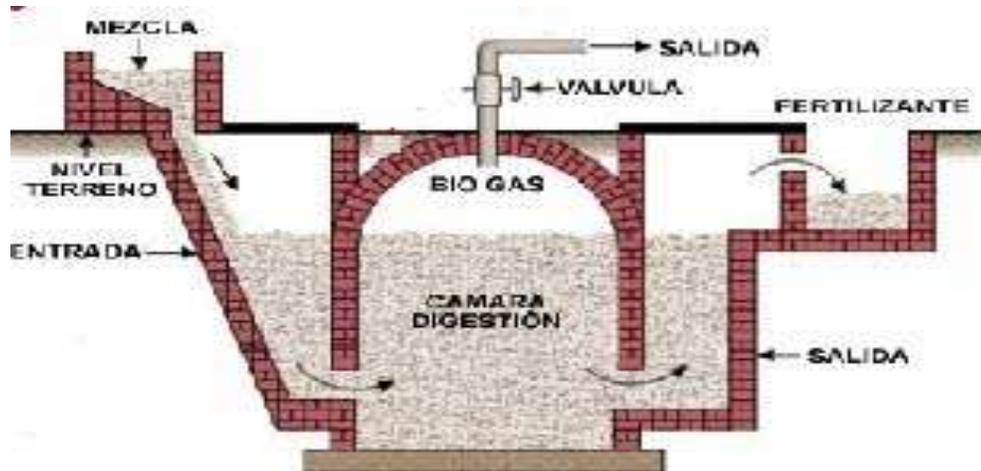


Figura 2.1. Biodigestor tipo Chino.

Fuente: <http://comuni.ning.com/forum/topics/121-saber-mas-del-iogas?commentId=2861365%3AComment%3A5307>.

## 2.5. DIGESTOR TIPO HINDÚ.

El digestor tiene una piletta de carga conectada al fondo del digestor por un conducto y una pared central que determina el movimiento de la materia orgánica desde la iniciación de la digestión hasta que se consume la parte volátil de dicha materia.

Su descarga se realiza por otro ducto que sale desde el fondo del digestor al otro lado de la división central, el gas es captado en un recipiente o campana en la parte superior del digestor, balanceando con contrapesas.

### Operación de Biodigestor tipo Hindú.

Es de alimentación periódica, diaria y además de mezclar y alimentar, virtualmente no necesita ninguna atención.

### Captación del biogás.

La captación del biogás es efectuado en un gasómetro flotante, que es el techo del propio biodigestor.

La altura del gasómetro muestra el volumen del biogás.

### Presión del biogás.

La presión del biogás es de 70 a 150 mm<sup>3</sup>, de columna de agua y es estable, debido a la fluctuación del gasómetro. Esta presión es suficiente para alimentar a la mayoría de los aparatos de consumo del biogás.

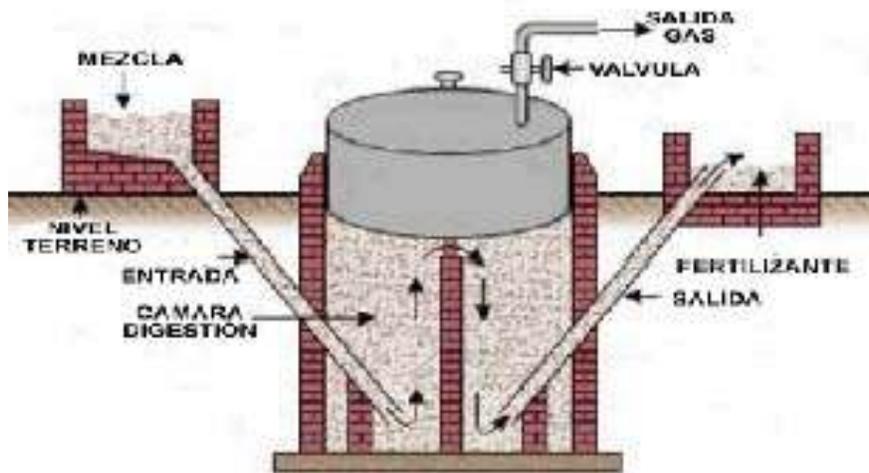


Figura 2.2. Biodigestor tipo Hindú.

Fuente: <http://comuni.ning.com/forum/topics/121-saber-mas-del-iogas?commentId=2861365%3AComment%3A5307>.

# Capítulo 3 Área de Estudio

### **3.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL EN EL ÁREA DE ESTUDIO.**

El establecimiento en donde será aplicado el proyecto de tesis está ubicado en la población de Río Frío, Municipio de Ixtapaluca, Estado de México.

### **3.2. HISTORIA DE LA POBLACIÓN DE RÍO FRÍO.**

Río Frío, nombrado oficialmente como Río Frío de Juárez, es una población mexicana, localizada en el estado de México y en el municipio de Ixtapaluca, se localiza en el punto más elevado de la autopista que une a la Ciudad de México con Puebla de Zaragoza, siendo históricamente un paso entre estas dos ciudades. Tiene 15275 habitantes. Río Frío de Juárez está a 2980 metros de altitud.

La población de Río Frío tiene su origen y desarrollo en el establecimiento del camino que une a la Ciudad de México y a Puebla, y desde ésta continúa hasta el Puerto de Veracruz, por ello y principalmente durante la época de la colonia y los primeros años del México independiente no había otra vía para llegar desde el extranjero hacia la capital, en Río Frío se establecieron entonces servicios como alimentación y hospedaje para los viajeros, ya que muchas veces era necesario pernoctar en esta población.

Toda la actividad y el desarrollo de Río Frío tiene como centro su localización, por lo que su desarrollo se ha dado a la par de la carretera México-Puebla, tras la construcción de la autopista de cuatro carriles su actividad económica disminuyó debido a que dejó de ser una parada obligada, pero posteriormente se construyeron accesos a la población desde la autopista y se ha convertido en una población de descanso y paseo dominical para los habitantes del Valle de México.

Además de estas actividades la población de Río Frío se dedica a la agricultura y la explotación de los bosques que la rodean, principalmente en la elaboración de carbón vegetal. Río Frío originalmente formaba parte del municipio de Tlalmanalco, sin embargo, según el Decreto No. 37 del Congreso del Estado de México con fecha del 30 de diciembre de 1958 fue segregado de ese municipio e incorporado al de Ixtapaluca, además en 1960 se le nombró oficialmente como Río Frío de Juárez<sup>17</sup>.

---

<sup>17</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADo\\_Fr%C3%ADo\\_de\\_Ju%C3%A1rez](http://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADo_Fr%C3%ADo_de_Ju%C3%A1rez)

### 3.3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.

En las figura 3.1 y 3.2 se puede ver la ubicación del poblado antes mencionado y su ubicación geográfica en la división formada por los cerros “El Telapón” y Papayo”.



Figura 3.1. Ubicación del poblado de Río Frío Estado de México.

Fuente: <http://maps.google.com.mx/>.

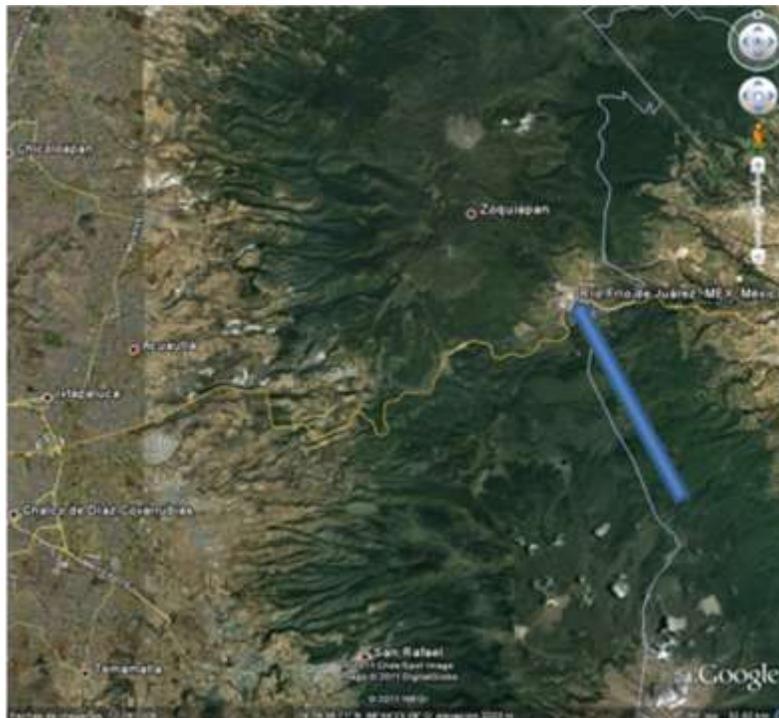


Figura 3.2. Vista Satelital de la ubicación del poblado de Río Frío Estado de México.

Fuente: <http://maps.google.com.mx/>.

Río Frío se localiza en el extremo este del Estado de México y casi en los límites con el estado de Puebla, en las coordenadas geográficas 19° 21' 09" Norte, 98° 40' 11" Oeste y a una altitud de 2,980 metros sobre el nivel del mar; sus principales vías de comunicación son la Carretera Federal 150 o carretera libre México-Puebla y la Carretera Federal 190 o Autopista México-Puebla.

Se encuentra ubicado en una región de clima frío con temperaturas medias que van desde 0 °C a 25 °C.

#### **3.4. SITUACIÓN ACTUAL EN EL ESTABLO.**

En el establo habitan 4 personas, quienes tienen un consumo promedio mensual equivalente a 2 tanques de 15 Kg de Gas LP y 200 KWH de energía eléctrica. Como propiedad existen 80 y 100 cabezas de ganado bovino y en los alrededores de la finca también existen viviendas con varias cabezas de ganado, las cuales podrán ser tomadas en consideración para la obtención de la materia prima en caso que se lo requiera.

Actualmente el suministro del servicio eléctrico y de los tanques de gas en el establo incrementó su costo lo que ha provocado que el establo realice gastos elevados para poder cubrir la demanda energética necesaria en las actividades diarias del mismo. Además la falta de uso de los desechos orgánicos del ganado ha deteriorado el ambiente en el establo y en sus alrededores, como es la generación de mal olor, el desagradable aspecto físico, la presencia de moscas y roedores, y también la contaminación del mismo establo causada por los desechos orgánicos del ganado arrastrado por las lluvias.

#### **3.5. APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS.**

El desperdicio de los desechos orgánicos del ganado vacuno en el establo ha significado una pérdida económica para sus propietarios y una contaminación ambiental del lugar, pero con la implementación de un biodigestor se suministrará de combustible para satisfacer en parte las necesidades energéticas básicas del establo y con el efluente se obtendrá fertilizante orgánico.

Además, el aprovechamiento de los residuos orgánicos del ganado en este proyecto tiene tres fines, el primero el de producir biogás que servirá para generar electricidad y como combustible para la cocción de alimentos, el segundo es utilizar el efluente como mejorador orgánico de suelos para la agricultura y el tercero es reducir la contaminación ambiental en el lugar provocada por los desechos orgánicos del ganado.

# Capítulo 4

# Metodología

#### 4.1. METODOLOGÍA.

En la figura 4.1 se puede ver un diagrama esquemático de la metodología seguida en el desarrollo de la presente investigación.



Figura 4.1 Esquema de la metodología empleada en el presente trabajo.

Para una explicación más detallada de los pasos seguidos tenemos los siguientes puntos.

**Investigación Bibliográfica:** Para este punto, se realizó la investigación preliminar sobre el tema a desarrollar, haciendo la investigación en bibliografía existente tanto en libros, revistas, artículos, páginas web, etc.

Se tomaron en cuenta datos estadísticos de producción de Biogás tanto en México como en la comunidad europea y otros países, se realizaron comparativos en cifras de producción de Biogás y otros productos energéticos.

Para el presente proyecto se investigaron proyectos realizados en diferentes partes del país y en otros países, para tener un panorama de cómo se debería de proceder para la realización del presente proyecto.

**Muestreo de Excretas:** En este punto se obtuvo el consentimiento del propietario del establo donde se pretendía realizar el proyecto, esto tanto para el uso del abono producido

por los animales en el establo, como para el uso de espacio al momento de colocar el Biodigestor.

Se realizó la visita física al establo para obtener las muestras de excretas del ganado, posteriormente se deshidrataron colocándolas al sol, enseguida se molieron para obtener un grano pequeño y se tamizaron por la malla # 100, la muestra obtenida se utilizó para realizar los análisis de laboratorio necesarios.

**Caracterización de excretas:** Se realizaron las pruebas de laboratorio a las muestras de excretas: Porcentaje de carbono orgánico total, Densidad real de la muestra, Densidad aparente de la muestra, Porosidad, Porcentaje de humedad, Cantidad de materia orgánica, Cantidad de Nitrógeno, Cantidad de Fosforo, pH, Relación Agua – Abono.

Para estas pruebas se utilizaron diversas técnicas, de diferentes autores mismas que son presentadas en la tabla 4.1 como resumen de los resultados obtenidos.

**Diseño del Biodigestor:** Para realizar el diseño del biodigestor se tomó la metodología propuesta en la tesis denominada "Diseño de un Biodigestor para una Finca del Recinto San Luís de las Mercedes del Cantón Las Naves – Provincia de Bolívar" de la Escuela Superior Politécnica del Litoral de Guayaquil Ecuador (2009).

Adicional a esto se consideraron algunos criterios propuestos por diferentes autores, tanto en valores como recomendaciones y al final se llegó a un modelo físico el cual fue colocado en el establo mencionado.

**Puesta en marcha del Biodigestor:** Una vez caracterizadas las excretas por medio de los métodos mencionados y con los resultados obtenidos de las diferentes pruebas de laboratorio se realizara el diseño del Biodigestor se puso en marcha el trabajo en campo, que fue la elaboración del proyecto piloto para tener muestras de Biogás generado con las excretas del ganado existente en el establo.

La elaboración física del Biodigestor fue en el espacio asignado por el propietario del establo ubicado en la comunidad de Río Frío, Municipio de Ixtapaluca, Estado de México y se utilizaron lo más posible de materiales existentes en el establo, esto para que en un futuro al escalar el proyecto se pueda realizar con el mínimo de inversión por parte del propietario.

**Caracterización de Biogás:** Una vez colocado el Biodigestor en el establo, se procedió a dar continuidad al desarrollo del proyecto, al obtener la producción de Biogás se tomaron muestras del recipiente que hace las veces de depósito de Biogás, para posteriormente solicitar el apoyo al departamento de Biotecnología del CINVESTAV, para caracterizar el

Biogás y determinar sus propiedades. Después de analizar el Biogás se compararon los porcentajes obtenidos principalmente de metano y Dióxido de carbono con datos conocidos en bibliografía, para determinar si es apto para ser aprovechado en el establo "Los Montaña".

#### **4.2 CARACTERIZACIÓN DE EXCRETAS.**

Para determinar la composición química de las excretas del ganado vacuno que servirán como materia prima para la producción de biogás se realizaron las siguientes pruebas de laboratorio:

- Porcentaje de carbono orgánico total.
- Densidad real de la muestra.
- Densidad aparente de la muestra.
- Porosidad.
- Porcentaje de humedad.
- Cantidad de materia orgánica.
- Cantidad de Nitrógeno.
- Cantidad de Fosforo.
- pH.
- Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- Relación Agua – Excretas.

Los resultados de estas pruebas tienen como objetivo a futuro utilizar los residuos del digester después de la producción del biogás como abono orgánico para su uso en las tierras de cultivo de la localidad.

Para la realización de las pruebas se tomó como referencia el libro publicado por la Universidad Autónoma Metropolitana, "Fundamentos Teórico-Prácticos de temas Selectos de la Ciencia del Suelo", parte I de la maestra Irma Reyes Jaramillo, 1996, de donde se consideraron los procedimientos y el marco teórico de cada una de las pruebas a realizar en el laboratorio.

### 4.3 RESUMEN DE RESULTADOS EN PRUEBAS DE LABORATORIO.

En la tabla 4.1 se puede ver el resumen de los resultados obtenidos en laboratorio.

Tabla 4.1. Resumen de los resultados obtenidos con las diferentes pruebas.

<b>Parámetro</b>	<b>Método</b>	<b>Autor</b>	<b>Promedio de tres muestras</b>
Densidad real de los sólidos (g/cm <sup>3</sup> )	Picnómetro	Irma Reyes Jaramillo	0.280
Contenido de Humedad (%)	Capacidad de campo	Irma Reyes Jaramillo	20.54
Densidad aparente de los sólidos (g/cm <sup>3</sup> )	Picnómetro	Irma Reyes Jaramillo	0.261
Contenido de materia orgánica (%)	Walkley y Black	Irma Reyes Jaramillo	85.20
pH	Potenciómetro.	Irma Reyes Jaramillo	7.42
DQO (mg/l)	Colorímetro Hach, modelo DR890, método 800	Colorímetro Hach	563.67
Carbono Orgánico Total (mg/g).	Analizador de Carbono Orgánico, Marca: Shimadzu, Modelo: TOC-VCSN.	Analizador de Carbono Orgánico, Marca: Shimadzu, Modelo: TOC-VCSN.	166.47
Nitrógeno Total (%).	NMX-AA-24-1984	NMX-AA-24-1984	2.50
Fosforo (%).	NMX-AA-029-SCFI-2001	NMX-AA-029-SCFI-2001	0.57

### 4.4. MUESTREO DE EXCRETAS.

Para tomar las muestras de las excretas se visitó el establo tomando tres muestras de excretas de 1 kg cada una, en sus diferentes estados (líquido y sólido), y con diferentes contenidos de agua, para tener una muestra representativa actual del ganado del establo.

Posteriormente se expusieron las muestras a la intemperie para eliminar el exceso de agua contenida y poder realizar una separación de partículas grandes. Después de secar las muestras se pasaron por una malla del número 100 para tener una muestra con tamaño de partícula uniforme, se tomo este tamaño de malla para tener el tamaño de partículas adecuado para poder usarse en equipo de laboratorio para las diferentes pruebas a realizar.

#### 4.5. DETERMINACIÓN DE DENSIDAD REAL.

La densidad de las partículas del suelo, también conocida como densidad real, se define como la masa (peso) de los sólidos del suelo por unidad de volumen. En el sistema métrico, la densidad se expresa en gramos por centímetro cúbico ( $\text{g/cm}^3$ ).

Se calculó la densidad para determinar la cantidad de excretas que se usaron en el Biodigestor.

Para la obtención de la densidad real se utilizó la siguiente ecuación:

$$DP = \frac{S}{S + A - (S + a)} = \text{g/cm}^3$$

Donde:

S: peso de la muestra de excreta.

A: peso del agua sin el picnómetro.

S+a: peso del suelo más peso del agua.

En la tabla 4.2 podemos ver los resultados de las muestras tomadas.

Tabla 4.2. Cálculo de la densidad real de excretas.

Muestra	Picnómetro vacío (g)	Peso de la muestra con picnómetro (g)	Peso de la muestra (g)	Peso de la muestra más agua (g)	Peso del agua (g)	Densidad real ( $\text{g/cm}^3$ )
1	12,7574	16,7041	3,9467	14,2882	24,6714	0,275
2	12,7574	16,7170	3,9596	14,3321	24,6714	0,277
3	12,7574	16,6895	3,9321	14,2991	24,6714	0,275

#### 4.6. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD.

El agua de la muestra de excretas se puede medir con base en su humedad a capacidad de campo y por su coeficiente de marchitez.

La capacidad de campo es el porcentaje de agua que retiene una muestra después de saturarse con agua procedente de la lluvia o del riego (luego de 2 o 3 días), contando con libre drenaje. Su valor representa la máxima cantidad de agua disponible para las plantas y comprende tanto la humedad capilar como la higroscópica. El agua que rebasa el valor de la capacidad de campo, forma parte del agua de gravedad.

Por otra parte, la textura y el contenido de materia orgánica de la muestra son propiedades que están estrechamente relacionadas con la retención de humedad de la muestra.

La humedad a capacidad de campo se determinó con la siguiente ecuación:

$$\% H = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} * 100$$

En la tabla 4.3 podemos ver los resultados de las muestras tomadas.

Tabla 4.3. Cálculo del porcentaje de humedad de excretas.

Muestra	Crisol vacío (g)	Peso de la muestra con crisol (g)	Peso de la muestra (g)	Peso de la muestra seca con crisol (g)	Peso de la muestra seca (g)	Porcentaje de humedad (%)
1	123,9583	169,0910	45,1327	139,5120	15,5537	21,20
2	123,9583	173,7170	49,7587	144,1737	20,2154	20,49
3	123,9583	170,592	46,6337	142,2531	18,2948	19,92

#### 4.7. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE Y LA POROSIDAD.

Para calcular la densidad aparente se consideraron los datos ya calculados de densidad real con el método del picnómetro y contenido de humedad por el método de humedad a capacidad de campo.

En la tabla 4.4 se observa el cálculo de la densidad aparente y la porosidad de las muestras tomadas utilizando el método teórico.

Tabla 4.4. Cálculo de la densidad aparente y la porosidad de excretas.

Densidad de los sólidos ó bien densidad real ó bien densidad de la partícula Ss	Contenido de humedad W	Oquedad e e=Ss*W	Densidad aparente Sa Dm Ssγ <sub>0</sub> / (1+e)	Porosidad n $n = \frac{e}{1+e} * 100$	Porosidad n fórmula A $n = 100 - \left[ \left( \frac{Dm}{Dp} \right) 100 \right]$	Porosidad n fórmula B $n = \frac{S - Sa}{S} * 100$
0,275	0.210	0.058	0.260	5.460%	5.460	5.460%
0,277	0.205	0.057	0.262	5.373%	5.373	5.373%
0,275	0.200	0.055	0.261	5.213%	5.213	5.213%

#### 4.8. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA.

El porcentaje de materia orgánica en la muestra depende de distintos factores del medio; los más importantes son el clima y el tipo de alimento a los animales. Del clima depende la cantidad de luz, calor y agua, mientras que el tipo de alimento al ganado juega un papel fundamental en la formación de humus y mantiene una estrecha relación con el clima, aunque aparece como un factor ecológico subordinado a éste, ya que es el clima el que define las grandes zonas de vegetación.

El aporte de materia orgánica al suelo puede ser de origen animal o vegetal. Se compone básicamente de carbohidratos: azúcares, almidones, celulosa y hemicelulosa; proteínas y aminoácidos; ligninas, taninos, y, en menor porcentaje grasas, aceites, ceras y resinas.

El contenido de materia orgánica se determino con las siguientes ecuaciones:

$$10 \frac{S}{B} (K') = \% MO$$

Donde:

10: mililitros de dicromato de potasio agregados a cada muestra.

S: mililitros de la solución de sulfato ferroso consumidos durante la titulación.

B: mililitros de la solución de sulfato ferroso consumidos durante la titulación del testigo.

K': factor derivado de:

$$1N * 0.003 * \frac{1.72}{0.77} * \left(\frac{100}{0.5}\right) = 1.34$$

Donde:

1N: normalidad de la solución de dicromato de potasio.

0.003: peso equivalente del carbono.

1.72: factor de conversión del carbono a materia orgánica.

0.5 g: peso de la muestra de excreta.

En la tabla 4.5 se observan los resultados de las muestras tomadas.

Tabla 4.5. Cálculo del porcentaje de materia orgánica en las excretas.

Muestra	Cantidad de sulfato ferroso (ml)	K'	Porcentaje de materia orgánica (%)
testigo	47		
1	345	1,34	84,96
2	350	1,34	86,38
3	345	1,34	84,96

#### 4.9. DETERMINACIÓN DEL pH DE LAS EXCRETAS.

El pH se puede determinar utilizando métodos colorimétricos y electrométricos. En los primeros se emplean indicadores de color o papel pH, mientras que en los segundos se usan potenciómetros. En estos aparatos se mide la fuerza electromotriz que surge al introducir dos electrodos diferentes (uno de medida y otro de comparación) en una suspensión de muestra. Los electrodos cloroplateados y calomelanos son los electrodos de comparación que se usan con mayor frecuencia, como electrodos de medida se emplean los de platino y vidrio.

En la determinación del pH de la muestra se consideran dos tipos de acidez: real o activa y potencial o intercambiable. La primera se obtiene midiendo el pH de una suspensión con excretas y agua destilada, de la cual se mide la concentración de iones hidrógeno solubles.

La reacción de las excretas se determinó por medio de un potenciómetro marca Hanna, modelo HI98129. Para esto se preparó una emulsión de una muestra de excreta diluida en agua destilada, primeramente diluida en un 25% de agua para la primera muestra y posteriormente se fue disminuyendo en un 2.5% la dilución para las dos muestras posteriores obteniendo los valores mostrados en la tabla 4.6:

Tabla 4.6. Cálculo del pH en las excretas.

Muestra	pH
1	7,4
2	7,42
3	7,45

#### 4.10. DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO).

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro ( $\text{mgO}_2/\text{l}$ ). Aunque este método pretende medir principalmente la concentración de materia orgánica, sufre interferencias por la presencia de sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas (sulfuros, sulfitos, yoduros, etc.), que también se reflejan en la medida.

La cantidad de DQO de las excretas se determinó por medio de un colorímetro marca HACH, modelo DR890. Para esto se preparó una emulsión de una muestra de excreta diluida en agua destilada en una relación de 1 a 5 por último se hicieron lecturas directas a

la emulsión según la técnica del colorímetro obteniendo los valores mostrados en la tabla 4.7:

Tabla 4.7. Cálculo de la DQO en las excretas.

Muestra	DQO (mg/l)
1	555
2	565
3	571

#### 4.11. DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL.

Carbono Orgánico Total (COT; a veces TOC por su nombre en inglés, Total organic carbón) es la cantidad de carbono unido a un compuesto orgánico y se usa frecuentemente como un indicador no específico de calidad del agua o del grado de limpieza de los equipos de fabricación de medicamentos. Se mide por la cantidad de dióxido de carbono que se genera al oxidar la materia orgánica en condiciones especiales.

Un análisis típico del COT mide tanto el carbono total (CT) presente como el carbono inorgánico total (CIT). Restando el Carbono inorgánico total del Carbono total obtenemos el Carbono orgánico total.

Para este análisis se solicitó el apoyo al CINVESTAV, para esto se utilizó un Analizador de Carbono Orgánico Total.

Modelo: TOC-VCSN.

Marca: Shimadzu

$COT \text{ (Carbono Orgánico Total)} = CT \text{ (Carbono Total)} - CIT \text{ (Carbono Inorgánico Total)}$

La cantidad de Carbono Orgánico Total se determinó en laboratorio obteniendo los valores mostrados en la tabla 4.8:

Tabla 4.8. Cantidad de Carbono Orgánico Total en las excretas.

Muestra	Carbono Orgánico Total (mg).
1	164.47
2	165.71
3	169.22

#### 4.12. DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE NITRÓGENO TOTAL (ORGÁNICO).

El nitrógeno que se encuentra en la muestra de excretas se denomina orgánico e inorgánico, la mayor cantidad de nitrógeno es parte integrante de materiales orgánicos complejos de la muestra.

Compuestos nitrogenados inorgánicos. Las formas inorgánicas del nitrógeno de la muestra incluyen:

$\text{NH}_4^{1+}$ ,  $\text{NO}_3^{1-}$ ,  $\text{NO}_2^{1-}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$  y nitrógeno elemental.

Compuestos nitrogenados orgánicos. Las formas orgánicas del nitrógeno de la muestra se encuentran en forma de aminoácidos, proteínas, aminoazúcares y otras formas complejas que se producen en la reacción del amonio con la lignina y de la polimerización de quinonas y compuestos nitrogenados, así como de la condensación de azúcares y aminas. Otro grupo muy estable de aminoácidos y proteínas que se encuentran en combinación con arcillas lignina y otros minerales.

Hay una parte de materia orgánica en la muestra como los residuos frescos de las cosechas que se transforma mediante una serie de reacciones de descomposición, que se descompone de manera más o menos rápida y otra que es relativamente estable, que no se descompone rápidamente que se le denomina humus. La cantidad de humus depende de la proporción del carbono respecto del nitrógeno (C:N). La proporción C:N de la materia orgánica estable es aproximadamente de 10:1. Como regla general, cuando en los materiales orgánicos la proporción C:N es mayor de 30 hay inmovilización del nitrógeno durante el proceso de descomposición inicial.

El nitrógeno es necesario para la descomposición de la materia orgánica por los microorganismos heterótrofos del suelo y si el material orgánico que se descompone tiene poco nitrógeno en relación al carbono presente (paja de trigo, tallos de cereales maduros), los microorganismos utilizan el amonio o nitratos presentes en el terreno. Este nitrógeno permite el rápido crecimiento de los microorganismos que proporcionan material con carbono al suelo.

La cantidad de Nitrógeno Total (Orgánico) se determino en laboratorio utilizando el método proporcionado por las Normas Oficiales Mexicanas bajo la metodología NMX-AA-24-1984 obteniendo los valores mostrados en la tabla 4.9:

Tabla 4.9. Cantidad de Nitrógeno Total (Orgánico) en las muestras.

<b>Muestra</b>	<b>Nitrógeno Total (%)</b>
1	2.54
2	2.49
3	2.48

#### 4.13. DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE FÓSFORO.

El fósforo se encuentra en la muestra tanto en formas orgánicas, ligadas a la materia orgánica, como inorgánicas que es la forma como la absorben los cultivos. La solubilidad de estas formas, y por lo tanto su disponibilidad para las plantas está condicionada por reacciones fisicoquímicas y biológicas. Las transformaciones del fósforo (P) entre formas orgánicas e inorgánicas están estrechamente relacionadas, dado que el fósforo inorgánico es una fuente para los microorganismos y las plantas, y el fósforo orgánico al mineralizarse repone el fósforo de la solución.

Las plantas absorben el fósforo casi exclusivamente en la forma inorgánica, que está en la solución del suelo. De esta manera, el P inorgánico disuelto satisface la demanda de los cultivos por unas pocas horas durante el período de crecimiento, aún en suelos con un buen abastecimiento de este nutriente. Por lo tanto, el fósforo deprimido en la solución debe ser repuesto constantemente a partir de formas fácilmente extraíbles, tanto orgánicas como inorgánicas, donde la desorción - disolución y mineralización – inmovilización son procesos críticos en el abastecimiento de fósforo.

La cantidad de Fósforo se determinó en laboratorio utilizando el método proporcionado por las Normas Oficiales Mexicanas bajo la metodología NMX-AA-029-SCFI-2001 obteniendo los valores mostrados en la tabla 4.10:

Tabla 4.10. Cantidad de Fósforo en las muestras.

<b>Muestra</b>	<b>Fósforo Total (%)</b>
1	0.58
2	0.58
3	0.56

#### 4.14. RELACIÓN AGUA EXCRETAS.

Para determinar la proporción óptima de mezclado entre las excretas del ganado vacuno y agua, se decidió realizar una prueba con tres muestras obtenidas en el establo “Los Montaña” para determinar la proporción óptima. Según el Dr. José Antonio Guardado Chacón integrante de la junta directiva de Cubasolar, a cargo de la promoción de la tecnología del biogás en Cuba, esta proporción debe ser entre 1 y 1.5 L de agua por cada kilogramo de excreta. Por lo que se hidrató una muestra de 1 kg de excreta seca a tres diferentes cantidades de agua en este caso se colocó en un recipiente 0.75 litros de agua, en otro recipiente 1 litro de agua y finalmente en un tercer recipiente se colocó 1.4 litros de agua.

Estos recipientes se colocaron en el área de estudio donde se encuentra el establo para su sometimiento a las condiciones reales de presión y temperatura, realizando tres repeticiones con cada relación de agua - excretas.

Se determinó el promedio de las proporciones agua - excretas obteniendo los valores mostrados en la tabla 4.11:

Tabla 4.11. Relación Agua – excretas.

<b>Muestra</b>	<b>Cantidad de excretas. (Kg)</b>	<b>Cantidad de Agua. (L)</b>	<b>Cantidad de Biogás Obtenido. (L)</b>
1	1.0	0.75	1.1
2	1.0	1.0	1.0
3	1.0	1.4	0.90

Por lo que para este proyecto se consideró una proporción de 1 kg de excretas frescas con 0.75 litros de agua, ya que con esta relación observamos que se obtiene la mayor producción de Biogás en las condiciones del lugar.

# Capítulo 5 Diseño del Biodigestor

### 5.1. PARÁMETROS DEL DISEÑO.

Para el diseño del biodigestor se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

a) La cantidad de biogás mensual necesaria para cumplir con los objetivos dados en este proyecto que son un generador de energía eléctrica, una estufa y un calentador, todos trabajando con Biogás:

El principal objetivo de este proyecto es obtener una producción de biogás que pueda cubrir al menos el 30% del consumo mensual de energía de la finca.

b) La cantidad de estiércol de ganado vacuno requerido para la generación diaria de biogás: En la finca existen 80 cabezas de ganado vacuno, la producción mínima diaria de estiércol de cada animal tomando en cuenta la tabla 5.1 es 10 Kg/día, da un total de 800 Kg totales en el establo generados diariamente.

Tabla 5.1 Producción de estiércol de varios tipos de animales.

Tipo de animal	Producción de estiércol
Vacas	10 a 15 Kg/día
Búfalos	15 a 20 Kg/día
Cerdos	2.5 a 3.5 Kg/día
Gallinas	90 g/día

Fuente: Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, Guidebook on Biogas Development, Energy Resources Development Series N°. 21, New York 1980.

c) Las dimensiones del digestor:

Las dimensiones son determinadas en base al tiempo de retención y la cantidad de estiércol suministrada al digestor.

d) Cantidad del efluente removido cada día:

El efluente removido depende de la cantidad de estiércol introducido y de la cantidad de gas producido diariamente.

e) Temperatura:

El establo tiene la desventaja de encontrarse en una zona fría con una temperatura promedio de 15 °C, por lo que se trabajara en primavera y verano cuando la temperatura promedio aumenta a 22 °C.

f) Tiempo de digestión anaerobia (TD):

Para obtener una buena digestión anaeróbica, el tiempo de digestión debe ser de 30 días, como se observa en la tabla 5.2.

Tabla 5.2. Tiempos de digestión anaerobia en materia prima.

<b>Materia prima.</b>	<b>T.D.</b>
Estiércol vacuno líquido.	20 -30 días.
Estiércol porcino líquido.	15 -25 días.
Estiércol aviar líquido.	20 -40 días.

Fuente: Plantas de biogás de pequeñas dimensiones para fincas lecheras, Vázquez Duraña Omar., Ciencias Técnicas Agropecuarias, Cuba, 2002, sin editorial, pág. 53.

## 5.2. SELECCIÓN DEL SITIO.

En cada lugar donde un digestor es instalado, se debe hacer una cuidadosa selección de sitio. Los factores que influyen en la decisión son:

- a) Debe estar cerca donde el gas será usado, para usar la menor cantidad de tubería.
- b) Debe estar cerca del suministro de la materia prima o estiércol.
- c) Debe estar cerca al lugar donde el efluente pueda ser almacenado.
- d) Debe estar por lo menos de 10 a 15 metros de distancia de alguna fuente de agua, para evitar alguna clase de contaminación.
- e) Debe estar en un lugar donde este expuesto a los rayos del sol para mantener al digestor caliente y cubierto con una camisa de fibra de vidrio para evitar pérdidas de calor por la noche.

El lugar en donde será instalado el digestor está cerca del corral de ganado, al lugar de almacenamiento del efluente y aproximadamente a unos 50 metros de la casa, el área circundante al biodigestor está totalmente despejada para atrapar los rayos del sol y mantenerlo caliente como se puede ver en las imágenes de la figura 5.1.



Figura 5.1 Vista interior del establo del área destinada para colocar el Biodigestor.

### 5.3. CÁLCULOS DE LOS COMPONENTES:

#### 5.3.1. CANTIDAD DE ENERGÍA CONSUMIDA MENSUALMENTE POR EL ESTABLO.

La finca consume mensualmente en promedio 1 tanque de 20 Kg de Gas LP y 200 KWH de electricidad.

Haciendo un comparativo de la cantidad de Gas LP en m<sup>3</sup> de Biogás calculados a partir del Manual Técnico de Construcción y Operación de Biodigestores Modelo Chino, 2007 (tabla 5.3):

1 tanque de 20 Kg = 20 Kg de GLP al mes

Tabla 5.3 equivalencia de 1 m<sup>3</sup> de biogás con otros combustibles.

<b>1 m<sup>3</sup> de Biogás equivale a:</b>	
Carbón Vegetal	0.8 Kg.
Leña	1.5 Kg.
Diesel	0.55 Lt.
Gasolina	0.61 Lt.
GLP	0.45 Kg.
KWH Efic.= 20%	1.2
Alcohol Carburante	0.81 Lt
Carbón Mineral	0.74 Kg.

Fuente: Manual Técnico de Construcción y Operación de Biodigestores Modelo Chino, 2007.

$$\frac{20kgGLP}{mensual} * \frac{1m^3biogas}{0.45kgGLP} = 44.45m^3biogas / mensual$$

Cantidad de Electricidad en m<sup>3</sup> de Biogás:  
(según tabla 5.3)

$$\frac{200KWH}{mensual} * \frac{1m^3biogas}{1.2kgGLP} = 166.67m^3biogas / mensual$$

Cantidad Total de Energía Consumida (CT):

$$CT = 44.45 \text{ m}^3 \text{ Biogás / mensual} + 166.67 \text{ m}^3 \text{ Biogás / mensual}$$

$$CT = 211.12 \text{ m}^3 \text{ Biogás/mensual}$$

Los 211.12 m<sup>3</sup> Biogás/mensual representa la cantidad total que la finca necesitaría para cubrir el 100% del consumo mensual de energía entre Gas LP y electricidad, pero por razones académicas se diseñó el biodigestor a nivel piloto que para el caso específico de este estudio se usó un tinaco de plástico para almacenar agua de 1 m<sup>3</sup> para posteriormente escalarlo a la producción necesaria.

### 5.3.2. VOLUMEN DE LA CÁMARA DEL DIGESTOR Y DIMENSIONES:

Para la cámara del biodigestor se consideró un tambor de plástico de 0.20 m<sup>3</sup> como biodigestor para fines académicos, cuyas dimensiones son:

$$H = 1.0 \text{ m}; \quad D = 0.5 \text{ m.}$$

Del cual se ocupó el 50% de su capacidad para tener espacio para el almacenamiento temporal del biogás.

### 5.3.3. CANTIDAD DE EXCRETAS REQUERIDAS:

Para calcular la cantidad de biogás que produciría llenar el biodigestor, se hará uso de lo reportado por Douglas, 1979 (tabla 5.4) sobre la producción de biogás a través de excretas del ganado vacuno.

Tabla 5.4 Datos básicos de diseño-biogás de excretas de ganado vacuno.

1 Kg de Excretas Frescas (EF) = 0.20 Kg de Sólidos Totales (ST)
1 Kg de Sólidos Totales (ST) = 0.8 Kg de Sólidos Volátiles (SV)
1 Kg de Sólidos Totales (ST) = 0.3 m <sup>3</sup> de Biogás @ (35°C y P. At.)
1 Kg de Sólidos Totales (ST) = 0.25 m <sup>3</sup> de Biogás @ (30°C y P. At.)
1 Kg de Sólidos Totales (ST) = 0.2 m <sup>3</sup> de Biogás @ (25°C y P. At.)
1 Kg de Sólidos Totales (ST) = 0.16 m <sup>3</sup> de Biogás @ (22°C y P. At.)
1 Kg de Sólidos Totales (ST) = 0.10 m <sup>3</sup> de Biogás @ (18°C y P. At.)

Fuente: Larry J. Douglas, Third Annual Biomass Energy Systems Conference, Colorado – USA, 1979.

De la tabla 5.4 se tomaron dos valores que son; el primero la equivalencia de 1 Kg de estiércol fresco a sólidos totales y el segundo es el valor correspondiente a la temperatura media del lugar en este caso tomaremos 18 °C:

Para alimentar al digestor se requiere una mezcla de excretas más agua y se hizo con una proporción de 1:0.75, tomando en cuenta los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio mencionadas en el capítulo 4, Asumiendo que 1 Kg de EF = 1 Lt EF, entonces se tiene:

1 Kg de Excretas Frescas (EF) = 0.20 Kg de Sólidos Totales (ST)
1 Kg de Sólidos Totales (ST) = 0.10 m <sup>3</sup> de Biogás @ (18°C y Pr. Atm.)

$$\text{carga biodigestor} = \text{EF} + \text{agua} = 250 \text{kgEF} * \frac{1 \text{lt}}{1 \text{kg}} + 250 \text{lt agua}$$

$$\text{carga diaria (CD)} = 500 \text{lt de mezcla} = 0.50 \text{m}^3 \text{ de mezcla}$$

A continuación se realizó el cálculo para encontrar la cantidad de biogás que produciría esta mezcla.

$$\text{cantidad de biogas} = 250 \text{kgEF} * \frac{0.2 \text{kgST}}{1 \text{kgEF}} * \frac{0.10 \text{m}^3 \text{biogas}}{1 \text{kgST}}$$

$$\text{cantidad de biogas} = 5 \text{m}^3 \text{biogas/mes}$$

$$\text{Capacidad calorífica del Biogas} = 5,000 \text{Kcal/m}^3 \text{ de Biogás.}$$

En las imágenes de la figura 5.2 se puede ver el modelo físico del Biodigestor montado en el establo “Los Montaña”.



Figura 5.2 Montaje del Biodigestor en el establo “Los Montaña”.

# Capítulo 6 Análisis de Resultados

## 6.1. ANÁLISIS DEL BIOGÁS.

Una vez que se obtiene el Biogás producido por las excretas se procedió a llevar a cabo un análisis para determinar la composición porcentual de Metano ( $\text{CH}_4$ ) y Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) que son sus principales componentes y básicamente de Metano ( $\text{CH}_4$ ) que es el componente que proporciona el poder calorífico al Biogás.

Para estos análisis se solicitó el apoyo del departamento de Biotecnología del Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV) en la separación de los diferentes gases que componen el Biogás producido, para esto se usó un cromatógrafo de Gases:

Modelo: Clarus 500

Marca: Perkin Elmer Precisely (Figura 6.1).

En el cual se inyectó 1 ml de Biogás, en este caso el detector FID (Básicamente es un quemador de hidrógeno/oxígeno, donde se mezcla el efluente de la columna (gas portador) con hidrógeno. Inmediatamente, este gas mezclado se enciende mediante una chispa eléctrica, produciéndose una llama de alta temperatura.) El gas de arrastre fue Hidrógeno, la columna capilar de 30 m de longitud, con un diámetro interno de 0.53 mm.

El cromatógrafo básicamente realiza un método de separación física para la caracterización de mezclas. La cromatografía es un conjunto de técnicas basadas en el principio de retención selectiva, cuyo objetivo es separar los distintos componentes de una mezcla, permitiendo identificar y determinar las cantidades de dichos componentes.

Existen diferentes tipos de cromatografía en este caso se usó la Cromatografía de gases donde la fase móvil es un gas y la fase estacionaria es un sólido o líquido.



Figura 6.1. Cromatógrafo de Gases Perkin Elmer.

Fuente: <http://www.perkinelmer.com/>.

Una vez inyectado el Biogás en el cromatógrafo, se obtuvieron las gráficas de los resultados para el análisis de los mismos.

En la tabla 6.1 se observa la cantidad de metano en partes por millón y en miligramos por metro cubico, contenida en la muestra de Biogás analizada, que para este caso fue de 4,482.57 ml/m<sup>3</sup>.

Tabla 6.1 Contenido de metano en las muestras de biogás.

Presion (atm)	Temperatura (K)	Constante R de los gases ideales (atmL/molK)	Peso molecular de metano (g/mol)	Pureza de estándar	Volumen vial (mL)	Volumen de estándar en solución 1
0.774	288.15	0.082	16.00	0.99	14.00	1.00
Concentración de solución 1	Volumen de solución 1 para solución 2	Concentración de solución 2	Volumen de solución 2 para solución 3	Concentración de solución 3	Volumen de muestra (mL)	Volumen de muestra (m <sup>3</sup> )
0.0707	1.00	0.00505	1.00	0.000361	1.00	0.0000010
Curva de calibración muestra 1	Volumen de solución 3 (mL)	volumen de CH <sub>4</sub> (mL)	Masa de CH <sub>4</sub> (mg)	Área		
	0.050	0.000018	0.0000094	745.33		
	0.075	0.000027	0.0000142	1020.13		
	0.100	0.000036	0.0000189	1257.83		
mL de metano		mg de metano				
Pendiente	Ordenada al origen	Pendiente	Ordenada al origen			
0.0000000351	-0.00000835	0.0000000184	-0.00000437			
Curva de calibración muestra 2	Volumen de solución 1 (mL)	volumen de CH <sub>4</sub> (mL)	Masa de CH <sub>4</sub> (mg)	Área 1	Área 2	Promedio
	0.050	0.00354	0.00185	128634.54	138008.38	133321.46
	0.075	0.00530	0.00278	166526.84	195684.52	181105.68
	0.100	0.00707	0.00370	235378.69	241680.03	238529.36
mL de metano		mg de metano				
Pendiente	Ordenada al origen	Pendiente	Ordenada al origen			
0.0000000335	-0.000874	0.0000000175	-0.000457			
Área de muestra 1	Volumen de metano (mL)	Masa de metano (mg)	Concentración (mL/m <sup>3</sup> = ppm)	Concentración (mg/m <sup>3</sup> )		
1133.37	0.0000315	0.0000165	31.47	16.48		
Área de muestra 2	Volumen de metano (mL)	Masa de metano (mg)	Concentración (mL/m <sup>3</sup> = ppm)	Concentración (mg/m <sup>3</sup> )		
159820.82	0.00448	0.00235	4482.57	2346.99		

Fuente: Cromatógrafo de Gases de CINVESTAV.

De la tabla 6.1 se puede comentar que el cromatógrafo trabaja a una temperatura de 15 °C, bajo las constantes generales de gases y las constantes del gas metano, con una muestra inicial de 14 ml que fue tomada como el 100%, para la concentración de solución 1, se

obtuvo el cociente de la pureza sobre el volumen inicial y para la concentración de solución 2, se resolvió el cociente nuevamente de la concentración 1 sobre el mismo volumen, haciendo lo mismo para la concentración de solución 3, el cociente de la concentración 2 sobre el volumen, donde el volumen de la muestra fue de 1 ml para este caso (tabla 6.1).

Para las curva de calibración 1 se manejaron a diferentes porcentajes (50%, 75% y 100%) del volumen de la concentración 3, convertimos el volumen de ml a mg escribiendo posteriormente las lecturas del cromatógrafo en cuanto al área bajo la curva de los resultados arrojados, posteriormente se graficaron estos valores de volumen contra el área y se obtuvo la pendiente, cabe aclarar que se siguieron procesos simultáneos en cuanto a volumen en ml y masa en mg, por lo que se obtuvieron dos gráficas y por consiguiente dos pendientes de estos resultados.

Se realizó el mismo proceso para la concentración 2, pero, en este caso se analizaron dos muestras por lo que se tomo el promedio de las lecturas del área bajo la curva del cromatógrafo e igualmente graficando para conseguir la pendiente de los resultados.

Ya con estas gráficas de muestras conocidas se procedió analizar dos muestras de Biogás obtenido en nuestro Biodigestor piloto resultando dos áreas y dos concentraciones diferentes.

De estos resultados se tomó la cantidad de 4,482.57 ml/m<sup>3</sup>, esto por experiencia de los analistas ya que la primera muestra generalmente no se toma en cuenta por la incertidumbre de que sea leída correctamente.

## **6.2 OBTENCIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN DE METANO.**

Una vez obtenidos los resultados del cromatógrafo se procedió a realizar una curva de calibración con diferentes muestras de Biogás analizadas en el mismo Cromatógrafo para obtener el resultado de nuestra muestra.

La curva de calibración es para obtener una serie de datos a partir de muestras conocidas para posteriormente poder hacer una interpolación para la muestra de nuestro material.

De los datos obtenidos en las gráficas de resultados conocidos se obtuvo la curva de calibración para describir las respuestas del detector a lo largo del rango de concentraciones requerida para predecir la concentración de nuestra muestra de Biogás.

### 6.3. ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO PARA LA CUANTIFICACIÓN DE METANO.

Las gráficas de la figura 6.2 muestran el contenido de Metano en la muestra de Biogás obtenida en el Biodigestor del rancho Los Montaña.

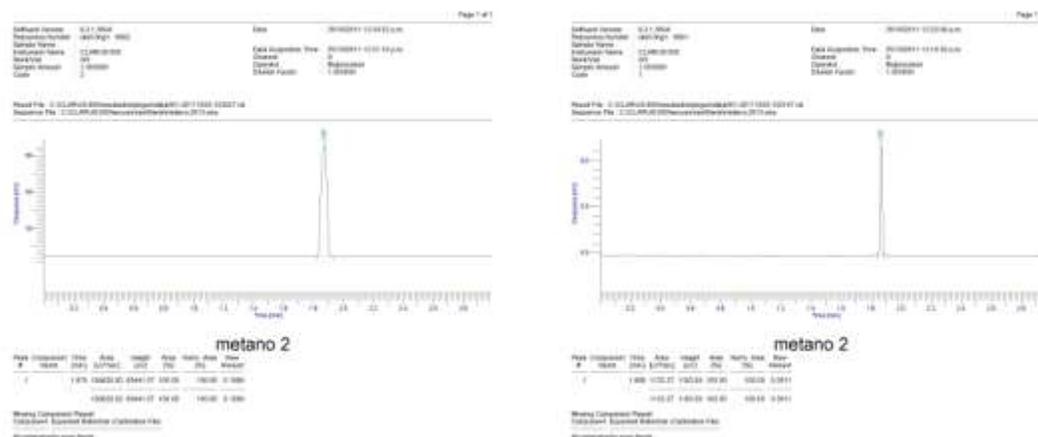


Figura 6.2. Cromatografía de Gases.

Fuente: Cromatógrafo de Gases de CINVESTAV.

De estas graficas y comparando con el contenido de Dióxido de carbono se conoce el porcentaje de metano contenido en la muestra de Biogás.

### 6.4. CONTENIDO DE METANO EN MUESTRAS DE BIOGÁS.

Como podemos observar en las gráficas de la figura 6.2 de las dos muestras que se inyectaron al cromatógrafo se obtuvieron dos resultados muy diferentes por experiencia de los analistas, se comentó que la primera muestra no será tomada en cuenta ya que no se tiene certeza de que haya sido leída correctamente por lo que tomaremos el resultado de la segunda muestra como la correcta para nuestro estudio.

### 6.5 CONTENIDO DE DIÓXIDO DE CARBONO EN MUESTRAS DE BIOGÁS.

Para la obtención de contenido de Dióxido de carbono en nuestra muestra de Biogás nuevamente se solicitó el apoyo del CINVESTAV para el análisis de una muestra de Biogás en el cromatógrafo de Gases.

Los resultados reportados para la concentración de Dióxido de Carbono y otros gases en la muestra de Biogás se reportan en la tabla 6.2.

Tabla 6.2 Contenido de Dióxido de Carbono y otros Gases en la muestra de biogás.

Muestra	Concentración de Dióxido de Carbono (mL/m <sup>3</sup> )	Concentración de Acido Sulfhídrico (mL/m <sup>3</sup> )	Concentración de Nitrógeno (mL/m <sup>3</sup> )
1	3,260.05	203.75	203.75

Fuente: Cromatógrafo de gases.

De los resultados mostrados en las tablas 6.1 y 6.2 del contenido de Metano y Dióxido de Carbono se obtuvieron los porcentajes contenidos de los diferentes gases que son mostrados en la tabla 6.3:

### 6.6 RESULTADOS FINALES.

Tabla 6.3 Porcentaje de Metano, Dióxido de Carbono y otros Gases en la muestra de biogás.

Elemento	Porcentaje
Metano	55 %
Dióxido de Carbono	40 %
Acido Sulfhídrico	2.5%
Hidrógeno	2.5 %

De los datos anteriores podemos deducir que el Biogás producido de las excretas del establo “Los Montañó” tiene una cantidad de Metano dentro de los límites inferiores, de acuerdo con la tabla 1.1 del primer capítulo donde marca al metano con un porcentaje del 55% y el Dr. José Antonio Guardado Chacón (2006, P. 5)<sup>18</sup> integrante de la junta directiva de Cubasolar, en su libro *Tecnología del Biogás* menciona que para que el biogás pueda ser usado como combustible sólo cuando el metano se encuentra en concentraciones mayores o iguales a 50 %, por lo que el Biogás con ese porcentaje de metano puede ser aprovechado en el establo en algún proyecto de generación de eléctrica u otro tipo de generación de energía donde se utilice como materia prima Biogás y adicional a esto la producción de 5 m<sup>3</sup> de excretas de ganado vacuno mensuales son factibles de ser aprovechadas en la localidad para una producción de Biogás.

Así mismo el residuo del Biodigestor puede ser usado como abono orgánico, ya que por las pruebas de laboratorio realizadas se observó que el contenido de materia orgánica de 85.20%, es superior a lo marcado por la SAGARPA<sup>19</sup> que indica un 70%. En cuanto a

<sup>18</sup> Guardado J. (2006), *Tecnología del Biogás*, Cubasolar.

<sup>19</sup> SAGARPA (2011), *Abonos Orgánicos*, México.

nutrientes tenemos un contenido de 2.50% de Nitrógeno contra 1.5%, y en cuanto a Fósforo tenemos un contenido de 0.57% y la SAGARPA marca 0.6%, por lo que los nutrientes contenidos son suficientes para uso agrícola, en la figura 6.3 se aprecia la mezcla inicial de excretas en el Biodigestor.



Figura 6.3 Mezcla de excretas en Biodigestor.

### 6.7 EFICIENCIA DEL BIODIGESTOR.

Se calculo la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en el residuo del biodigestor una vez transcurrida la fase de digestión, esto con el fin de calcular la eficiencia de remoción del sustrato que en este caso correspondería a las excretas de ganado vacuno y así darnos una idea de qué y cómo podemos mejorar el proceso para obtener un mejor resultado, ya sea en cantidad y/o calidad del producto. La determinación de la DQO se realizo de acuerdo al método colorimétrico 800 propuesto por Hach® usando un colorímetro portátil modelo DR890, el cual consiste en digerir 0.10 gr de muestra a 150 °C durante 2 horas y someterla a un proceso de oxidación con un reactivo específico para este método. El resultado obtenido fue de 142 mg/l con lo que al aplicar la formula de la eficiencia con la DQO calculada inicialmente en la mezcla de excretas (563.67 mg/l) se aplico la siguiente ecuación.

$$\eta = \frac{S_0 - S_e}{S_e} * 100$$

Donde:

$\eta$  = eficiencia en porcentaje

$S_0$  = DQO inicial, mg/l.

$S_e$  = DQO final, mg/l.

$$\eta = \frac{563.67 - 142}{142} * 100 = 74.81\%$$

El Biodigestor trabajó al 75% por lo que se puede decir que hay algunos factores donde se puede modificar el proceso para incrementar la eficiencia, como son:

- Colocar algún mecanismo que eleve la temperatura interior del Biodigestor.
- Mejorar el mezclado de las excretas durante el proceso.

Controlando estos factores es posible incrementar la eficiencia del Biodigestor y obtener una mejoría en la calidad y cantidad del Biogás al final del proceso.

## CONCLUSIONES.

En el establo “Los Montaña” la producción de 250 kg de excretas al día de ganado vacuno generadas son factibles de ser aprovechadas para producir 5 m<sup>3</sup> Biogás al mes y puede generarse una cantidad mayor por expansión del negocio del propietario confirmando que se generarían por lo menos los 5 m<sup>3</sup> de Biogás al mes esperados.

Hay diversas razones por las que se tiene la certeza de cumplir con la producción esperada de 5 m<sup>3</sup> Biogás al mes, entre las más importantes se encuentran:

- La continua e ininterrumpida generación de excretas de ganado vacuno producidas en el establo.
- La disponibilidad de estas.
- La buena calidad de las excretas dado su elevado contenido de materia orgánica, superior al 85%.

Según Guardado Chacón (2006), el Biogás producido por las excretas de ganado es aprovechable, ya que cumple con el porcentaje mínimo del 50% de contenido de metano.

El estudio muestra un valor económicamente atractivo para la aplicación de este sistema en el establo del sitio de estudio, por el ahorro económico que representa dejar de comprar dos tanques de gas LP de 20 litros mensual, además sería sustancial obtener beneficios en el aspecto ambiental.

En cuanto al tema de desarrollo sustentable se realizó una comparación del cumplimiento con algunos indicadores ambientales que se indican a continuación:

En el área social se encuentran coincidencias con los siguientes indicadores ambientales:

1. Económicos: los ingresos en el establo serán beneficiados por el ahorro en el consumo de gas LP.
2. Educación: La educación ambiental es fundamental a cualquier nivel social y en cualquier lugar, en la población donde se ubica el establo se dará a conocer el proyecto en las diferentes escuelas existentes.
3. Salud: Utilizar las excretas evitará la proliferación de fauna nociva que puede repercutir en la salud de los habitantes del establo y de la población vecina.

En el área ambiental se encuentran coincidencias con los siguientes indicadores ambientales:

1. Contaminación atmosférica y/o hídrica: El uso de las excretas evitará la contaminación ambiental en la zona y la posible contaminación de mantos freáticos por acción de lixiviados.

2. Transformación, disminución y reúso de residuos.
3. Plagas y enfermedades: Se disminuirá el riesgo de la generación de plagas de fauna nociva y enfermedades en la población en general.

## RECOMENDACIONES.

Del presente trabajo podemos proponer algunas recomendaciones técnicas:

Para poder desarrollar algún proyecto de un Biodigestor debemos tener presente varios factores que influyen en el buen funcionamiento de este:

- Se debe tomar en cuenta las condiciones del lugar donde se desea desarrollar el proyecto ya que de ello depende la temperatura con la que se va a trabajar para la digestión anaeróbica.
- Verificar la disponibilidad en cantidad y calidad de las excretas, para poder alimentar el Biodigestor y que las excretas tengan la suficiente materia orgánica requerida para que se pueda llevar a cabo la digestión anaeróbica y tenga una producción de Biogás aceptable.
- Seleccionar cuidadosamente el lugar físico donde se va a colocar el Biodigestor, de tal manera que no existan cerca de este nada que pueda ser contaminado, llámese fuente de agua, casa habitación, bodegas o almacenes de algún tipo de alimento.
- Donde y como se va a disponer de las excretas una vez cumplida la digestión anaeróbica y obtenido el Biogás.
- Realizar estudio de factibilidad de plantas y equipos donde podría aprovecharse el Biogás.

Durante el desarrollo del proyecto de investigación, nos hemos dado una idea aproximada del estado actual de la producción de Biogás en nuestro país y algunos otros y de cómo el Biogás producido en grandes cantidades puede ser utilizado para generar electricidad mediante la utilización de tecnologías de punta y mano de obra calificada.

Para impulsar esta alternativa, en países de Latinoamérica, el Banco Mundial (BM) ha promovido a través de Instalaciones del Medio Ambiente Mundial (en sus siglas en inglés Global Environmental Facilities (GEF)), el desarrollo en México y algunos otros países de Latinoamérica, cabe señalar que la planta de Biogás de Monterrey ha sido avalada por lo dicho anteriormente.

Las autoridades gubernamentales, académicas, civiles entre otras podrían promover, incentivar y motivar a la población de los beneficios que puede proveer los sistemas de construcción de biogás a sus usuarios, a la sociedad y al Medio Ambiente en general, entre

las principales bondades que ya fueron explicadas anteriormente, podemos citar las más importantes desde nuestro punto de vista:

Producción de energía (calor, luz, electricidad).

Transformación de desechos orgánicos en fertilizantes de alta calidad y no contaminantes.

Mejoramiento de las condiciones higiénicas a través de la reducción de excretas desechada a la intemperie y reducción de factores nocivos (moscas, ratas, infecciones, gas efecto invernadero entre otros).

Desde el punto de vista ambiental:

- protección del suelo
- protección del agua.
- protección del aire.

La replicación de las características planteadas en este proyecto así como su posible escalamiento y adecuación a otros establos de la región podría contribuir a elevar las condiciones de vida de los habitantes al disminuir su consumo de energéticos.

Así mismo los índices de sanidad y ambientales de la región podrían verse beneficiados debido a que se podría reducir la contaminación visual por la eliminación de las excretas expuestas al aire libre; también se podrían reducir las emisiones de gases con efecto invernadero, y disminuir la contaminación a cuerpos de agua superficiales y subterráneos provocados por el escurrimiento de agua con elevada carga orgánica y la lixiviación de contaminantes a los acuíferos respectivamente. Otro aspecto igualmente importante redundaría en la reducción de proliferación de organismos patógenos y vectores biológicos de transmisión de enfermedades provocados por la presencia de fauna nociva relacionada directamente con la acumulación de excretas y residuos orgánicos.

Referente a la producción de bioabono se podrá obtener una buena producción anual de N, P y K, lo cual significa que se podrá complementar con el uso anual de fertilizantes químicos e incluso con la aplicación del bioabono.

No solo se contribuiría a la mejora de las propiedades físicas y químicas del suelo, sino también a incrementar la producción del campo agrícola, favoreciendo el desarrollo de las plantas, así mismo el valor de producción de Biogás obtenido a través del diseño cumple con el 11% por lo que con la producción de excretas de 100 cabezas de ganado se tendría una producción de 20 m<sup>3</sup> de Biogás equivalente al 45% del consumo actual que es mayor al 30% planteado inicialmente del consumo de 20 kg de gas LP.

**LITERATURA CITADA.****LIBROS:**

- Considine Douglas M, (2005), *Enciclopedia de Energía, Tecnología*, Tomo 5, México-Barcelona.
- Contreras L. (2006), *Producción de Biogás con Fines Energéticos*, México.
- Douglas L. J. (1979), *Third Annual Biomass Energy Systems Conference*, Colorado – USA.
- Metcalf & Eddy, (1991), *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*, 3 th. McGraw-Hill.
- PROCANORT, (2007), *Manual Técnico de Construcción y Operación de Biodigestores Modelo Chino*, Ecuador.
- Ramalho R, (1983), *Tratamiento de Aguas Residuales*, Reverte.
- Ramirez V. P. (1981), *La energía en los asentamientos humanos*, México, SAHOP.
- Reyes J. I, (2009), *Fundamentos Teórico práctico de Temas Selectos de la Ciencias del Suelo*, UAM.

**REPORTES:**

- Agencia Internacional de Energía, (2007), *Contribución de renovables para la seguridad energética*, Alemania.
- Alatorre Frank C, (2009), *Energías Renovables para el desarrollo sustentable en México*, SENER.
- Anthony, W.B. (1971), *J. Anim. Sci.*, 32(4):799.
- Corporación para el desarrollo agropecuario de Nuevo León, (2006), *Boletín Informativo de la Corporación para el desarrollo agropecuario de Nuevo León*, México.
- Deposito de documentos de la FAO (1995), *Memoria - Reunión regional sobre generación de electricidad a partir de biomasa*.
- Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, (1980), *Guidebook on Biogas Development, Energy Resources Development*, Series N°. 21, New York.
- Environmental Protection Agency, (2007), *Monterrey Biogas Project: Lessons Learned and Expansion Strategy*, Baltimore.
- Guardado J. (2006), *Tecnología del Biogas*, Cubasolar, La Habana.
- Institute for Environment and Development (IIED), (1981), *Balance Energetico Nacional*, México, Colegio de México
- Instituto de Investigaciones Eléctricas, (2003), *Boletín IIE “Generacion Distribuida”*, México, IIE.
- Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía, (2006), *Plan de energía renovable de España 2005-2010*, España.
- Secretaría de Energía, (2007), *Balance Nacional de Energía: producción de energía primaria, Sistema de Información Energética (SIE), 2008 y en Instituto Nacional de*

*Estadística, Geografía e Informática (INEGI), El sector energético en México 2007, México.*

- Secretaria de Energía, (2006), *Energías renovables para el desarrollo sustentable en México*, México.
- Sistemas de Energía Internacional S.A. de C.V., (2002), *Aprovechamiento de los desechos sólidos municipales para la generación de Energía Eléctrica*, México.
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2011), *Abonos Orgánicos*, México
- Vázquez D. O. (2002), *Plantas de biogás de pequeñas dimensiones para fincas lecheras*, Ciencias Técnicas Agropecuarias, Cuba, sin editorial, pág. 53.
- Vladimir M. O, (2008), *Biogás, generación Energética en ciernes*, wordexpress, México D.F.
- Zambrano L. G., (2006), *Corporación para el Desarrollo Agropecuario de Nuevo León*.

#### **PAGINAS EN INTERNET:**

- Federal Ministry of Economics and Tecnology, (n.d.), “renewables - Made in Germany initiative”, Obtenida el 10 de Febrero del 2011, <http://www.german-renewable-energy.com>
- Google, (2011), <http://maps.google.com.mx/>
- Internatinal Energy Agency, (N.D.), Key World Energy Statistics 2011, Obtenida el 25 de Noviembre del 2011, [http://www.iea.org/work/2011/statistics/s1\\_kwes.pdf](http://www.iea.org/work/2011/statistics/s1_kwes.pdf)
- Perkinelmer.com, (2012), Products, Obtenida el 20 de Enero del 2012 <http://www.perkinelmer.com/>
- textoscientificos.com, (2005), Fermentación Anaeróbica, Obtenida el 05 de Febrero del 2011, <http://www.textoscientificos.com/energia/biogas>
- Universo Porcino, (2008), Biodigestores, Obtenida el 15 de Septiembre del 2011, <http://comuni.ning.com/forum/topics/121-saber-mas-del-iogas?commentId=2861365%3AComment%3A5307>
- Vladimir M. O, (2008), Biogás, Energía Renovable, Obtenida el 28 de Marzo del 2011, <http://www.ciudadnorte.com.mx/635/biogas-energia-renovable/index.html>.
- wikipedia.org, (2011), Rio Frio de Juarez, Obtenida el 15 de Diciembre del 2011, [http://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADo\\_Fr%C3%ADo\\_de\\_Ju%C3%A1rez](http://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADo_Fr%C3%ADo_de_Ju%C3%A1rez).

#### **TESIS:**

- Ávila S. E., (2009), “*Biogás Opción Real de Seguridad Energética para México*”, Instituto Politécnico Nacional.
- Colín C. R, Enríquez R. J, Lima H, E, (2009), “*Propuesta para la Generación de Energía Eléctrica a Partir de Biogás*”, Instituto Politécnico Nacional.
- García O. F. (1986), *Proyecto para la obtención de biogás a partir de estiércol*, Instituto Politécnico Nacional, México, pág. 35, datos actualizados a 2008
- García R, O, Sosa M. M, (2010), “*Generación de Energía Eléctrica a través de la Biomasa*”, Instituto Politécnico Nacional.

- Monar C. U, (2009), “*Diseño de un Biodigestor para una Finca del Recinto San Luís de las Mercedes del Cantón Las Naves – Provincia de Bolívar*”, Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Serrano C. C, (2006), “*Alternativas de utilización de Biogás de Rellenos Sanitarios en Colombia*”, Universidad de la Palmas de Gran Canaria (España).

## ANEXOS.




---

**Primary Technical Parameters of SAYA Brand CUMMINS Series**
**Biogas Generating Sets**
**— Primary Technical Parameters :**
**Genset Model : SAYA-CUMMINS-27KW-BG**

Prime Rating (Kw) : 27

Standby Power (kW) : 30

Heat Consumption (MJ/kwh) : 12

Set Weight (kg) : 780

Dimension ( L×W×H mm ) : 1800×800×1200

**Engine :**

Diesel Engine : Cummins

Intaking Method : Turbocharged

Reference Gas Consumption (m<sup>3</sup>/h) : 14Exhaust Flux (m<sup>3</sup>/h) : 338

Bore×Stock (mm) : 102×120

Reference Air Consumption (m<sup>3</sup>/h) : 104

Cylinder numbers : 4

Coolant Heat (kw) : 23.0

Rated Speed (r/min) : 1500/1800

Coolant Flux (kg/s) : 0.9

12-hour Power (kW) : 31

Fan-air Flux (m<sup>3</sup>/h) : 1.6

Starting Method : Electrical Starting

**Alternator :**

Alternator Brand : Siemens , Marathon etc.

Rated Current (A) : 61

Power Factor (cosφ) : 0.8

Rated Voltage (V) : 400/230V

Rated Power (kw) : 34

Excitation Method : Brushless

Frequency (Hz) : 50/60

V-regulator Method : Automatic

Phase/Connector : 3Phase 4Wire , Y-connection

SERVICIOS DE AUTOMATIZACIÓN Y ASESORIA SAYA SA DE CV  
 Av. México 25 A, Col. El Mirador Naucalpan, Edo. De México, 53050.  
 Cerro Tres Marias 272, Col. Campestre Churubusco, Del. Coyoacan México DF  
 Tel: (55)27895371 / (55)11638959/ 01800000SAYA (7292)  
 www.gruposaya.org



## Primary Technical Parameters of SAYA Brand DEUTZ Series

### Biogas Generating Sets

#### — Primary Technical Parameters :

**Genset Model :** SAYA-DEUTZ-30KW-BG

Prime Rating (Kw) : 30

Standby Power (kW) : 33

Heat Consumption (MJ/kwh) : 12

Set Weight (kg) : 760

Dimension ( L×W×H mm ) : 1900×788×1200

#### **Engine :**

Diesel Engine : Deutz

Intaking Method : Turbocharged

Reference Gas Consumption (m<sup>3</sup>/h) : 15

Exhaust Flux (m<sup>3</sup>/h) : 375

Bore×Stock (mm) : 105×120

Reference Air Consumption (m<sup>3</sup>/h) : 116

Cylinder numbers : 3

Coolant Heat (kw) : 25.5

Rated Speed (r/min) : 1500/1800

Coolant Flux (kg/s) : 1.0

12-hour Power (kW) : 34

Fan-air Flux (m<sup>3</sup>/h) : 1.8

Starting Method : Electrical Starting

#### **Alternator :**

Alternator Brand : Siemens , Marathon etc.

Rated Current (A) : 61

Power Factor (cosφ) : 0.8

Rated Voltage (V) : 400/230V

Rated Power (kw) : 34

Excitation Method : Brushless

Frequency (Hz) : 50/60

V-regulator Method : Automatic

Phase/Connector : 3Phase 4Wire , Y-connection

SERVICIOS DE AUTOMATIZACIÓN Y ASESORIA SAYA SA DE CV  
 Av. México 25 A, Col. El Mirador Naucalpan, Edo. De México, 53050.  
 Cerro Tres Marias 272, Col. Campestre Churubusco, Del. Coyoacan México DF  
 Tel: (55)27895371 / (55)11638959/ 01800000SAYA (7292)  
[www.gruposaya.org](http://www.gruposaya.org)



G4.248

30 kw

## 30 Kw

La planta eléctrica econogas de 30 kw, funciona como planta de transferencia manual o planta de transferencia automática, equipada con un tablero multifuncional: así como un generador sincrónico y reguladores electrónicos de tensión analógicos de alta confiabilidad.

Capacidad Kw:	30
Combustible:	Biogás
Tipo de motor:	4.248
Número de Cilindros:	4
Aspiración:	Natural
Tipo de generador:	Síncrónico Seriado
Potencia generador:	30 Kw (38 kva)
Voltaje:	220/440
Factor de potencia:	0.8
Frecuencia:	60
RPM del motor:	1800
Fases:	3
Hilos:	4
Ciclo de operación:	Continua y/o intermitente
Motor	G4.248
Diámetro de cilindro:	(3.975 pulg) 100.96 mm
Carrera:	5 Pulg (127 mm)
Numero de cilindros:	4
Desplazamiento cubico:	(248plg3) 4.07 litros
Tiempos:	Cuatro
Orden de encendido:	1,3,4,2
Rotación:	Sentido de las manecillas del reloj
Enfriamiento	50 % agua y 50 % anticongelante
Sistema eléctrico:	12 Volts
Tipo de encendido:	Electrónico



[www.mopesa.com.mx](http://www.mopesa.com.mx)



## TUG6.3544

60 kw

La planta eléctrica Econogas a biogás de 60kw, funciona como planta de transferencia manual, transferencia automática, sincronía y paralelismo. Viene equipada con un tablero multifuncional; así como un generador síncrono WEG y Reguladores electrónicos de tensión analógicos de alta confiabilidad.



<b>Generador:</b>	WEG línea G de 60 kw
<b>Capacidad del generador:</b>	60 kw
<b>Voltaje generado:</b>	220 / 440 volts
<b>Factor de potencia:</b>	0.8
<b>Frecuencia (hz):</b>	60
<b>RPM del motor :</b>	1,800 rpm
<b>Fases:</b>	3
<b>Hilos:</b>	4
<b>Ciclo de operación:</b>	Continuo y/o intermitente
<b>Régimen de sobrecarga:</b>	10% hasta 2 horas c/24 horas
<b>Motor:</b>	TUG6.354.4
<b>Potencia:</b>	90 bhp @ 1,800 rpm
<b>Número de cilindros:</b>	6 en línea
<b>Desplazamiento cúbico:</b>	5.8 litros
<b>Tiempos:</b>	4
<b>Aspiración:</b>	Natural
<b>Tipo de combustible:</b>	biogás
<b>Gobernación:</b>	4% electrónica
<b>Enfriamiento:</b>	50% Agua y 50% anticongelante
<b>Sistema eléctrico:</b>	12v
<b>Sistema de combustión:</b>	Omnitek
<b>Tipo de encendido:</b>	Electrónico



[www.mopesa.com.mx](http://www.mopesa.com.mx)