

UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA

“Generación de gas metano por medio de un biodigestor en una granja porcina”

Pamela Corrales  
2006

**UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS**  
FACULTAD DE INGENIERÍA

**Generación de gas metano por medio de un biodigestor en una granja  
porcina**

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el  
título de Ingeniería de la Producción

Ing. Juan Fernando Eduardez

**Pamela Corrales**  
**2006**

*A mi familia por su comprensión y apoyo incondicional.*

## **RESUMEN**

El presente proyecto muestra el diseño de un biodigestor, por medio de una investigación deductiva, en base a las condiciones técnicas de una granja porcina, mostrando de manera teórica la factibilidad económica y ventajas medioambientales y sanitarias que representaría el uso de los residuos orgánicos de la granja como materia prima para la producción de gas metano, el cual es un combustible natural que puede ser usado para la producción de energía.

Se detalla en el presente trabajo el procedimiento a seguir para la determinación de medidas y condiciones de funcionamiento de un biodigestor que se pretende digerirá heces porcinas; que son de naturaleza contaminantes, y cuya disposición sin tratamiento al medio ambiente es prohibida por ley, en productos beneficiosos para el medio, como es el caso del bioabono sólido y líquido, que mejora las condiciones de la tierra tratada con estos productos, así como el biogás, fuente de energía alternativa que permite reducir el uso de hidrocarburos cuya obtención representa un elevado costo medioambiental, que no estamos dispuestos a pagar.

CAPITULO 1 .....	7
1.1 INTRODUCCIÓN .....	7
1.2 OBJETIVOS .....	11
1.2.1. Objetivo General .....	11
1.2.2. Objetivos Específicos .....	11
1.3 ALCANCE .....	12
1.4 JUSTIFICACIÓN .....	12
1.5 ANTECEDENTES .....	14
CAPITULO 2 .....	19
2.1 MARCO TEÓRICO .....	19
2.2 MARCO REFERENCIAL .....	23
2.2.1 Energía Renovable .....	23
2.2.2 Metano .....	25
2.2.3 Biodigestor .....	26
2.2.4 Biogás .....	34
2.2.5 Biomasa .....	35
2.3 ANÁLISIS DE NECESIDADES .....	38
CAPITULO 3 .....	41
3.1 DISEÑO GENERAL .....	41
3.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARTICULARES .....	46
3.2.1 Capacidad del biodigestor .....	46
3.3 DISEÑO PARTICULAR .....	50
3.3.1 Selección del Lugar .....	50
3.3.2 Dimensiones .....	53
3.4. Planos .....	66
3.5 FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO DEL BIODIGESTOR .....	67
CAPITULO 4 .....	69
4.1 ANÁLISIS ECONÓMICO .....	69
4.1.1 Alcance del proyecto .....	69
4.1.2 Inversión .....	73
4.2 ANÁLISIS FINANCIERO .....	76
4.2.1 Determinación de costos .....	76
4.2.2 Determinación del ahorro obtenido .....	80
4.2.3 Indicadores financieros .....	84
4.3 ANÁLISIS MEDIO AMBIENTAL .....	85
4.3.1 Ventajas generales ambientales del uso energético de la biomasa .....	86
4.3.2 Estudio del marco legal ambiental .....	86
4.3.3 Análisis de impacto ambiental .....	96
CAPITULO 5 .....	100
5.1 CONCLUSIONES .....	100
5.2 Recomendaciones .....	101

5.3 Bibliografía .....	101
5.4 Anexos .....	104

# **CAPITULO 1**

## ***1.1 INTRODUCCIÓN***

Desde el descubrimiento del petróleo en Ecuador en los años setentas, éste se convirtió en base primordial del desarrollo económico del país, desplazó rápidamente, de la lista de los principales generadores de divisas, a grandes competidores como la exportación de banano, cacao, camarón, etc.

A partir de esos días hasta hoy, el papel del combustible fósil ha marcado su importancia no sólo en el ámbito económico sino también en el ámbito energético combatiendo toda la interna de energía. Si bien el Ecuador cuenta con una altísima reserva de este combustible, aproximadamente de 3.760 millones de barriles para una producción de 91,6 millones de barriles diarios de crudo, atraviesa hoy por hoy una de sus peores crisis energéticas.

Las propuestas planteadas, si bien son factibles y dan solución a largo plazo a esta crisis, se ven truncadas en un proceso gubernamental lento que deteriora día a día las posibilidades de su aplicación.

Las zonas más afectadas con el déficit de energía usualmente son las rurales, debido a la deficiencia de las vías de comunicación así como también al creciente costo de insumos transportados a sitios remotos. Estas condiciones nos impulsan a desarrollar una conciencia sobre la importancia de considerar la

implementación de programas, para el uso de energías alternativas y conseguir un auto abastecimiento energético.

A nivel mundial, las proyecciones del uso de la energía, al igual que en nuestro país, se basan en escenarios contruidos alrededor de supuestos acerca del crecimiento económico, cuán rápido crecerá la población mundial, el grado de avance tecnológico, medidas de conservación, la adopción de tecnologías energéticamente eficientes, la disponibilidad relativa y precio de los combustibles fósiles. Estos escenarios sugieren que en el año 2010, los combustibles fósiles probablemente absorberán las tres cuartos de la energía comercial del mundo y el uso de energías renovables jugará un pequeño rol, pero en ascenso, en los próximos 30 años. Actualmente las energías renovables tales como la eólica, la solar en sus diferentes formas, contribuyen con una cifra inferior al 2% en la provisión global de la energía. Un estudio de la WEC (World Energy Council) proyecta, si las actuales políticas continúan, que las energías renovables contribuirán con un 4% a la provisión global de la energía para el año 2020 (The World Resources Institute, 1996).

Una de las energías renovables de más fácil aprovechamiento es la biomasa, esto es, sustancia orgánica de origen animal o vegetal, que en la antigüedad era la fuente energética más importante para la humanidad, y en ella se basaba la actividad manufacturera hasta el inicio de la revolución industrial, pero con el uso



masivo de combustibles fósiles el aprovechamiento energético de la biomasa fue disminuyendo progresivamente y en la actualidad presenta en el mundo y en nuestro país un reparto muy desigual o nulo como fuente de energía primaria. La biomasa es uno de los recursos renovables cuya utilización presenta características singulares y beneficios notables. Se trata de una fuente prácticamente inagotable, producida cíclica y continuamente por el reino vegetal y animal, tan abundantes en nuestro país. El uso de la biomasa aporta beneficios que no son sólo energéticos, sino además ambientales y económicos. Es un sistema idóneo de eliminación de residuos y puede ser además, un modo de equilibrar determinados excedentes agrícolas.

Contrariamente en nuestro país el uso del petróleo como la principal fuente de energía primaria, es la causa de problemas medioambientales como la deforestación, desertización, reducción de la biodiversidad, etc.

En el sector rural del Ecuador, la principal forma de contaminación es el estiércol, que genera malos olores y polución con nitratos al agua de consumo. La opción del uso de los purines (biomasa) como fuente de energía permite la contaminación producida por las actividades agrícola-ganaderas, promoviendo la reducción de fuentes de contaminación y generando una conciencia ambiental de protección.

En este contexto el presente trabajo presenta el diseño de un biodigestor para producir gas metano a partir de los excrementos de cerdo de una granja porcina de la ciudad de Quito, ubicada en la Parroquia de Pifo (extremo nororiental del Distrito Metropolitano de Quito, que dista 35 Km. de la Capital del Ecuador).

La instalación de la granja, no se aleja de las especificaciones generales planteadas. No posee sistema de tratamiento de residuos sólidos, líquidos ni red de distribución de gas natural, por ende no se emplea medio alguno para la calefacción de las instalaciones, hecho que produce pérdida en la grasa corporal en los cerdos que se traduce a una disminución de las utilidades y en general en la eficiencia del proceso de engorde de los animales.

La granja se encuentra constituida básicamente por tres áreas con características particulares cada una de ellas:

- corrales de lechones, distribuida en 7 espacios
- área de gestación
- y el área de engorde

En cuanto a la disponibilidad de la biomasa, en total las 3 áreas, concentran 70 cerdos.

El agua cumple un rol muy importante en el lavado que se da a los cerdos en las áreas y etapas de crecimiento. Se requieren alrededor de 400 a 600 lt. para el lavado del corral. Las heces y el agua de lavado de las instalaciones constituyen

un subproducto normal en las explotaciones del ganado porcino, difícil de manejar dado su volumen y problemas sanitarios que estos conllevan.

Por el momento los residuos son depositados sin control alguno en la colina en la que se encuentra la granja y de ahí caen al río cercano.

Es por ello que este trabajo tiene como objetivo probar, de modo teórico, que la implementación de un biodigestor ayudaría a manejar eficientemente los residuos de la granja, evitando la contaminación que se produce actualmente, mejorando las condiciones sanitarias de la granja. Además de la obtención de materia prima para producción de energía.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo General**

Mostrar de manera teórica la factibilidad y ventajas que representaría el uso de un biodigestor en una granja porcina para manejar eficientemente sus residuos orgánicos y producir gas metano (biogás), el cuál es un combustible natural que puede ser usado para la producción de energía calorífica o eléctrica.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Obtener la información ambiental y tecnológica de la granja porcina y su entorno, necesaria para realizar de manera proactiva el diseño de un biodigestor.

- Diseñar un biodigestor que cumpla las condiciones técnicas, para la transformación de la biomasa producida por la granja porcina, tratada hasta el momento como desecho en biogás, que puede ser utilizado como recurso en el proceso de producción de energía.
- Analizar los beneficios financieros, ambientales e higiénicos que podría proporcionar la implementación de un biodigestor en una granja porcina como medio para la obtención de biogás.

### **1.3 ALCANCE**

Demostrar teóricamente como se convierte la biomasa de una granja porcina en biogás por medio de un biodigestor, y así proveer mejoramiento de condiciones higiénicas a sus usuarios y a la sociedad, proporcionar condiciones ambientalmente aceptables dentro y fuera de la granja, así como la eliminación o mitigación del déficit energético (calor y electricidad).

### **1.4 JUSTIFICACIÓN**

La facultad de ingeniería y ciencias agropecuarias de la Universidad de las Américas tiene como objeto impartir enseñanza basada en la resolución de problemas a través de proyectos.

El proyecto que se presenta y analiza en este trabajo, es una alternativa para el mejoramiento del manejo de una granja porcina, solucionando varios problemas actuales, medioambientales, sociales y políticos, que la granja está pasando. Es decir muestra del cumplimiento de los objetivos planteados por la facultad.

Con el desarrollo de éste proyecto, se dará solución a la falta de: salubridad de las granjas porcinas y control de la contaminación ambiental que producen la explotación pecuaria en el Ecuador. En la actualidad causados por el desconocimiento de alternativas económicas por parte de los propietarios de las granjas, combinadas con la carencia de políticas nacionales que promuevan la difusión y ejecución de proyectos para la solución de estos problemas.

Frente a esto, el proyecto es una base para llegar a desarrollar una política medioambiental nacional, enfocada al mejoramiento del manejo de la producción pecuaria.

Por otro lado el beneficio ecológico será enorme, ya que actualmente, en la granja sobre la cual habla el estudio, los desechos no son tratados, generando descomposición al aire libre, sin obtener beneficio alguno y contaminando un río cercano. Con la implementación de un biodigestor, se aprovecharán los desperdicios, se podrá prevenir la contaminación del manto freático y del río cercano y reducirá la propagación de enfermedades.

Finalmente, pese a que el fundamento teórico sobre biodigestores existe y ha sido aplicado, éste estudio pretende aprovechar los recursos que se desechan en el lugar específico donde se instalará el biodigestor, y el desarrollar la técnica

más adecuada adaptada a la necesidad de la granja. Posteriormente se podrá convertir en metodología aportada por nuestra investigación.

### **1.5 ANTECEDENTES**

En el año de 1776, Alessandro Volta descubrió la formación de un gas combustible, que él llamo aire combustible, sobre pantanos, lagos y aguas estancadas, que tienen gran cantidad de sedimentos ricos en vegetación en proceso de descomposición. Él relacionó la generación de este gas con la cantidad de materia orgánica depositada en el fondo de estos estanques. Pero no fue hasta 1868 que Bechamp definió las relaciones como constituyentes de un proceso microbiológico llamado fermentación anaeróbica (en ausencia de oxígeno o nitratos), con producción de metano<sup>1</sup>.

Posteriormente en 1884, experimentos aislados dirigidos por Luis Pasteur, demostraron que por medio de la fermentación anaerobia de materia orgánica se obtiene gas combustible, al que denomina biogás por su origen de formación.

En 1890 Donal Cameron diseño una gran fosa séptica para la ciudad de Exeter, Gran Bretaña. Con el gas que se obtenía de la fosa alimentó la red de alumbrado público. Durante la Segunda Guerra Mundial, muchos granjeros de Inglaterra, Francia y Alemania, construyeron biodigestores para producir biogás para alimentar con éste sus tractores, producir electricidad y alimentar sus

---

<sup>1</sup> Antunes José A., “Apuntes sobre biogás”, 1era edición, Belo Horizonte, Brasil, Mayo 1981.

calderas para no morir de frío. Estas instalaciones cayeron en desuso a finales de los años 1950.

En el año de 1859, en la India, se comenzó a promocionar pequeñas plantas, a nivel familiar o local. Tratando a los residuos orgánicos del ganado vacuno con el objeto de producir gas para cocinar y obtener, a su vez, un producto fertilizante. A este nivel se encuentran multitud de pequeñas instalaciones, también, en Corea, Tailandia, Sudáfrica y China, donde se han contabilizado cerca de 6 millones de biodigestores en comunas y fábricas. Dichas instalaciones son sencillas, sin tratamiento del gas producido, no se controla la estabilidad en la producción ni su uso. El gas generado por un biodigestor debe ser quemado en ambientes externos para evitar asfixias por acumulación de CO<sub>x</sub> o azufre.

En la actualidad varias instituciones alrededor del mundo se encuentran desarrollando nuevos modelos de biodigestores con el fin de maximizar su producción y disminuir su tamaño. En lugares de la China ya se producen biodigestores que satisfacen las necesidades domésticas como en refrigeradores, calefacción, y la cocción de alimentos<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Flotats, Campos, Bommatí; Aprovechamiento energético de residuos ganaderos, Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo Universidad de Lleida, Octubre 1997

A nivel nacional la producción de energía proviene en un 46% de las plantas hidroeléctricas, un 46% de las centrales termoeléctricas que queman diesel, bunker y recientemente gas natural, el 8% restante se importa de Colombia<sup>3</sup>. El uso de los combustibles fósiles tiene un serio impacto ambiental y es una de las principales causas de la tala indiscriminada de árboles y por ende del sobrecalentamiento global del planeta. Si bien este tema de importancia mundial, en el Ecuador el uso de combustible fósil tiene un impacto mucho mayor por los subsidios del Estado.

En el año 2004 el Estado invirtió USD 114 millones para el subsidio del combustible para las centrales térmicas; y no se ve acciones para revertir esta situación.

Con el uso de las fuentes de energía limpias sustituyendo los combustibles fósiles mediante la producción de biocombustible como el etanol, biodiesel, aceite vegetal o biogás provenientes de las plantaciones agrícolas o granjas se puede disminuir la dependencia en las gasolinas y diesel, tanto de energía eléctrica y térmica, se puede mejorar las condiciones de vida del agro.

El primer biodigestor que se diseñó en el Ecuador fue en el año de 1974, por un grupo de jóvenes Imbabureños con la ayuda del Cuerpo de Paz, experimentaron con biodigestores pequeños. Los resultados sirvieron de incentivo, a la

---

<sup>3</sup> Ing. Santiago Sanchez M., M.Sc., M.E.E., Propuesta de acciones y políticas en energías renovables y eficiencia energética para el Ecuador, Quito 2005.



comunidad donde se realizaron las pruebas, a la construcción de un biodigestor que proveería de biogás a una panadería de la comunidad. El proyecto falló por fallas técnicas en la construcción<sup>4</sup>.

En 1980 el INE (Instituto Nacional de Energía), entidad adscrita al Ministerio de Energía y Minas, construyó en Guamaní, al sur de la capital, un biodigestor de carga continua, con una capacidad de 6m<sup>3</sup> de biogás/día, utilizando como materia prima estiércol de ganado vacuno. Los resultados fueron positivos y se continúa con el proyecto de construcción de biodigestores en Portoviejo e Ibarra<sup>5</sup>.

A partir de esta fecha, se han construido en el país cerca de 52 biodigestores, de ellos 25 fueron construidos y supervisados por el INE.

Pese a los esfuerzos realizados por el INE, el papel de las energías renovables no es trascendente en la generación de energía en los días de hoy y no vemos que se generen políticas para apoyar el crecimiento de este tipo de energías en el país.

Es preocupante que de seguir así el consumo de energía la situación se volverá insostenible y el impacto en el planeta será irreversible. La introducción de energías renovables, como el biogás y eficiencia energética a todo nivel

---

<sup>4</sup> Felix A. Sánchez S., Mandujano I. Utilización de Biogás, México, s.e., 1980.

<sup>5</sup> Fernandez B., Construcción y operación de biodigestores, Brasil, mayo 1980.

permitirán la reducción de la dependencia en el uso de los combustibles fósiles y liberación de divisas que pueden aprovecharse para el desarrollo de las poblaciones rurales y para todo el país.

## **CAPITULO 2**

### **2.1 MARCO TEÓRICO**

La descomposición anaeróbica (en ausencia de oxígeno) de materia orgánica produce un gas combustible. Este gas que contiene una alta proporción en metano ( $\text{CH}_4$  en concentración superior al 60% en el gas), con una potencia calorífica inferior del orden de  $5500 \text{ Kcal./m}^3$ , se designa usualmente como biogás. Todo proceso de digestión anaeróbica produce una eliminación o depuración de la carga orgánica y la producción de biogás. Las instalaciones especialmente diseñadas para optimizar este proceso se conocen como biodigestores de metano o plantas de biogás.

Este tipo de fermentación con producción de metano, no es más que un tipo de fermentación catalizada por bacterias específicas. Mediante la descomposición anaeróbica se pueden llegar a tratar una amplia variedad de residuos, como:

- Residuos agrícolas y ganaderos
- Cultivos
- Residuos industriales orgánicos
- Aguas residuales municipales e industriales
- Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos

La biomasa que se genera en la granja porcina al ser introducida en el biodigestor se descompone por bacterias, en diferentes rangos térmicos, de

modo que se completa un ciclo natural y las basuras orgánicas se convierten en abono orgánico.

La fermentación ocurre en ausencia de oxígeno (sin aire) y produce, como resultado final Biogás o gas Metano ( $\text{CH}_4$ ) y Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), además de un efluente líquido alcalino que es un excelente abono orgánico.

La fermentación anaeróbica está caracterizada por la existencia de tres fases diferenciadas en el proceso de degradación del sustrato (alimento de los microorganismos), interviniendo diversas poblaciones de bacterias.

La naturaleza y la composición química del sustrato condicionan la composición cualitativa de la población bacteriana de cada etapa, de manera que se establece un equilibrio fácilmente alterable cuando algún tóxico no permite el desarrollo de alguna de las poblaciones.

En la primera etapa, hidrólisis-acidogénesis, los polímeros orgánicos como carbohidratos, grasas y proteínas son hidrolizados en unidades más pequeñas tales como azúcares, ácidos grasos de cadenas más largas y amino ácidos. Esto es fecundado por medio de enzimas extracelulares como la celulasa, amilasa, lipasa o proteasa. Los microorganismos que producen estas enzimas pueden ser microorganismos aeróbicos obligados o facultativos.

La siguiente etapa en la degradación anaeróbica la acidogénesis, es donde, los azúcares, ácidos grasos de cadenas largas y amino ácidos resultantes de la

primera etapa son utilizados como sustratos por microorganismos fermentativos o por oxidantes anaeróbicos. En un proceso estable, la principal ruta de degradación es vía acetato, dióxido de carbono e hidrógeno y los residuos intermediarios de fermentación juegan un rol menor. Esta ruta de degradación también da un alto rendimiento energético para los microorganismos. La acumulación de receptores de electrones tales como ácidos láctico, propiónico, butírico, etanol y otros ácidos grasos volátiles es la respuesta de las bacterias al incremento de concentración de hidrógeno en el sustrato. Estos productos pueden no ser utilizados directamente por los microorganismos metanogénicos y deberían ser degradados por las bacterias productoras de hidrógeno.

Las bacterias acetogénicas son responsables de la conversión de los compuestos receptores de electrones producidos en la etapa acidogénica. La conversión de estos compuestos es crucial para la exitosa producción de metano, debido a que los microorganismos metanogénicos no los pueden utilizar directamente. En esta etapa existe una asociación sintrópica con microorganismos metanogénicos consumidores de hidrógeno. Termodinámicamente esta relación sintrópica representa el metabolismo basado sobre el concepto de mínima energía que pueden utilizar las células vivientes, donde las reacciones acetogénicas termodinámicamente no espontáneas se viabiliza por la reacción metanogénica, cuya energía libre de Gibbs negativa da como resultado una reacción sintrópica neta con energía libre de Gibbs negativa.

La metanogénesis es la producción de metano y dióxido de carbono a partir de un limitado numero de compuestos (acético, H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>, metanol y ácido fórmico) que actúan como sustrato para los microorganismos metanogénicos.

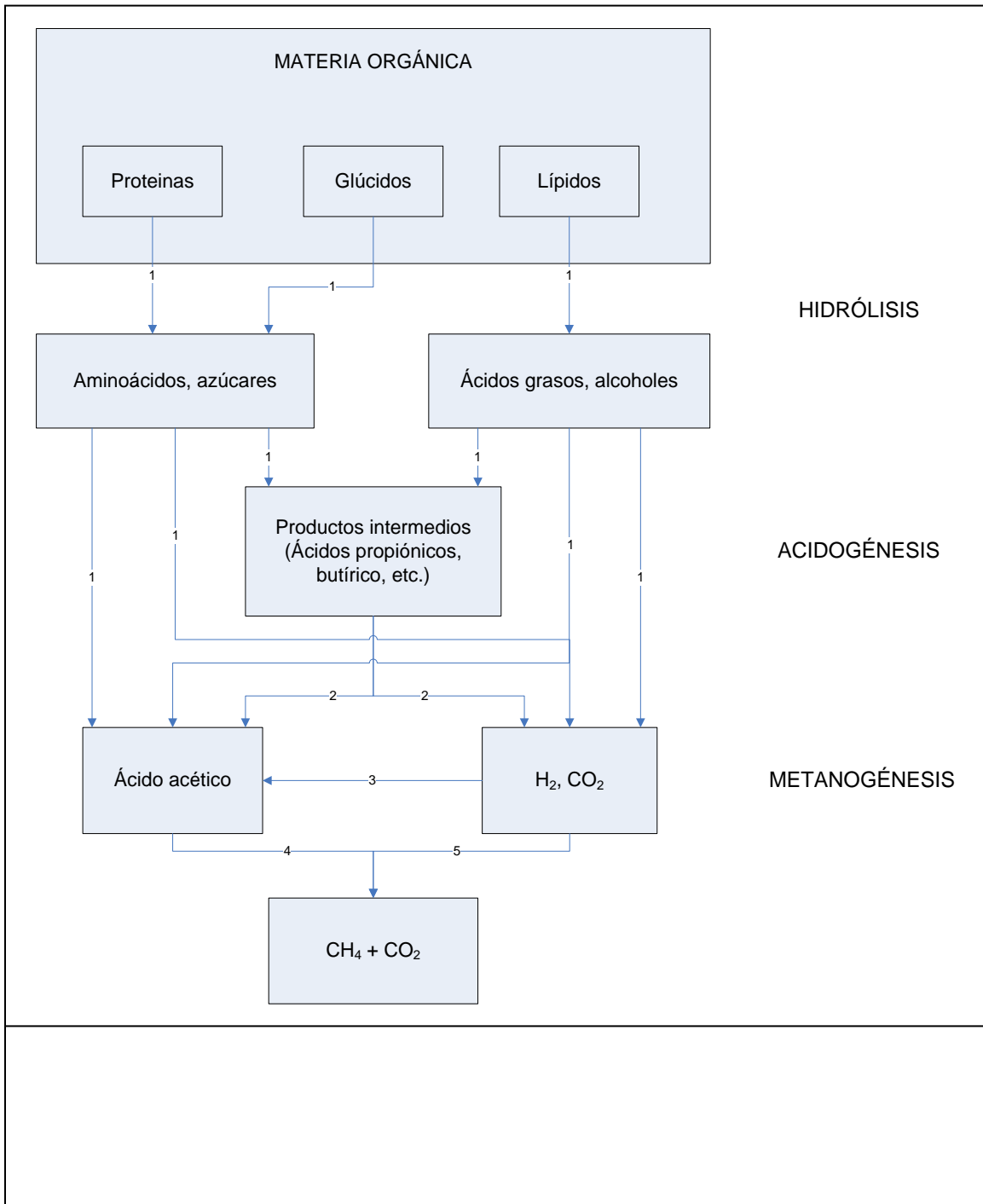


Fig.2.1 Fases de la fermentación anaeróbica que se presenta dentro de un biodigestor:

1. Bacterias hidrolíticas-acidogénicas; 2. Bacterias acetogénicas;  
3. Bacterias homoacetogénicas; 4. Bacterias metanogénicas hidrogenófilas; 5. Bacterias metanogénicas acetogénicas<sup>6</sup>

De la misma manera, las tasas de conversión del sustrato de biomasa bacteriana son del orden de 4 veces inferiores a las tasas correspondientes a sistemas aerobios de eliminación de materia orgánica, lo cual implica que el proceso anaerobio es, en líneas generales, lento, necesitándose varias semanas, incluso uno o dos meses, de puesta en marcha para conseguir una producción estable de gas

## **2.2 MARCO REFERENCIAL**

### **2.2.1 Energía Renovable**

Son fuentes de obtención de energías sin destrucción del medio ambiente, se caracterizan porque en sus procesos de transformación y aprovechamiento en energía útil no se consumen ni se agotan en una escala humana. Entre estas fuentes de energías están:

- Hidráulica,
- Solar,
- Eólica

---

<sup>6</sup> Ing. René Alvarez A, Ing. Victor Riera, Univ. Saúl Villca, Producción anaeróbica de biogás aprovechamiento de los residuos del proceso anaeróbico, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia 2004

- Geotérmica
- Biomasa
- y la de los océanos.

Las energías renovables suelen clasificarse en convencionales y no convencionales, según sea el grado de desarrollo de las tecnologías para su aprovechamiento y la penetración en los mercados energéticos que se presenten. Dentro de las convencionales, la más difundida es la hidráulica a gran escala.

Como energías renovables no convencionales (ERNC) se consideran la eólica, la solar, la geotérmica y la de los océanos. Además, existe una amplia gama de procesos de aprovechamiento de la energía de la biomasa que pueden ser catalogados como ERNC. De igual manera, el aprovechamiento de la energía hidráulica en pequeñas escalas se suele clasificar en esta categoría.

Al ser autóctonas y, dependiendo de su forma de aprovechamiento, de los impactos ambientales significativamente inferiores que las fuentes convencionales de energía, las ERNC pueden contribuir a los objetivos de seguridad de suministro y sustentabilidad ambiental de las políticas energéticas. La magnitud de dicha contribución y la viabilidad económica de su implantación, depende de las particularidades en cada país de elementos tales como el



potencial explotable de los recursos renovables, su localización geográfica y las características de los mercados energéticos en los cuales competirían.

Por su parte, si bien las ERNC presentan una participación marginal en el consumo bruto de energía, han tenido un espacio de desarrollo en el abastecimiento energético de zona rural, situación que se verá reforzada por las políticas gubernamentales de apoyo a la electrificación rural.

Las energías renovables no convencionales, que poseen un potencial de desarrollo en nuestro País, son las siguientes:

Eólica, Biomasa, Solar y sobre todo la Hidráulica.

### **2.2.2 Metano**

El metano es un gas incoloro, inodoro con una distribución amplia en naturaleza.

A temperatura ambiente, el metano es un gas menos denso que el aire. Se condensa a  $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$  y ebulliciona a  $-164\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Es poco soluble en agua. Es combustible, las mezclas de cerca de 5 a 15 por ciento en aire son explosivas.

Para hacer fugas de gas fácilmente detectables, una cantidad pequeña de compuestos de sulfuros orgánicos olorosos ( $\text{CH}_3\text{-SH}$  methylmercaptano,

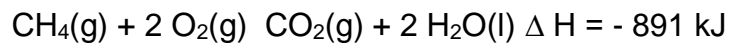
Y  $\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$  etilmercaptano) se agrega al gas natural comercial dándole un olor perceptible. El metano no es tóxico cuando es inhalado, pero puede producir sofocación al reducir la concentración del oxígeno inhalada.

El metano es sintetizado comercialmente por la destilación del carbón bituminoso y calentando una mezcla del carbón y del hidrógeno. Puede ser

producido en el laboratorio calentando el acetato del sodio con el hidróxido del sodio y por la reacción del carburo de aluminio ( $\text{Al}_4\text{C}_3$ ) con agua.

En la industria química, el metano es materia prima en la fabricación del metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), formaldehído ( $\text{CH}_2\text{O}$ ), nitrometano ( $\text{CH}_3\text{NO}_2$ ), cloroformo ( $\text{Cl CH}_3$ ), tetracloruro del carbono ( $\text{CCl}_4$ ), y algunos freones (compuestos que contienen el carbono y flúor, y quizás clorina e hidrógeno).

El metano se utiliza principalmente como combustible ya que su combustión es altamente exotérmica.



La energía producida por la combustión del metano, en forma de gas natural, se utiliza directamente para calentar hogares y edificios comerciales. También se utiliza en la generación de la energía eléctrica. Durante la última década el gas natural aportó con cerca de 1/5 de la consumo de energía total por todo el mundo, y cerca de 1/3 en los Estados Unidos<sup>7</sup>.

### 2.2.3 Biodigestor

Es la infraestructura, y equipo necesario en la cual es acumulada la biomasa y se comienza el proceso anaerobio para la producción del biogás.

Los biodigestores básicamente están constituidos por las siguientes partes:

- Entrada de la materia prima

---

<sup>7</sup> <http://scifun.chem.wisc.edu/chemweek/methane/methane.html>

- Cámara de fermentación
- Recolector y/o almacenamiento de biogás
- Salida del material fermentado

Existen dos corrientes principales de diseño, tomando en cuenta que los primeros digestores se construyeron en China e India de cúpula fija y campana flotante respectivamente, de ahí que las dos variables principales son:

- a. Sistema Hindu o KVICK
- b. Sistema Chino o SZCHAWN

Con el pasar del tiempo se desarrollaron otros tipos de biodigestores más sencillos y rápidos de hacer. Ejemplo de ellos es el digestor de lote o tipo Batch y en biodigestores de flujo continuo el digestor tubular.

*Biodigestor Sistema Hindú* Es el biodigestor más recomendado para la difusión en las áreas rurales, su manejo es fácil al igual que su mantenimiento.

Se componen de una cámara cilíndrica para la biodigestión, en la parte superior va colocado el gasómetro para el almacenamiento de biogás, lo que permite que la salida del gas mantenga una presión constante. La presión de salida del gas depende del peso del gasómetro o campana y del material con el cual se construyó (hierro tol, fibra de vidrio, plásticos, etc.).

Tiene dos tanques uno de carga y de descarga que se conectan a la cámara de fermentación por medio de tubos o canales<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> Dr. Jaime G Do Nascimento, Ing. Agrónomo, Gerente de Biogás del la EMATER-.PERNANBUCO, Brasil, material de exposición.

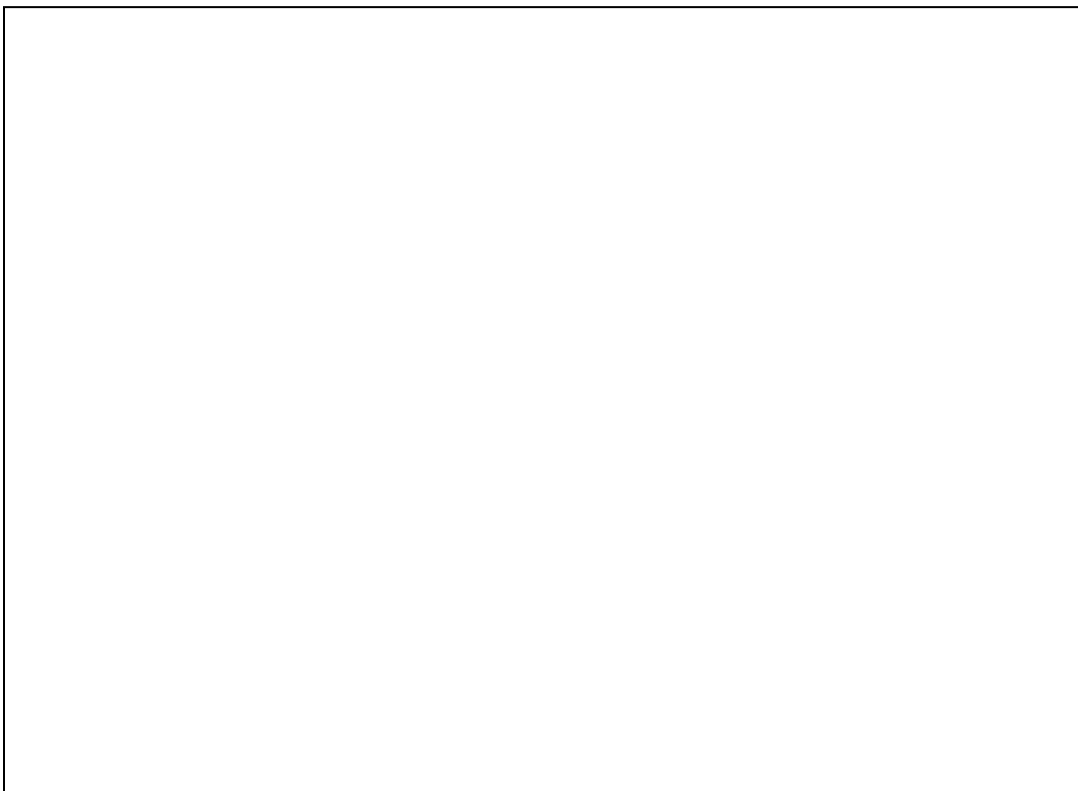
Su construcción es en ladrillo, bloques o piedra. Es importante enlucir el interior de la cámara, en la parte superior se construye una ceja con el objeto que descansa el gasómetro cuando la producción de biogás sea baja.

Las ventajas del biodigestor tipo hindú son:

- Trabaja a una presión constante
- Se puede determinar con facilidad la cantidad de gas observando el nivel de la campana
- Los materiales que se usan para su construcción de fácil acceso

Por otro lado las desventajas principales de este tipo de digestor son:

- La campana si es de acero, está expuesta a corrosión y su mantenimiento es costoso



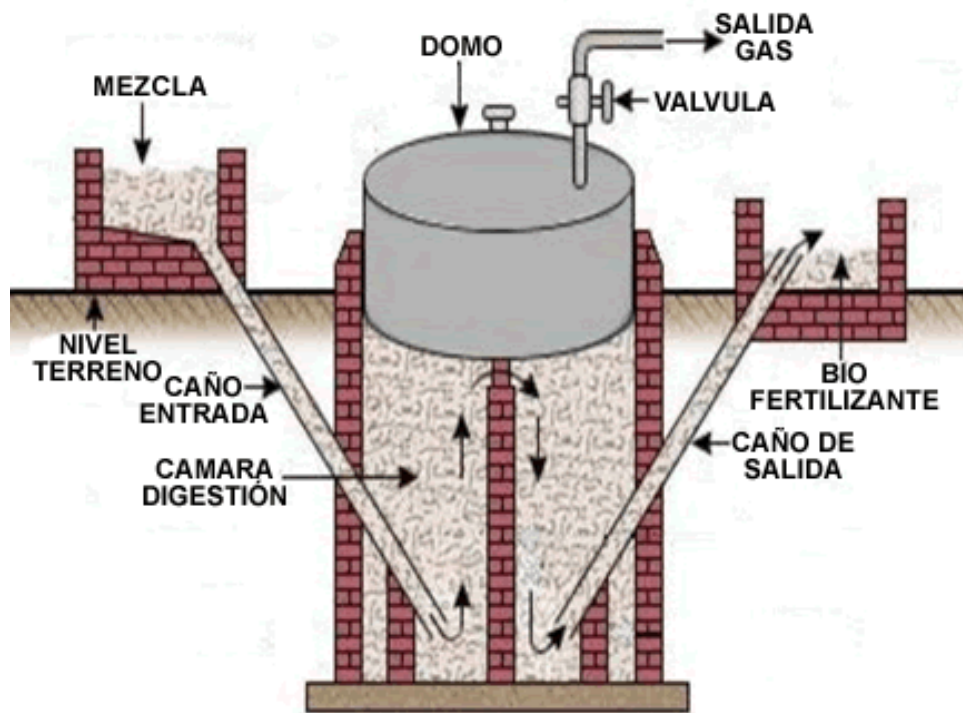


Fig. 2.2 Biodigestor Sistema Hindú

Biodigestor Sistema Chino Las principales características de estos biodigestores son: la base y la parte superior son domésticas, es decir tiene formas esféricas y achatadas, no tiene partes móviles a diferencia del modelo hindú. Generalmente se construyen bajo el nivel del suelo para evitar que los cambios de temperatura tengan incidencia en el proceso de fermentación.

Este tipo de biodigestor no tiene gasómetro aparte, el biogás se almacena dentro de la cámara de fermentación lo cual provoca presiones variables del biogás almacenado en ciertos momentos, perjudicando la eficiencia y funcionalidad de los equipos que se adaptan a la salida de gas. Estos

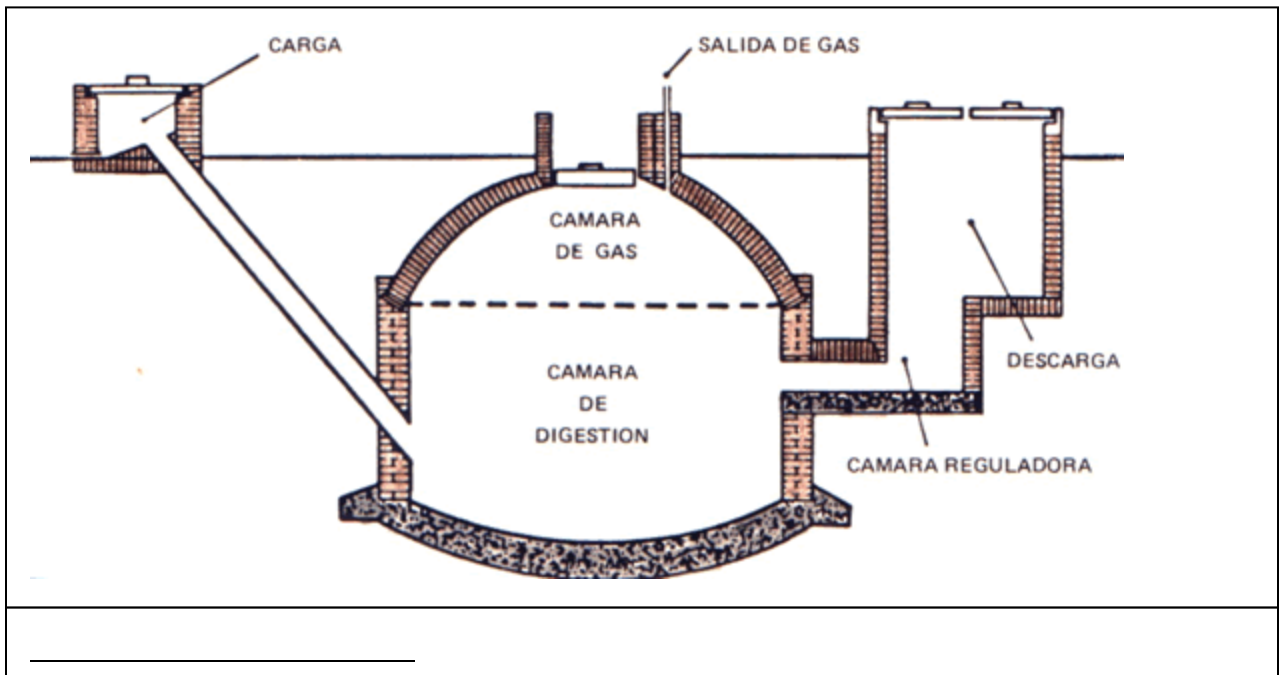
biodigestores son muy eficientes desde el punto de vista sanitario, es un excelente productor de bioabono por los tiempos largos de retención<sup>9</sup>.

Las ventajas de este biodigestor son:

- Se emplean materiales convencionales
- No hay partes metálicas sujetas a corrosión
- Su vida útil es de aproximadamente 20 años

Las desventajas son:

- La presión del gas no es constante
- La cúpula debe ser hermética, es decir, requiere una construcción compleja
- Los costos de implementación son altos



<sup>9</sup> ITINEC, Generación de Biogás en las áreas rurales de Perú, Lima- Perú, mayo 1980.

Fig. 2.3. Biodigestor Sistema Chino

Biodigestor de lote (BATCH) Las principales características de estos biodigestores son: es una estructura hermética de forma cúbica o cilíndrica, que puede ser construida sobre o dentro de la tierra. En el caso de que la tierra actúe en dos formas sobre el reactor: como aislante y si no es arenosa, se puede convertir en soporte estructural muy conveniente.

Se cargan de una vez en forma total o por intervalos durante varios días, y la descarga se efectúa cuando han dejado de producir gas. Una vez que se ha consumido el reactor, se carga con materia orgánica más sustrato con células que permitan el inicio de la fermentación ya que a diferencia del sistema hindú esta no es espontánea. En algunos casos es necesario adicionar químicos para obtener el pH recomendado.

Las ventajas de este biodigestor son:

- No necesita que el material orgánico esté disponible de forma constante.
- Se puede programar de acuerdo a las necesidades la producción de bioabono

Las desventajas son:

- La digestión no es espontánea, necesita aditivos para iniciar la reacción.

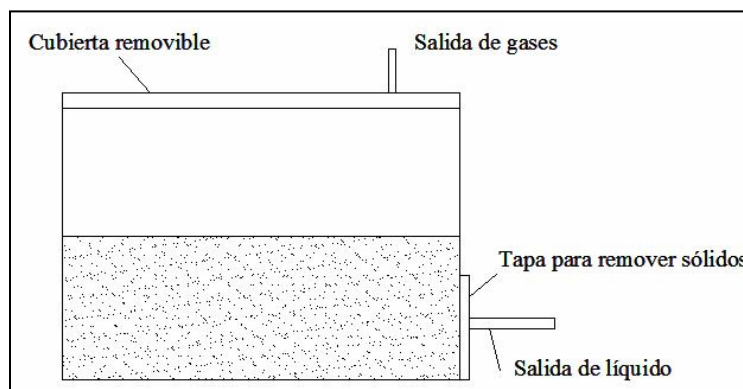


Fig. 2.4. Biodigestor BATCH

Biodigestor Tubular<sup>10</sup> Consiste en una bolsa o balón plástico completamente sellado. El gas se almacena en la parte superior. Los tubos de entrada y salida están directamente sujetos a la pared de la bolsa. En esta planta funciona como cúpula fija, cuando la cámara de gas está llena.

Las ventajas de este biodigestor son:

- Se emplean donde el peligro de que se dañe la bolsa es mínimo, en temperaturas altas y constantes
- Su instalación es rápida y sencilla
- Su vida útil es de aproximadamente 20 años

Las desventajas son:

- La presión del gas es baja cerca de 15 cm de columna de agua
- Su vida útil es de 5 años aproximadamente

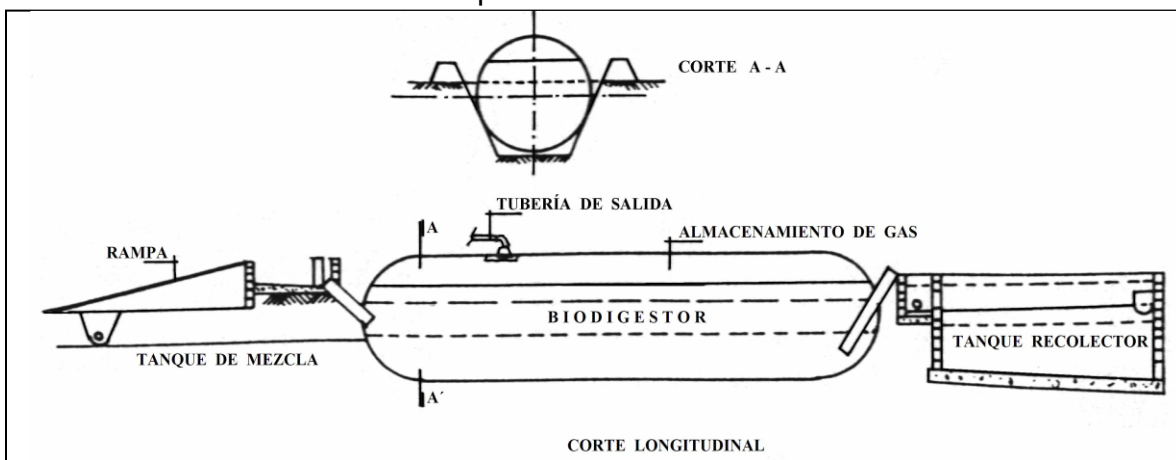




Fig 2.5 Biodigestor tubular

También existen varios tipos de biodigestores como:

- 1) Digestores tipo bolsa
- 2) Digestores de alta velocidad o flujo inducido
- 3) Digestores de Segunda y tercera generación

Los materiales que ingresan y abandonan el biodigestor se denominan afluente y efluente respectivamente. El proceso de digestión que ocurre en el interior del biodigestor libera la energía química contenida en la materia orgánica, la cual se convierte en biogás.

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

- Mejora la capacidad fertilizante del estiércol. Todos los nutrientes tales como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio así como los elementos menores son conservados en el efluente. En el caso del nitrógeno, buena parte del mismo, presente en el estiércol en forma de macromoléculas es convertido a formas más simples como amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), las cuales pueden ser aprovechadas directamente por la planta. Debe notarse que en los casos en que el estiércol es secado al medio ambiente, se pierde

alrededor de un 50% del nitrógeno por evaporación (Hohlfeld y Sasse 1986).

- El efluente es mucho menos oloroso que el afluente.
- Control de patógenos. Aunque el nivel de destrucción de patógenos variará de acuerdo a factores como temperatura y tiempo de retención, se ha demostrado experimentalmente que alrededor del 85% de los patógenos no sobreviven el proceso de biodigestión. En condiciones de laboratorio, con temperaturas de 35 °C los coliformes fecales fueron reducidos en 50 – 70% y los hongos en 95% en 24 horas (Marchaim 1992).

#### **2.2.4 Biogás**

Se llama biogás al gas que se produce mediante un proceso metabólico de descomposición de la materia orgánica sin la presencia del oxígeno del aire. Este biogás es combustible, tiene un alto valor calórico de 4 700 a 5 500 Kcal/m<sup>3</sup> y puede ser utilizado en la cocción de alimentos, para la iluminación de naves y viviendas, así como para la alimentación de motores de combustión interna que accionan, máquinas herramientas, molinos de granos, generadores eléctricos, bombas de agua y vehículos agrícolas o de cualquier otro tipo. La generación natural de biogás es una parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono. El metano producido por bacterias es el último eslabón en una cadena de microorganismos que degradan material orgánico y devuelven los productos de la descomposición al medio ambiente.

El biogás esta compuesto por:

Metano (CH<sub>4</sub>) 55 a 70 %

Anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) 35 a 40 %

Nitrógeno (N<sub>2</sub>) 0.5 a 5 %

Sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) 0.1 %

Hidrógeno (H<sub>2</sub>) 1 a 3 %

Vapor de agua

Como se observa el aporte calórico fundamental lo ofrece el metano el valor calórico del metano puede llegar hasta 8 260 Kcal / m<sup>2</sup> con una combustión limpia (sin humo) y casi no contamina. El uso del biogás en motores de combustión interna permite que se soporten altas compresiones sin detonaciones.

### **2.2.5 Biomasa**

La biomasa, primera fuente de energía utilizada por el hombre, es toda aquella materia orgánica originada como consecuencia de procesos biológicos. Por tanto las plantas y todo producto vegetal, los animales que directa o indirectamente se alimentan de ellas, y todos los residuos generados por la actividad de los seres vivos.

Existen diferentes tipos o fuentes de biomasa que pueden ser utilizados para suministrar la demanda de energía de una instalación, una de las clasificaciones más generalmente aceptada es la siguiente:

- Biomasa natural: es la que se produce espontáneamente en la naturaleza sin ningún tipo de intervención humana. Los recursos generados en las podas naturales de un bosque constituyen un ejemplo de este tipo de biomasa. La utilización de estos recursos requiere de la gestión de su adquisición y transporte hasta la empresa lo que puede provocar que su uso sea inviable económicamente.
- Biomasa residual seca: se incluyen en este grupo los subproductos sólidos no utilizados en las actividades agrícolas, en las forestales y en los procesos de las industrias agroalimentarias y de transformación de la madera y que, por tanto, son considerados residuos. Este es el grupo que en la actualidad presenta un mayor interés desde el punto de vista del aprovechamiento industrial. Algunos ejemplos de este tipo de biomasa son la cáscara de almendra, el orujillo, las podas de frutales, el aserrín, etc.
- Biomasa residual húmeda: son los vertidos denominados biodegradables: las aguas residuales urbanas e industriales y los residuos ganaderos (principalmente purines).

- Cultivos energéticos: son cultivos realizados con la única finalidad de producir biomasa transformable en combustible. Algunos ejemplos son el cardo (*cynara cardunculus*), el girasol cuando se destina a la producción de biocarburantes, el miscanto, etc.
- Biocarburantes: aunque su origen se encuentra en la transformación tanto de la biomasa residual húmeda (por ejemplo reciclado de aceites) como de la biomasa residual seca rica en azúcares (trigo, maíz, etc.) o en los cultivos energéticos (colza, girasol, patata, etc.), por sus especiales características y usos finales este tipo de biomasa exige una clasificación distinta de las anteriores<sup>11</sup>.

Por término medio, un kilogramo de biomasa permite obtener 3.500 Kcal. y que un litro de gasolina tiene aproximadamente 10.000 Kcal., por cada tres kilogramos que desperdiciamos de biomasa, se desaprovecha el equivalente a un litro de gasolina.

Habitualmente, el contenido energético de la biomasa se mide en función del poder calorífico del recurso, aunque para algunos de ellos, como es el caso de la biomasa residual húmeda o de los biocarburantes, se determina en función del poder calorífico del producto energético obtenido en su tratamiento.

---

<sup>11</sup> Nogués Fernando Sebastián, Royo Herrer Javier, La biomasa como fuente de energía renovable, Fundación CIRCE, Abril 2002.

La cantidad de biogás generado y su contenido energético dependen de las características del sustrato tratado y de la tecnología empleada, en la tabla 2.1 se muestra el potencial energético medio de algunos recursos.

Sustrato	Cantidad de gas a 30 °C en l/kg de residuo seco	Contenido en metano (%)	P.C.I. (Kcal/m <sup>3</sup> N de biogás)
Estiercol con paja	286	75	6100
Excremento de vaca	237	80	6500
Excremento de cerdo	257	81	6600
Agua residual urbana	100 (por m <sup>3</sup> de agua tratada)	65	5300

**Tabla 2.1** Contenido energético de algunos recursos englobados bajo el término biomasa residual húmeda

Por último, en el caso de los biocarburantes, éstos presentan un P.C.I. (Potencial calorífico interno) ligeramente inferior al de los combustibles fósiles tradicionales, aproximadamente el 10% (Nogués/Royo, 2002).

### **2.3 ANÁLISIS DE NECESIDADES**

A finales del 2004 se inició la construcción de un conjunto habitacional, junto a una granja porcina ubicada en la parroquia de Pifo, la construcción de la misma finalizó a mediados del año consecutivo y las casas comenzaron a ser habitadas por sus dueños.

Al poco tiempo de habitado el conjunto se presentaron dos quejas a la Administración de la zona de Tumbaco debido a las emisiones gaseosas causantes de mal olor que provienen de la granja con la que colinda.

En los meses siguientes se realizaron dos inspecciones ordenadas por la administración para verificar condiciones higiénicas de la granja, la una por el Departamento de Gestión Urbana y la segunda por el Departamento de Medio Ambiente. Las inspecciones advirtieron al propietario de la granja la necesidad de implementar algún medio para el control de emisiones gaseosas producidas por los purines de los cerdos de la granja y detener la deposición inadecuada de las descargas líquidas al río con el cual limita la granja. Se le dio la orden de tratar los residuos líquidos para eliminar los contaminantes producidos en la limpieza de los animales e instalaciones.

Tras realizar un pre-diagnóstico de la situación de la granja y los antecedentes presentados se propone como solución a los problemas la implementación de un biodigestor, al cual se canalicen todos los desechos sólidos y líquidos.

Los beneficios esperados tras la implementación serían:

- a) Eliminación de emisiones gaseosas de mal olor al medio, aplacando el problema del conjunto habitacional colindante.
- b) Mejorar las condiciones higiénicas de la granja y los cerdos.
- c) Tratamiento implícito de las aguas residuales de la granja, dando fin a la contaminación del río con el cual limita.
- d) Obtención de bioabono, de alta calidad el cual podría ser utilizado en los sembríos con los que cuenta.

e) Obtención de gas metano el cual es combustible, y dejando una puerta abierta para su uso como materia prima en la obtención de energía alternativa. La sugerencia sería utilizar la combustión del biogás obtenido para la calefacción de las instalaciones donde se encuentran las crías recién nacidas y las cerdas en etapa de gestación.

En el presente proyecto se presenta el diseño del biodigestor adecuado para las especificaciones de la granja, sentando por escrito los beneficios implícitos en la implantación de este sistema de tratamiento de los residuos, utilizándolos como materia prima de biogás.



## CAPITULO 3

### **3.1 DISEÑO GENERAL**

Para el diseño de un biodigestor, es necesario un minucioso análisis de las variables del ecosistema en el cuál va a ser inducido, de manera que se asegure un adecuado funcionamiento.

Los factores físico-químicos que deben ser tomados en cuenta son:

Temperatura está tiene importante significado en el proceso de biodigestión anaeróbica. La biodigestión ocurre en un rango de temperatura que va desde los 15°C hasta los 55°C. Se ha determinado que la temperatura óptima es la de 30 a 35°C, pues estas temperaturas se combinan las mejores condiciones para el crecimiento y desarrollo de las bacterias y la producción de metano se realizará en menor tiempo de retención de la materia orgánica<sup>12</sup>.

El tiempo de Retención TR es el periodo que tardará la materia dentro del biodigestor en tanto se completa su degradación. Es importante mencionar que el tiempo de retención depende directamente de la temperatura, a mayor temperatura menor tiempo de retención (a la vez que debe mantenerse dentro del rango de temperatura óptima).

---

<sup>12</sup> ICATI-ROCAF, Manual de construcción y operación de una planta de biogás, Manual Técnico, Guatemala, 1983.

Tipo de desecho la materia orgánica en el caso de la producción de gas metano por medio de un biodigestor se considera materia prima del producto, dependiendo del material usado y las condiciones de humedad en las que sean introducidas en el biodigestor, diferirán tanto la cantidad de gas producido como el tiempo de retención necesario.

La cantidad de cieno de fermentación  $C_f$  es la medida de mayor importancia para la realización de los cálculos.

PH las fluctuaciones de este factor se debe también al tipo de desecho que se utiliza. A su vez el PH influye de manera directa en la cantidad de bacterias metanogénicas que se presentarán en el proceso de descomposición de la materia prima. Para el correcto funcionamiento del biodigestor el PH debe encontrarse en un rango de 7 a 8, es decir ligeramente alcalino. En el momento de perderse esta neutralidad, las bacterias se inhiben y el proceso productivo pierde eficiencia<sup>13</sup>.

Relación carbono – nitrógeno (C/N) la materia orgánica contiene cantidades adecuadas de nutrientes esenciales para la multiplicación, crecimiento y metabolismo de las bacterias formadores de metano; sin embargo, la composición química y disponibilidad biológica de estos materiales son diferentes.

---

<sup>13</sup> Feliz A. Sanchez, Manfujano I., Utilización del Biogás, México, s.e., 1980.

Es importante mantener un equilibrio de la relación C/N, se ha determinado que la relación más adecuada para el buen funcionamiento de un biodigestor es de 20:1 a 30:1.

Al existir exceso de Carbono el proceso se limitará por la falta de nitrógeno, de manera contraria, si la presencia del Nitrógeno es alta se producirá amoniaco ( $\text{NH}_3$ ) que puede inhibir el crecimiento de las bacterias.

Agitación el incremento en la producción de biogás se relaciona de manera directa con la agitación del material que se encuentra dentro del biodigestor. La agitación evita la solidificación de capas que dificultará la consecución adecuada en el proceso de biodigestión.

De igual manera es importante tener en cuenta las siguientes variables:

- Cantidad de materia prima disponible
- Uso potencial del biogás a ser obtenido
- Aspectos socioeconómicos

Tipo de biodigestor En la actualidad se han experimentado en la construcción de varios tipos de biodigestores, en este estudio dedicaremos el presente capítulo en el diseño de un biodigestor continuo de alimentación diaria, modelo hindú. La decisión fue hecha en base a la facilidad que presta este modelo para su implementación y funcionamiento en un medio rural. La materia prima para la construcción será fibra de vidrio, piedra bola, bloques, etc. todos de fácil

obtención en la zona en la cual se encuentra la granja que nos sirve para el presente ejercicio de diseño.

Se hizo una comparación con tres tipos de biodigestor: tipo chino, tubular y BATCH, de la cual se concluye que la mejor opción a se implementada es la de tipo Hindú. A continuación se presenta la matriz utilizada:

**MATRIZ DE SELECCIÓN DE BIODIGESTOR**

PARÁMETRO Especificaciones técnicas	Peso del Factor	Digestor de lote (Batch)		Digestor tipo Hindú		Digestor Chino		Digestor Tubular	
			Calif.		Calif.		Calif.		Calif.
Eficiencia	15	35 - 50%	6,4	45 - 60%	7,9	40 - 60% (solo si se garantiza la completa hermeticidad)	7,5	50 - 62%	8,25
Productividad	12	Necesita un sistema de digestores en serie para producción continua de gas	3	Producción continua de gas a presión constante, cuando se carga periódicamente.	10	Producción continua de gas con fluctuaciones de presión, cuando se carga periódicamente	5	Producción continua de gas con fluctuaciones de presión, cuando se carga periódicamente	5
Crecimiento bacterial	7	Necesita la adición de un sustrato con bacterias para generar la fermentación	2	Se presenta sin ningún requerimiento adicional	6	Necesita la adición de un sustrato con bacterias para generar la fermentación	2,5	Dependiendo de la carga puede necesitar un sustrato adicional con bacterias.	3
Calidad del gasómetro	10	Sistema hermético bastante simple	5	Es susceptible a fugas por fallas en construcción de la campana	5	Requiere de habilidad y precisión en la construcción para garantizar hermetismo	3	Es buena debido a la membrana sintética	6
Calidad del reactor	10	Poco susceptible a fugas	4	Poco susceptible a fugas	5	Se pueden generar fugas con el tiempo debido a la variación de presiones en el interior.	2,5	Poco susceptible a fugas	5
<b>Logística y Factibilidad</b>									
Transporte	9	Hay la necesidad de transportar materiales y herramientas hacia el lugar de instalación	3	Necesita transporte de materiales de construcción, y la campana	3	Necesita transporte de materiales de construcción para la mampostería	2,5	Necesita de transporte de materiales de construcción para tanques de carga y descarga.	5
Construcción del gasómetro	7	Puede ser construido por el usuario	4	Necesita construirse en un taller	5	Necesita de habilidad y precisión que garantice hermetismo	2,5	Puede ser instalado por el usuario sin problemas	5
Construcción del reactor	7	Puede ser construido por el usuario sin problemas	5	Puede ser construido por el usuario sin problemas	5	Necesita de habilidad en el trabajo de mampostería para garantizar hermetismo	3	Puede ser instalado por el usuario sin problemas	5
<b>Mantenimiento</b>									
Mantenimiento del gasómetro	7	Necesita reparaciones solamente cuando existen fugas	4	Debe ser tratada con anticorrosivo una vez por año	2,5	No requiere tratamiento especial, a excepción de cuando se presenten fugas.	3	Requiere de cuidado ante posibles perforaciones de la membrana.	2,5
Mantenimiento del reactor	7	No necesita mantenimiento especial cuando está bien construido	4	No necesita mantenimiento especial cuando está bien construido	5	Necesita de revisiones periódicas, por posibles fisuras.	2	Requiere de cuidado ante posibles perforaciones de la membrana.	2,5
<b>Costos</b>	25	Es elevado debido a la construcción de un sistema de digestores en serie para tener una +D7 producción razonable	7	Es elevado debido a la construcción de la campana metálica.	14	Es razonable debido al uso de materiales tradicionales para la mampostería.	13	Es bajo debido a la utilización de una membrana sintética, y accesorios plásticos.	16
<b>Total</b>	<b>116</b>		<b>47,4</b>		<b>68,4</b>		<b>46,5</b>		<b>63,3</b>

## **3.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARTICULARES**

### **3.2.1 Capacidad del biodigestor**

Para determinar la capacidad del biodigestor se tomaron en cuenta los siguientes factores:

#### 1. Desechos disponibles

La cantidad de desechos disponibles en la granja es un factor primordial para el diseño del biodigestor, de este dependerá las dimensiones del mismo, tipo y su producción de biogás.

Según el New Alchemy Institute West NAL. Newsletter #3, 1973, un cerdo adulto de producción de 90kg produce 5,9kg de desecho por día y un lechón a su vez produce un equivalente al 20% de producción de un cerdo adulto.

Además se conoce que para producir 1 m<sup>3</sup> de biogás se necesita 12.8Kg. de estiércol porcino<sup>14</sup>.

La granja que estamos estudiando para el ejercicio del diseño del biodigestor en este trabajo cuenta con 70 cerdos (47 lechones y 23 cerdos adultos)

Esto representa que la producción de purines de la granja es:

---

<sup>14</sup> Dr. Jaime G. Do Nascimento, Ing. Agrônomo, Gerente de Biogás de la EMATER\_PERNANBUCO, Brasil.

<b>Capacidad del biodigestor</b>						
	#	kg estiércol/día	% prod.	Estiércol diario kg	m <sup>3</sup> biogas producido por kg de estiércol	m <sup>3</sup> biogas diario
Lechones	47	5,9	0,20	55,46	0,078225	4,3384 m <sup>3</sup>
Cerdos adultos	23	5,9	1	135,70	0,078225	10,6151 m <sup>3</sup>
	70			<b>191,16</b>		<b>14,9535 m<sup>3</sup></b>
					rango de seguridad 3%	15,4021 m <sup>3</sup>
Tabla 3.1						

Teniendo como un total de 191.16 Kg. de estiércol al día y 15.402m<sup>3</sup>de biogás tomando en cuenta un rango de seguridad de 3% para el diseño.

## 2. Tiempo de retención

Se define como tiempo de retención al tiempo de permanencia de la materia prima en las cámaras internas del biodigestor durante su degradación, el tiempo de permanencia depende directamente de la temperatura ambiental como se indica en la tabla 3.1. <sup>6</sup>

<b>Días de retención</b>	<b>Zona climática</b>
30 a 40	Zona cálida
40 a 60	Zona templada
60 a 90	Zona fría
Tabla 3.2	

Considerando la ubicación geográfica del lugar donde se encuentra la granja, se ha tomado un tiempo de retención de 40 días.

### 3. Volumen total de materia prima

El proceso de la biodigestión se realiza en un medio húmedo, por lo cual la cantidad de estiércol se debe añadir una cantidad de agua, en resumen para obtener el volumen total de materia que va a contener el biodigestor durante su funcionamiento se asumirá una composición al 50% de humedad:

Estiércol fresco diario $C_f$	191,16 Kg. de estiércol/ día
Agua	+ <u>191,16 Kg. de estiércol/día</u>
Total	382,32 Kg. de carga/día
Tiempo de retención (TR)	<u>x 40 días</u>
	15292,80 Kg. por ciclo

Si la densidad del estiércol de cerdo al 50% es de 544,683 Kg./ m<sup>3</sup> tenemos que el volumen de carga que tendrá que soportar el biodigestor es equivalente a 28,077m<sup>3</sup>, con un rango de seguridad de 5 en las dimensiones se calcula un volumen de  $V_D$  de 29.480 m<sup>3</sup>. Calculado así:

$$V_D = \frac{m}{\delta} \quad (3.1)$$

$$V_D = \frac{15292,80 \text{ kg}}{544,683} = 28,077 \text{ m}^3$$



$$544,683 \text{ kg/ m}^3$$

#### 4. Carga del Biodigestor

La carga del biodigestor (R, 0L) indica con cuanto material orgánico es alimentado diariamente o cuánto material debe ser fermentado al día. La carga del digestor se calcula en Kg. de masa orgánica por metro cúbico del digestor por día (Kg. MOS/m<sup>3</sup> /d) largos tiempos de retención producen una menor carga del digestor. Para las plantas de biogás sencillas, cargas de 1.5 Kg./m<sup>3</sup>/d ya son bastante altas. Plantas grandes con control de temperatura y agitación mecánica se pueden cargar con unos 5 Kg./m<sup>3</sup>/d. si la carga es demasiado alta, baja el valor del pH. La planta se queda atorada en la fase acida, porque hay más material de fermentación que bacterias de metano.

$$V_D = 29,480 \text{ m}^3$$

$$TR = 40 \text{ días}$$

$$C_f = 191,16 \text{ Kg./día}$$

$$\text{Partes de materia orgánica: 5\%}$$

$$R = 5\% \frac{C_f}{V_d} \quad (3.2)$$

$$R = 5\% \frac{191,16 \text{ kg/día}}{29,480 \text{ m}^3}$$

$$R = 0,34 \text{ Kg./m}^3/\text{día}$$

Es decir dentro del rango normal; considerando que de acuerdo al Bremen Overseas Research and Development Association, en su libro "Instrucciones

para la construcción de una planta de biogás, donde se aclara que cargas de  $1,5\text{kg/m}^3$  ya son bastante altas.

### **3.3 DISEÑO PARTICULAR**

#### **3.3.1 Selección del Lugar**

El sitio de ubicación del biodigestor debe ser seleccionado en función de la facilidad de recolección de la materia prima y fácil acceso para su mantenimiento. Además se debe tomar en cuenta que el biodigestor debe ser colocado de manera que el clima del sector y el suelo en el cual va a ser colocado no afecten el proceso.

En el caso particular de la granja, la selección del lugar se dio tomando en cuenta los siguientes puntos:

- El problema de la contaminación del río ubicado a escasa distancia.
- El biodigestor debe encontrarse cerca de la fuente de aprovechamiento de materia prima y de una fuente de aprovisionamiento de agua, facilitando así el transporte de los purines.
- Las condiciones del terreno deben permitir la fácil construcción del biodigestor, evitando deslizamientos, debe ser descubierto permitiendo para que los rayos solares incidan de forma directa sobre el biodigestor, manteniendo así temperaturas adecuadas en el interior del biodigestor.

- La locación debe estar cerca del sitio del cual se espera la futura utilización del biogás obtenido en el proceso.

El sitio elegido se halla a distancia intermedia de las 3 áreas que componen la granja, en particular a 2.5 metros de la entrada al área de gestación. Siendo ésta el área donde se espera la futura utilización del biogás. Además el sitio tiene un declive natural, lo que permitirá distribuir por gravedad los purines hasta el interior del biodigestor. Ver grafico 3.1

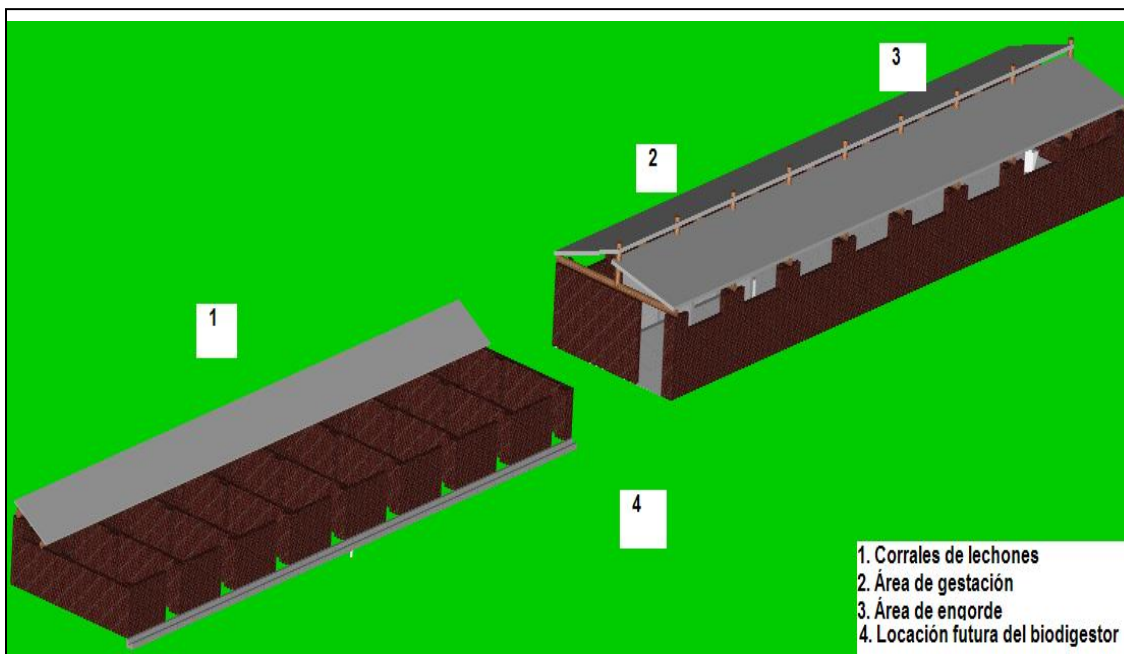


Gráfico 3.1. Áreas de la granja y locación determinada para el biodigestor



### 3.3.2 Dimensiones

Determinada la capacidad que debe tener el biodigestor se procedió al cálculo de las dimensiones del mismo y de cada una de las partes que lo componen.

#### 1. Dimensiones del biodigestor

Al haber determinado el modelo hindú como el más conveniente para el uso que va a darse al biodigestor en la granja de nuestro estudio, para los cálculos de las dimensiones se hizo teniendo en cuenta la figura geométrica del diseño.

Acuerdo a lo recomendado en la selección del sitio, se realizó una inspección del suelo con el objeto de determinar la profundidad de la capa freática, misma que se halló a 4m.

De manera que las dimensiones sugeridas fueron:

$$V_D = r^2 * \pi * h \quad (3.3)$$

Donde

$V_D$  → volumen del biodigestor

$r$  → radio del biodigestor

$h$  → altura requerida

En nuestro caso sería:

$$r = \sqrt{\frac{V_D}{\pi * h}}$$

$$r = \sqrt{\frac{29.480 \text{ m}^3}{\pi * 4\text{m}}}$$

$$r = 1.532\text{m}$$

Así tenemos que las dimensiones del biodigestor serán:

$$h = 4 \text{ m}$$

$$r = 1.532\text{m}$$

El procedimiento para la construcción hasta ahora utilizado comprende:

Hacer una base en piedra bola y concreto en una relación 1:3:6, misma que deberá tener una altura de aproximadamente 0.20m.

En cuanto a las paredes de la cámara se tendría que utilizar bloque y como mortero una mezcla de 1:6. Su revestimiento debe ser con arena y cemento en mezcla 1:3, con un espesor de 1.5 cm. El diámetro externo es medido a partir del revestimiento.

Para nuestro proyecto en particular se propone, como paso primero recubrir el área de la excavación con plástico con el fin de lograr impermeabilización artificial, utilizando membranas de polietileno de alta densidad.

La base será de concreto sobre malla armex R-188 de 6,0 m de 15 por 15. Sobre la base se levantarán las paredes por medio de un encofrado.

El grosor de las paredes será de 0.20m obteniendo la mejor resistencia que al construir el biodigestor con bloque.

## 2. Dimensiones del gasómetro $V_G$

Al ser el gasómetro el recipiente donde se almacenará el biogás producido y teniendo en cuenta las condiciones que son base para el presente trabajo, el gasómetro será elaborado en poliestireno de alto impacto para termo formado.

Para la definición de las medidas y por seguridad se dio un factor de 0.3 del total de la producción total del uso del biodigestor, permitiendo así la continuidad de su uso pese al crecimiento futuro de la granja.

Si asumimos que el gas será utilizado en las noches, utilizando su combustión para la producción de calor en el área de maternidad, la utilización máxima de biogás ocurrirá una vez al día en un periodo de 13 horas, la capacidad de almacenamiento del biodigestor será al 50% de su capacidad. De acuerdo a lo especificado tenemos que las dimensiones del gasómetro son:

$$\text{Producción diaria de gas (+3\%)} = 15,402 \text{ m}^3$$

$$\text{Producción de gas por hora} = 15,402 \text{ m}^3 : 24\text{h} = 0,642 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\text{Duración del consumo} = \text{de } 18:30 \text{ a } 6:30 = 12\text{h} \text{ y de forma constante}$$

$$\text{Consumo de gas por hora} = 15,402 \text{ m}^3 / 12\text{h} = 1,283 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Durante el consumo también se produce gas. De ahí que nos interesa la diferencia entre la producción y el consumo ( $D_G$ ).

$$D_G = (1,283 - 0,642) \text{ m}^3 / \text{h} = 0,642 \text{ m}^3 / \text{h}$$

El volumen necesario durante el consumo de gas es de:

$$V_G (1) = 0,642 \text{ m}^3 / \text{h} \times 12 \text{ h} = 7,701 \text{ m}^3$$

El lapso único y por ende más largo entre las horas de consumo es de 12h es igual al  $V_G (1) = V_G (2)$

De ahí que

$$V_G = 7,701 \text{ m}^3$$

Para explicar de mejor manera el cálculo de la capacidad de almacenamiento del biodigestor necesaria recurriremos al método gráfico.

Se traza la línea de producción de gas (a) y la de consumo de gas (b).

Procedemos a trazar los tiempo de consumo de gas y a través de



proyecciones de paralelas (a1 y b1) se traza la curva de gas almacenado (línea verde). El volumen de gas contiene el 3% de seguridad<sup>15</sup>.

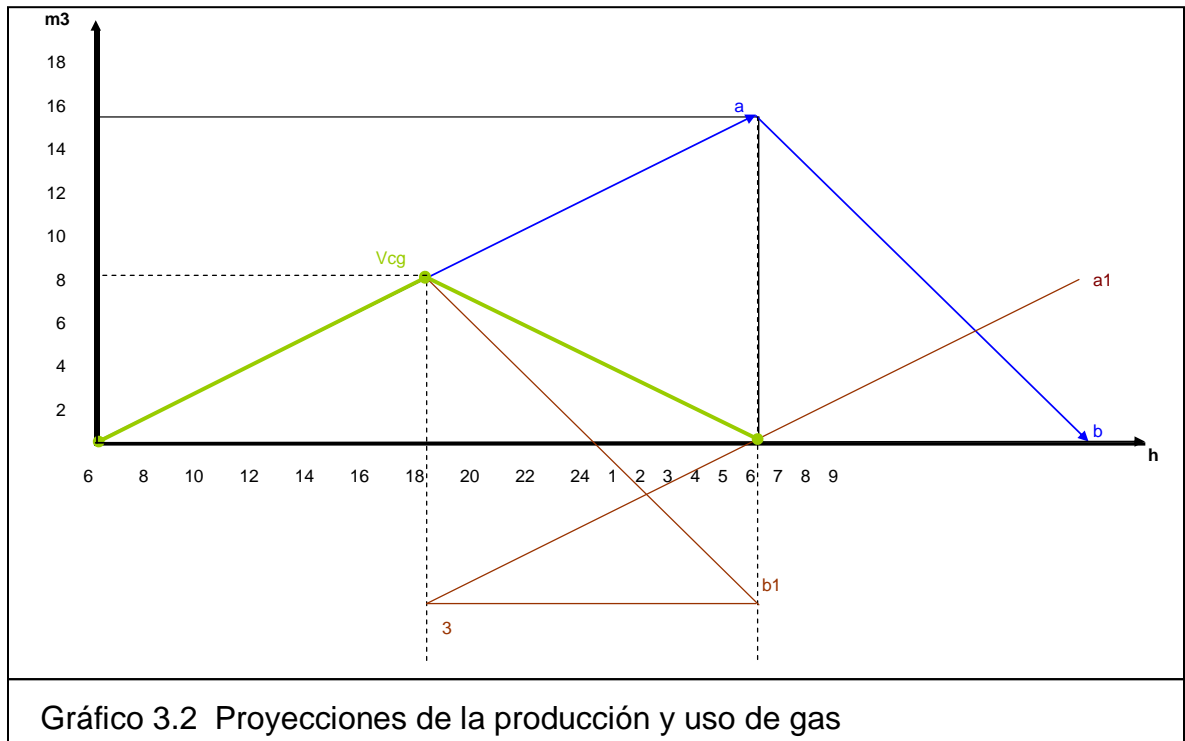


Gráfico 3.2 Proyecciones de la producción y uso de gas

Ya calculado el volumen del biodigestor se determinan las medidas, así:

$$V_G = r^2 * \pi * h \quad (3.4)$$

$$h = \frac{V_G}{r^2 * \pi}$$

$$h = \frac{7,7010\text{m}^3}{(1,532\text{m})^2 * \pi}$$

$$h = 1,045 \text{ m}$$

<sup>15</sup> Eggelin, Gerhard, “Instrucciones para la construcción de una planta de biogás, Bremen Overseas and Development Association, 2000.

### 3. Detalle del gasómetro o campana de gas flotante

Para el mejor desempeño de la campana de gas, ésta no debe rozar con los muros del digestor, ni debe inclinarse, de lo contrario se estropea la pintura o se atasca. La pared lateral de la campana de gas debe tener la misma altura que el muro por encima de la consola. Cada campana flotante necesita, por lo tanto, una guía.

El bastidor de guía debe ser construido de tal manera que se pueda quitar la campana para trabajos de reparación. Además la campana de gas debe tener un techo ligeramente achaflanado, es decir con una ligera inclinación. De lo contrario el agua de lluvia se queda estancada, lo que produce una aceleración en el desgaste de la campana. Un techo demasiado cónico es innecesariamente caro. El gas en la punta no puede ser aprovechado, porque la campana se encuentra apoyada en la parte inferior y por lo tanto el gas no se encuentra bajo presión.

Al cortar la chapa de la tapa se debe hacer una cuña (k) en ella. Esta chapa debe ser un poco más grande que el diámetro de la campana y se calcula de la siguiente manera:

$$r = 1,532 \text{ m}$$

$$\frac{D}{10} = \frac{r}{5} = 0,3063\text{m}$$

$$\text{tg } \alpha = 0,2 \quad \alpha = 11^\circ$$

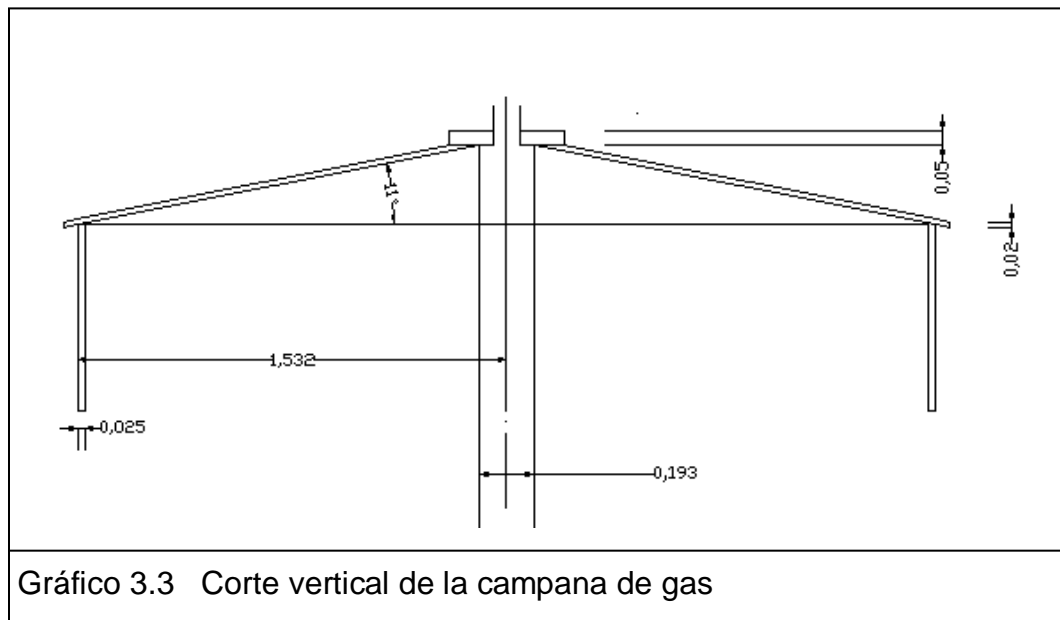
$$h_g = 1,562 \text{ m}$$

$$S = (h + 0,1)\text{m} = (1,562 + 0.1)\text{m} = 1,582 \text{ m}$$

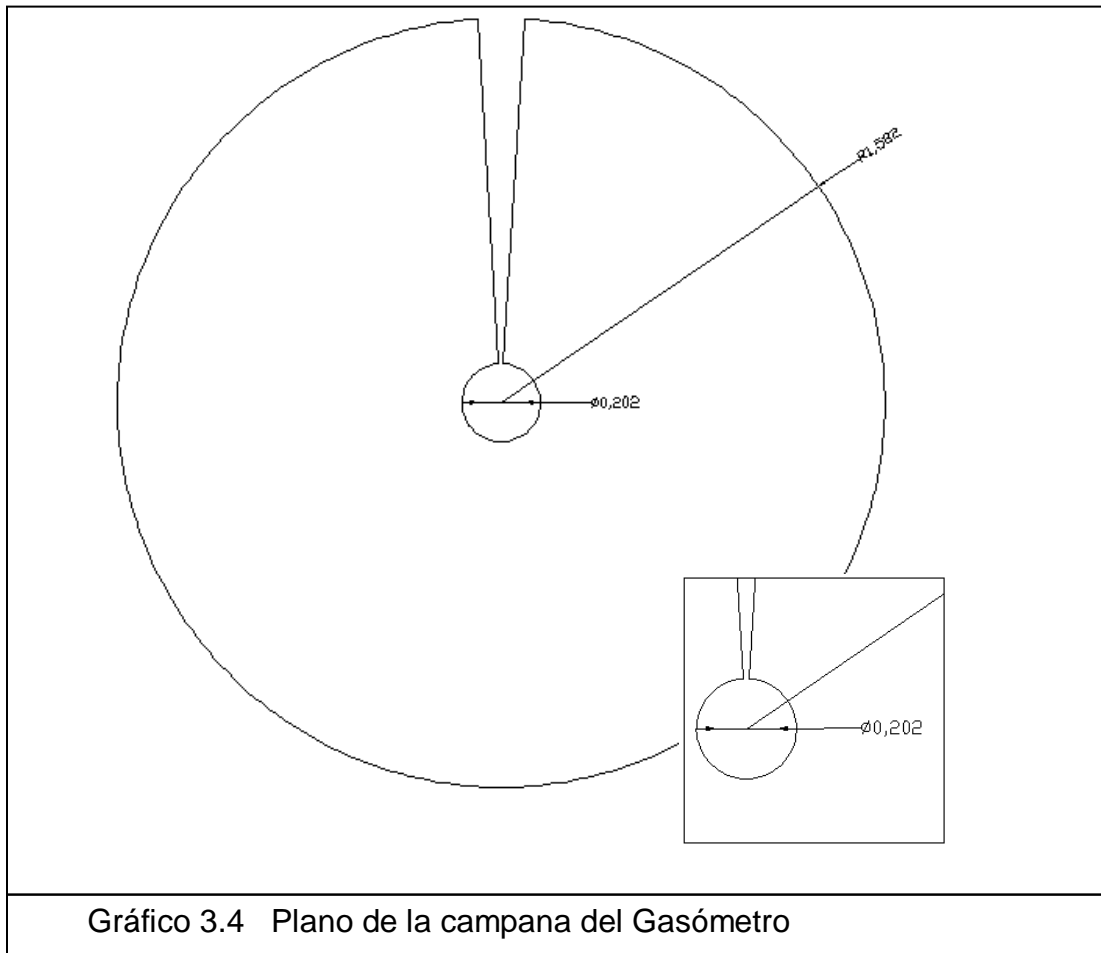
$$k = \frac{(h-r) * 2 \pi S}{h_g} \tag{3.5}$$

$$k = \frac{(1.562\text{m}-1.532\text{m}) * 2\pi( 1,582\text{m})}{1.562\text{m}} = 0,1930 \text{ m}$$

Partiendo de esas medidas aproximaremos k a 0,2m.<sup>16</sup>



<sup>16</sup> Cálculos realizados en base al libro: Eggelin, Gerhard, "Instrucciones para la construcción de una planta de biogás, Bremen Overseas and Development Association, 2000.



Para el diseño de la campana de gas se debe tomar en cuenta las presiones del gas y el peso propio, estas fuerzas generan únicamente fuerzas de tracción sobre la chapa lateral, para lo cual no son necesarios refuerzos. Pero las cargas que provienen del tubo de guía tienen que ser transferidas de manera segura sobre la chapa de la tapa.

Como se muestra en el gráfico 3.3, se debe colocar una chapa en la tapa. Los refuerzos son cargados al girar la campana. Estos no deben

terminar en la misma chapa, sino en una esquina. Estos refuerzos deben estar desplazados unos 20cm hacia el centro.

#### 4. Dimensiones del tanque de carga y descarga

Las dimensiones del tanque de carga se calculan de acuerdo al volumen del digestor y de carga diaria de cieno de fermentación, es decir:

$$C_f = \frac{V_D}{TR} \quad (3.6)$$

Donde:

$$V_D = 29,480 \text{ m}^3$$

$$TR = 40 \text{ días}$$

$$C_f = \frac{29,480\text{m}^3}{40 \text{ días}}$$

$$C_f = 0,737\text{m}^3$$

Ya integrado el 5% por seguridad. El tanque de carga tiene forma rectangular y se ha dimensionado de largo 1m y de ancho de 0.6 m, faltando determinar la altura de éste, tenemos que:

$$h = \frac{V}{a \cdot l}$$

Donde:

$$h = \text{altura}$$

V= volumen

a= ancho

l = largo

Remplazando tenemos:

$$h = \frac{0,737 \text{ m}^3}{1 * 0.6}$$

$$h = 0,600 \text{ m}$$

Por su parte el tanque de descarga será 7 veces mayor al tanque de carga de modo que pueda almacenar los residuos semanales del biodigestor.

$$V = 2,211 \text{ m}^3$$

$$h = 3,685 \text{ m.}$$

$$a = 1,800 \text{ m.}$$

$$l = 3,00 \text{ m.}$$

##### 5. Tubo de carga y de descarga

El tanque de carga es el lugar donde se mezclan los purines y el agua a ser introducidos en biodigestor; deben sedimentarse la arena y las piedras, es decir impurezas, que tras de un tiempo de uso deben ser correctamente removidas. La boca del tubo de carga debe quedar por lo tanto a 3 o 5cm por encima del piso del tanque de carga (ver gráfico).



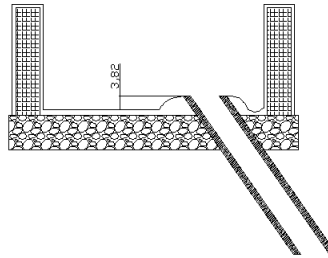
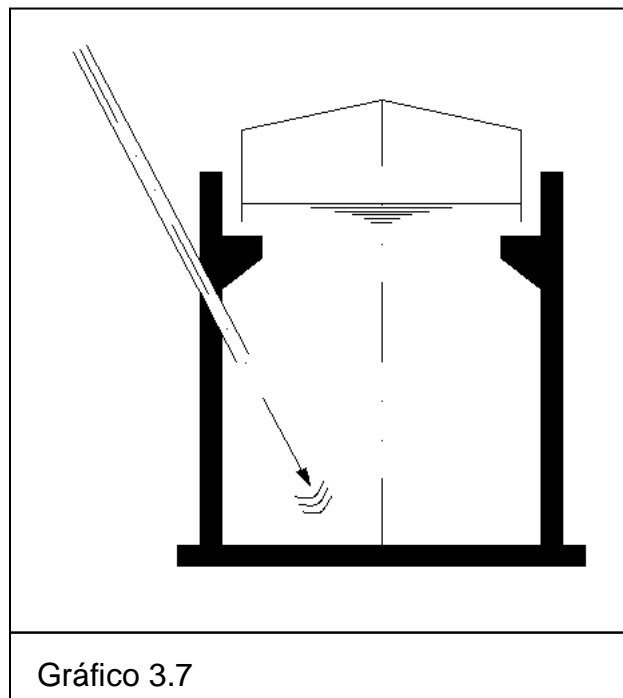


Gráfico 3.6

Por otra parte el tubo de carga debe ser recto. El eje del tubo debe apuntar en lo posible al centro del digestor. Así se puede agitar y remover con más facilidad el cieno en fermentación. La entrada del tubo de carga al digestor debe quedar arriba, para que la arena que se sedimenta no obstruya la entrada de material. Si se va a utilizar material fibroso, como es nuestro caso, el tubo debe tener un diámetro de 200 a 400mm.



La boca inferior del tubo de descarga o rebosadero del biodigestor tipo hindú con campana de gas flotante, debe estar situado lo más abajo posible. De lo contrario, escapa mucho material sin fermentar. La producción de gas puede disminuir por ese motivo en un 35%. La altura de la boca superior del tubo de descarga determina la altura del nivel del cieno de fermentación. Esta boca debe quedar 3cm por debajo del borde superior del muro. Si la boca del tubo de descarga está situada muy abajo, se desperdicia parte del digestor, pero si esta se encuentra situada muy arriba, el cieno se derrama por encima de los demás bordes del muro.

#### 6. Paredes divisorias

En el digestor las bacterias deben producir biogás del cieno fermentado, para lo que necesitan tiempo para poder reproducirse y repartirse en el cieno en fermentación. El digestor debe estar construido de tal manera que sólo un cieno completamente fermentado abandone la planta. Las paredes divisorias en el digestor ayudan a que el cieno recorra largos trayectos, asegurando lleguen a ser degradados al salir de la cámara de digestión.

El material de fermentación fresco es más liviano que el cieno fermentado por eso, el material fresco sube rápidamente hacia la superficie y va bajando luego poco a poco. El proceso de fermentación transcurre en dos fases.



Cuanto mejor estén divididas estas fases, mas intensa es la producción de gas.

Para nuestro diseño la pared será colocada en el centro del biodigestor a una altura equivalente al 30% de la altura de la cámara de digestión es decir a 1.5m para con ello llegar a tener un canal de fermentación como se muestra a continuación.

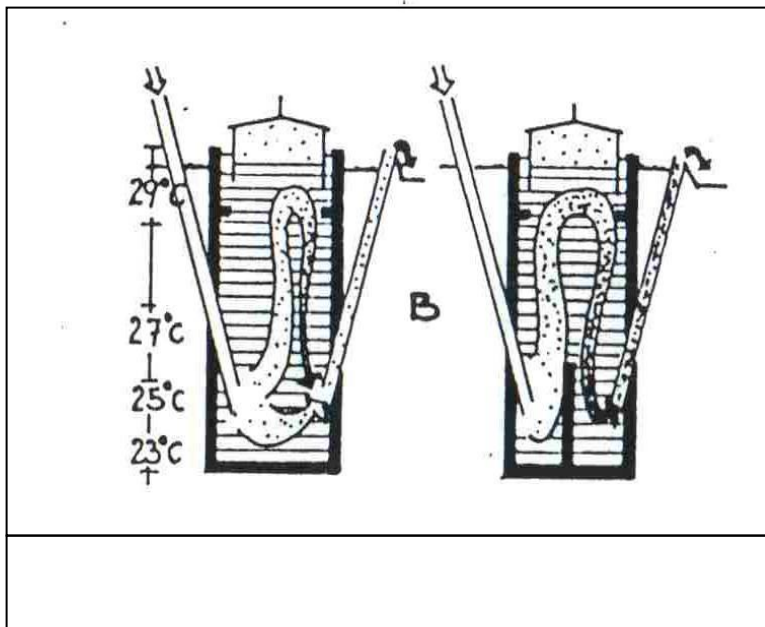


Gráfico 3.8.

### **3.4. Planos**

### **3.5 FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO DEL BIODIGESTOR**

Para un correcto funcionamiento del biodigestor, trascurrido los primeros 40 días de llenado, se deben tomar muestras del biogás para la realización de dos análisis, para la determinación del contenido de gas metano y CO<sub>2</sub> respectivamente.

Cuando el contenido del metano llegue a los niveles esperados del 80% es a partir de ese momento cuando se puede proceder a su uso. A medida que aumente la producción de gas se deben hacer pruebas sobre los pesos necesarios a ser colocados sobre el gasómetro de manera que se obtenga la presión esperada.

En la etapa de producción para la alimentación periódica debe utilizarse sólo estiércol fresco. Se debe proceder a cerrar la válvula de salida del gasómetro, retirar el bioabono del tanque de descarga y agregar por el canal los desechos de los cerdos.

Tras la carga del biodigestor se procede a la agitación del material, esta se realizará por medio de la introducción de una varilla por el tubo de carga. De

preferencia la agitación se debe hacer removiendo en forma circular y de arriba abajo. Terminada esta operación se procede a la reapertura de la válvula de salida que se colocará en el gasómetro. La duración de agitación debe ser no mayor a 2 minutos.

En el anexo 2 se muestra una tabla sobre posibles problemas comunes de operación y sus respectivas soluciones.

Para el mantenimiento del biodigestor se debe remover la campana de gas flotante y quitar el cieno fermentado hasta que la campana quede libre, la complicación que se puede presentar en esto es la remoción de desechos solidificados que no fueron expulsados del biodigestor a tiempo.

El mantenimiento total se debe hacer cada 5 años.

## **CAPITULO 4**

### **4.1 ANÁLISIS ECONÓMICO**

#### **4.1.1 Alcance del proyecto**

Para la determinación del alcance se debe establecer el porcentaje de la demanda de necesidades que la producción del biodigestor satisface.

Ya que el diseño del biodigestor fue desarrollado en base a las condiciones técnicas de la granja, se espera dichas demandas deben ser abastecidas en su totalidad o en el peor de los casos en el mayor grado posible.

La demanda se estimará para los tres productos que se obtiene de la descomposición anaerobia de los desechos: biogás, abono orgánico líquido y bioabono sólido.

El primero en el uso de la calefacción de la granja de cerdos en sí y los dos siguientes en los terrenos aledaños a la granja, los cuales son utilizados para la siembra y cosecha de tomate de árbol. El área que se usa para fines agrícolas es de 2500m<sup>2</sup>.

De ahí tenemos que el cálculo de la demanda será el siguiente.

1. Demanda de biogás

En la actualidad la granja utiliza tanques de gas licuado de petróleo GLP, como material combustible de los quemadores que a su vez proporcionan calefacción al área de maternidad de la granja y donde permanecen los lechones durante su primer mes de vida.

Los quemadores son encendidos durante la noche, cuando baja la temperatura del lugar, estabilizando así las condiciones disminuyendo el riesgo de pérdida de vida de alguno de ellos.

Si los quemadores consumen  $1,2\text{m}^3/\text{h}$  de biogás y están encendidos 12 horas del día tenemos que la demanda diaria de biogás es igual a:

Demanda diaria = horas de consumo por día x volumen de consumo por hora

Demanda diaria =  $12\text{h} \times 1,23\text{m}^3/\text{h}$

Demanda diaria =  $14,4\text{ m}^3$

Partiendo de este cálculo obtenemos la demanda anual de biogás de la granja.

Demanda anual = Demanda diaria x 365

Demanda anual =  $14,4\text{ m}^3 \times 365$

Demanda anual =  $5256\text{ m}^3$

La demanda anual de la granja de biogás es equivalente a  $5256\text{ m}^3$ .

## 2. Demanda de abono sólido

El bioabono sólido que se obtiene de la descarga total se usa como fertilizante básico para preparar, enriquecer y mejorar la porosidad del suelo, beneficiando la siembra. Se observan mejores resultados cuando el bioabono sólido está maduro, para lo cual se deja secar por un par de semanas antes de usarlo.

Para facilitar el secado del bioabono sólido y el manejo del bioabono líquido se dispuso, como se vio en el diseño una válvula de escape en la parte superior del tanque de descarga, por el cual se drenará el bioabono líquido en cuanto se produzca la decantación del abono sólido.

Un metro cúbico de bioabono sólido producido y aplicado diariamente, puede fertilizar más de 2 ha de tierra por año y proporcionar 200kg. N por hectárea de terreno cultivado<sup>17</sup>. Al tener un cuarto de hectárea cultivado tenemos:

$$\text{Demanda diaria} = 0,25\text{m}^3$$

$$\text{Demanda anual} = 0,25 \text{ m}^3 \times 365$$

$$\text{Demanda anual} = 91,26\text{m}^3$$

### 3. Demanda de abono líquido

El bioabono líquido que se obtiene de la descarga periódica debe almacenarse en pozas o cilindros hasta ser utilizados. El uso de este producto se lleva a cabo

---

<sup>17</sup> Madujano M, Biogás: Energía fertilizantes a partir de desechos orgánicos. Manual para el promotor de la tecnología. Organización Latinoamericana de Energía, Morelos, México, 1981

durante el riego, en el cual se debe echar éste por los surcos. El bioabono líquido puede emplearse en disoluciones crecientes a razón de 300lt/ha de solución y aplicarse a cualquier cultivo o vegetal. Se requiere una inclinación mínima de 2,5% para distribución a corta distancia.

Para calcular la demanda se hace el siguiente análisis:

Al ser el área cultivada en la granja la cuarta parte de una hectárea la demanda sería:

$$\text{Demanda diaria} = 300\text{lt/ha} * 0,25 \text{ ha}$$

$$\text{Demanda diaria} = 75 \text{ litros} = 0,075 \text{ m}^3$$

$$\text{Demanda anual} = \text{Demanda diaria} * 365$$

$$\text{Demanda anual} = 0,075 \text{ m}^3 * 365 = 27,375 \text{ m}^3.$$

En resumen las demandas y producción son:

Tiempo	DEMANDA		
	GAS m3	ABONO SÓLIDO m3	ABONO LÍQUIDO m3
día 1	14,40	0,25	0,075
total anual	5256,00	91,25	27,375

Tabla 4.1. Demanda de los productos

	Producción (1 días en m3))	Producción anual (m3)	Total
Biogás	15,4	5621	5621,000
Bioabono líquido	0,095	34,675	34,675
Bioabono sólido	0,408	148,7608974	148,761

Tabla 4.2. Producción de productos del biodigestor



Determinada la demanda de la granja se procede al cálculo del alcance del proyecto.

Porcentaje de demanda a abastecer =  $\frac{\text{Producción proyectada}}{\text{Demanda estimada}}$

PORCENTAJE DE DEMANDA DE BIOGÁS A ABASTECER =	106,9%
PORCENTAJE DE DEMANDA DE ABONO SÓLIDO A ABASTECER =	163,0%
PORCENTAJE DE DEMANDA DE ABONO LÍQUIDO A ABASTECER =	126,7%

#### 4.1.2 Inversión

La inversión requerida para la construcción del biodigestor asciende a 5404USD.

A este monto se debe sumar mano de obra para la carga del biodigestor, que equivaldría a mano de obra (MO) de 2 personas durante 40 días, una de ellas encargada de la carga como tal y un segundo encargado del control de los niveles de carga, equivalente a 675USD.

En las tabla 4.3 y 4.4 se presenta en un cuadro los montos en los cuales se incurriría para la construcción del biodigestor con las características definidas en el capítulo 3.

INVERSIÓN							
Rubro	Unidad	Cantidad	Tiempo días	Costo \$ / u	Subtotal \$	Total \$	% de total
Excavación						432,00	7%
Contrapisos						147,00	2%
Fundición						354,27	6%
Enconfrado						2591,73	41%
Campana						1494,90	23%
Dirección técnica	Arquitecto	1				700,00	11%
Carga del biodigestor						675	0,106
<b>Total</b>						6394,90	100%
<b>Total en mano de obra</b>						2034,50	32%
<b>Total en materiales</b>						4360,40	68%

Tabla 4.3 Resumen de montos de inversión

INVERSIÓN								
Rubro	Unidad	Cantidad	Tiempo días	Costo \$ / u	Subtotal \$	Total \$	% del total	
Excavación								
mano de obra	peón	2	18	12,00	432,00			
						432,00	7%	
Contrapisos								
mano de obra	peón	2	3	12,00	72,00			
arena								
cemento								
piedra bola						75,00		
						147,00	2%	
Fundición								
mano de obra	peón	1	2	12,00	15,00			
	maestro	1	2	17,00	20,00			
hormigón	m2	3,7		72,00	266,40			
hierro 8	qq	1,5		35,25	52,87			
						354,27	6%	
Encofrado								
plástico					40,00			
malla					172,80			
pingos					15,00			
clavos y alambre					12,00			
tablas					92,50			
hormigón	m3	12		75,00	900,00			
mano obra encofrado	peón	2	5	12,00	120,00			
	maestro	2	5	17,00	170,00			
mano obra fundida	peón	2	3	12,00	72,00			
	maestro	2	3	17,00	102,00			
tubo PVC 200mm	u	1		97,17	97,17			
tubo PVC 300mm	u	1		231,81	231,81			
desencofrada	peón	4	3	12,00	144,00			
ladrillos	u	0,17	587,94		99,95			
enlucido					135,00			
mano obra enlucido					187,50			
						2591,73	41%	
Campana								
lámina de poliestireno	m2	21,46	65	1394,90				
Al para refuerzo en uniones y otros				100,00				
						1494,90	23%	
Dirección técnica	Arquitecto	1				700,00	11%	
Carga del biodigestor								
encargado de llenado	peón	1	40		175			
encargado del control	Ingeniero	1	40		500			
						675	0,106%	
						<b>Total</b>	<b>6394,90</b>	<b>100%</b>
						<b>Total en mano de obra</b>	<b>2034,50</b>	<b>32%</b>
						<b>Total en materiales</b>	<b>4360,40</b>	<b>68%</b>

Tabla 4.4 Desglose de inversión

## **4.2 ANÁLISIS FINANCIERO**

### **4.2.1 Determinación de costos**

Como productos del funcionamiento del biodigestor tenemos: biogás y dos adicionales que son el bioabono líquido y sólido. Se debe denominar a tales productos como productos conjuntos (coproductos) o subproductos del biogás en función a la importancia relativa que tienen estos. Dicha nominación y distinción depende principalmente del valor de mercado de dichos productos<sup>18</sup>.

En el Ecuador el valor del bioabono sólido utilizado como fertilizante, tiene un costo de 1 USD por m<sup>3</sup> de éste producto, por otro lado el abono sólido o biol se comercializa por el valor de 40 USD por m<sup>3</sup>. De ahí que consideraremos de aquí en adelante al bioabono sólido como un subproducto del biogás y como coproducto al biol.

Al existir varios métodos para la asignación contable de costos de productos conjuntos y subproductos es necesario aclarar cual de ellos corresponde la siguiente asignación de costos.

Con el fin de obtener un porcentaje de utilidades sobre el bioabono sólido, para la contabilización del subproducto se realizó por medio del método del valor neto

---

<sup>18</sup> Gayle Rayburn, Letricia, Contabilidad y Administración de Costos, Mc Graw-Hill, México.

de mercado asignado al inventario de subproductos; así como en el caso de los coproductos se eligió el método del valor neto de mercado para la asignación de costos de producción netos, debido a que la producción de estos productos se realiza de manera paralela sin existir un punto de separación para una supuesta distribución de costos.

Habiendo aclarado los métodos usados para la asignación de costos se procede a su determinación; los costos en los que se incurren para el funcionamiento del biodigestor son en su mayoría salvo en su puesta en su implementación en mano de obra, de ahí que partiremos con el cálculo de los costos correspondientes a la necesidad de personal.

Los costos anuales en los cuales se incurrirían para la obtención de los productos del biodigestor incluyen costos en MO. En la tabla 4.5 se muestra en detalle las necesidades de personal.

		NECESIDAD DE PERSONAL	SALARIO (\$)	CANT.	TOTAL (\$)	FORMA DE PAGO
Producción	Control	Estudiante de Ing. Agroindustrial	150	1	150	Mensual
	Carga	Peón	175	1	175	Mensual
	Descarga	Peón	175	1	175	Mensual
Mantenimiento		Técnico en mantenimiento	1500	1	1500	cada 5 años
		Ayudante 1	300	1	300	cada 5 años
		Ayudante 2	300	1	300	cada 5 años
		<b>TOTAL</b>	2600			

Tabla 4.5 Necesidad de personal para funcionamiento del biodigestor

De estos montos el único costo que consideraremos separable es el de descarga, mismo que será cargado a los costos del biol; para la obtención del biogás la descarga es un proceso secundario.

Costo de MOD= 500 USD mensual y 6000 USD anual

Costos de MOI = 35USD mensual y 420 USD anual

Las necesidades adicionales para el funcionamiento del biodigestor son, estiércol y agua, como materia prima y como material para el control del procesos sosa cáustica.

Conociendo los montos necesarios se procede al cálculo de los costos conjuntos así como la asignación de costos de los sub y coproductos, como se muestra a continuación.

1. Calculo de costos conjuntos

<b>Inventario inicial de materiales directos</b>		<b>0 usd</b>
Estiercol	0,00 usd	
Sosa caustica	+ 273,75 usd	
Agua	+ 269,01 usd	
Descuento sobre compras	- 0,00 usd	
Materiales directos disponibles para su uso	<u>542,76 usd</u>	
<b>Inventario final de materiales directos</b>	+ 0,00 usd	
<b>Materiales directos usados</b>		<b>542,76 usd</b>
<b>Mano de obra directa</b>		
peronal para llenado	+ 2100,00 usd	
personal para vaciado	+ usd	
personal para control	+ 1800,00 usd	
<b>Costos indirectos de fábrica:</b>		<b>3900,00 usd</b>
Depreciación	+ 639,49 usd	
Materiales indirectos	+ 0,00 usd	
costo MO mantenimiento	+ 420,00 usd	
		<b>1059,49 usd</b>
<b>Total costos actuales de manufactura</b>		<b>5502,25 usd</b>
<b>Producción en proceso inicial</b>		+ 0,00 usd
<b>Total costos pendientes de procesarse</b>		<b>5502,25 usd</b>
<b>Producción en proceso final</b>		- 0,00 usd
<b>Costos de los productos manufacturados</b>		<b>5502,25 usd</b>

## 2. Asignación de costos

ASIGNACIÓN DE COSTOS A SUBPRODUCTOS Y COPRODUCTOS								
PRODUCTO	m3 producidos	Valor (usd) de mercado por unidad	Valor total bruto de mercado (usd)	Costo separable (usd)	Valor neto del mercado (usd)	Distribución del costo (usd)	Valuación del inventario (usd)	costo m3 (usd)
Biogas	5621,0	2,3	12928,30		12928,30	5367,81	5367,81	0,95
Biol	34,675	69,9	2423,78	2100	323,78	134,43	2234,43	64,44
	5655,7	72,2	15352,08		13252,08			
Bioabono sólido	148,7609	1	148,76		Total costos	5502,25		

#### **4.2.2 Determinación del ahorro obtenido**

El cálculo del ahorro obtenido se realiza por medio de la comparación de los costos que actualmente incurre la granja al adquirir en el mercado los productos sustitutos de los obtenidos por medio del uso del biodigestor como generador de biogás, biol y bioabono sólido. La diferencia de dichos valores nos dará el ahorro a obtener la granja por medio de la aplicación del presente proyecto.

En el caso del biogás, es imposible el almacenamiento de los excedentes de la producción por lo tanto su comercialización es un ingreso adicional por este monto. No sucede lo mismo con el bioabono líquido; en el cálculo del ahorro producido por motivo de la producción del bioabono líquido se produce un valor de ventas asumiendo su comercialización total.

A continuación presentamos en los cuadros que se muestran las proyecciones del ahorro y venta (en caso de existir excedentes) producto del aprovechamiento de los productos del biodigestor.



## Biogás

Precio Unitario **0,53** USD/m3

	I.I	Oferta	Total	Demanda	I.F	Total Oferta	Total Demanda	Ahorro
mes 1	0,00	468,42	468,42	438,00	0,00			232,14
mes 2	0,00	468,42	468,42	438,00	0,00			232,14
mes 3	0,00	468,42	468,42	438,00	0,00			232,14
mes 4	0,00	468,42	468,42	438,00	0,00			232,14
mes 5	0,00	468,42	468,42	438,00	0,00			232,14
mes 6	0,00	468,42	468,42	438,00	0,00			232,14
mes 7	0,00	468,42	468,42	438,00	0,00			232,14
mes 8	0,00	468,42	468,42	438,00	0,00			232,14
mes 9	0,00	468,42	468,42	438,00	0,00			232,14
mes 10	0,00	468,42	468,42	438,00	0,00			232,14
mes 11	0,00	468,42	468,42	438,00	0,00			232,14
mes 12	0,00	468,42	468,42	438,00	0,00			232,14
<b>Total año 1</b>						5621,00	5256,00	2785,68
<b>año 2</b>	0,00	5621,00	5621,00	5256,00	0,00			2785,68
<b>año 3</b>	0,00	5621,00	5621,00	5256,00	0,00			2785,68
<b>año 4</b>	0,00	5621,00	5621,00	5256,00	0,00			2785,68
<b>año 5</b>	0,00	5159,00	5159,00	5256,00	-97,00			2785,68
<b>año 6</b>	0,00	5621,00	5621,00	5256,00	0,00			2785,68
<b>año 7</b>	0,00	5621,00	5621,00	5256,00	0,00			2785,68

Producción de bioabono líquido											
costo unitario precio unitario	I.I	Oferta	Total	Demanda		I.F	Total			Venta	
				interna	externa		Oferta	Demanda	Ahorro		
64,44 USD/m3											
40 USD/m3											
mes 1	0,00	2,89	2,89	2,28	0,61	0,00				147,00	24,33
mes 2	0,00	2,89	2,89	2,28	0,61	0,00				147,00	24,33
mes 3	0,00	2,89	2,89	2,28	0,61	0,00				147,00	24,33
mes 4	0,00	2,89	2,89	2,28	0,61	0,00				147,00	24,33
mes 5	0,00	2,89	2,89	2,28	0,61	0,00				147,00	24,33
mes 6	0,00	2,89	2,89	2,28	0,61	0,00				147,00	24,33
mes 7	0,00	2,89	2,89	2,28	0,61	0,00				147,00	24,33
mes 8	0,00	2,89	2,89	2,28	0,61	0,00				147,00	24,33
mes 9	0,00	2,89	2,89	2,28	0,61	0,00				147,00	24,33
mes 10	0,00	2,89	2,89	2,28	0,61	0,00				147,00	24,33
mes 11	0,00	2,89	2,89	2,28	0,61	0,00				147,00	24,33
mes 12	0,00	2,89	2,89	2,28	0,61	0,00				147,00	24,33
<b>Total año 1</b>							34,68	34,68			
<b>año 2</b>	0,00	34,68	34,68	27,38	7,30	0,00				1764,03	292,00
<b>año 3</b>	0,00	34,68	34,68	27,38	7,30	0,00				1764,03	292,00
<b>año 4</b>	0,00	34,68	34,68	27,38	7,30	0,00				1764,03	292,00
<b>año 5</b>	0,00	31,83	31,83	27,38	4,45	0,00				1764,03	178,00
<b>año 6</b>	0,00	34,68	34,68	27,38	7,30	0,00				1764,03	292,00
<b>año 7</b>	0,00	34,68	34,68	27,38	7,30	0,00				1764,03	292,00

En base a estas estimaciones de ahorro y venta el balance de resultados esperados es el siguiente:



### 4.2.3 Indicadores financieros

En base al estado de resultados estimado en el punto anterior se estima que la Tasa Interna de Retorno (TIR) así como el Valor Actual Neto (VAN) serán:

<b>INVERSIÓN INICIAL</b>	<b>PAGO AÑO 1</b>	<b>PAGO AÑO 2</b>	<b>PAGO AÑO 3</b>	<b>PAGO AÑO 4</b>	<b>PAGO AÑO 5</b>	<b>PAGO AÑO 6</b>	<b>PAGO AÑO 7</b>
-6394,90	4502	4502	4502	4502	4502	4502	4502

<b>TIR</b>	69%
<b>VAN</b>	\$ 6.268,04

EL criterio plantea que el proyecto debe aceptarse si su valor actual neto (VAN) es igual o superior a cero, en nuestro caso es de 6268,04 USD, por lo que asumimos que el proyecto es aceptable.

El criterio de la tasa interna de retorno (TIR) evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento, el TIR representa la tasa de interés más alta que un inversionista puede pagar sin perder su dinero. En nuestro proyecto al tener un TIR de 69% asumimos que el proyecto es rentable y conviene invertir en él.

Nota: el TIR calculado en base a una tasa del 15% y el VAN en base a una tasa del 25%.

### ***4.3 ANÁLISIS MEDIO AMBIENTAL***

El análisis medio ambiental se ha dividido en dos fases, la primera correspondiente a la valoración del ahorro en multas impuestas a la granja por incumplimiento del marco legal impuesto por los organismos pertinentes bajo el cual se debe manejar la granja.

La segunda parte del estudio corresponde al nombramiento de los beneficios no medibles, mismos que debido a su naturaleza solo se ven reflejados en estados superiores. Los beneficios medibles son: la calidad de vida de las personas que viven en la granja o en sus inmediaciones, mejora en la calidad agrícola debido al uso del bioabono, la calidad de los animales de la granja siendo ésta más limpia, entre otros.

A manera de introducción se presentan las ventajas generales ambientales que proporcionará la implementación de un biodigestor en el tratamiento de los residuos sólidos y líquidos de una granja porcina, que es razón del presente proyecto.

### **4.3.1 Ventajas generales ambientales del uso energético de la biomasa**

- Al considerar que todas las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas en la utilización energética de la biomasa han sido previamente fijadas en el crecimiento de la materia vegetal concluimos que no se contribuye al incremento de su proporción en la atmósfera y consecuentemente no se hace responsable del aumento del efecto invernadero.
- El empleo de la tecnología de digestión anaerobia para tratar la biomasa residual húmeda además de anular su carga contaminante, reduce fuentes de olores molestos y elimina, casi en su totalidad, los gérmenes y los microorganismos patógenos del vertido. Los fangos resultantes del proceso de digestión anaerobia pueden ser utilizados como fertilizantes en la agricultura.
- La implementación del biodigestor solucionaría el conflicto social generado por el malestar de la población frente a los malos olores procedentes de la granja porcina.
- Por ultimo, se lograría el manejo sustentables de una granja porcina, libre de residuos.

### **4.3.2 Estudio del marco legal ambiental**

En el Ecuador el Ministerio de Medioambiente es el organismo rector de la protección del medio ambiente, por otro lado el Municipio del Distrito

Metropolitano de Quito, apoyado en la ley de descentralización, es el organismo de control sobre el cumplimiento de los lineamientos ambientales, así como el encargado de la aplicación de sanciones y multas de acuerdo a la gravedad del desacato.

En el siguiente cuadro se muestran los lineamientos legales que debe cumplir toda granja porcina dentro del territorio ecuatoriano y específicamente dentro del Distrito Metropolitano de Quito.

<b>Cuadro 4.1</b>		
<b>LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL</b>	<b>MEDIDA</b>	<b>EFFECTO</b>

Art. 11.-	Queda prohibido descargar hacia la atmósfera, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, contaminantes que, a juicio del Ministerio de Salud, puedan perjudicar la salud y vida humana, la flora, la fauna y los recursos o bienes del estado o de particulares o constituir una molestia.	Implementación de biodigestor	Obtención permiso de funcionamiento otorgado por el MA
Art. 20.-	Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y relaciones, cualquier tipo de contaminantes que puedan alterar la calidad del suelo y afectar a la salud humana, la flora, la fauna, los recursos naturales y otros bienes.		
<b>NORMAS DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS DE LA LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL</b>			



<p>4.1. 1.4</p>	<p>De la disposición de desechos pecuarios: Los derechos pecuarios provienen de granjas productoras, con atención especial a las granjas porcinas, avícolas y aquellas instalaciones adicionales que la entidad ambiental de control considere, deberán recibir tratamiento técnico adecuado, a fin de evitar la disposición directa sobre el suelo y evitar de esta forma la contaminación por microorganismos y cambio en sus características naturales.</p>	<p>Implementación de biodigestor</p>	<p>Obtener y mantener el permiso de funcionamiento otorgado por el MA</p>
<p>4.1. 2.1</p>	<p>Las organizaciones públicas o probadas dedicadas a la comercialización, almacenamiento y/o producción de químicos, hidroeléctrica, explotación hidro carburífera, minera, y agrícola, tomarán todas las medidas pertinentes a fin de que el uso de su materia prima, insumos y/o descargas provenientes de sus sistemas de producción y/o tratamiento, no causen daños físicos, químicos o biológicos a los suelos</p>	<p>Implementación de biodigestor</p>	<p>Obtener y mantener el permiso de funcionamiento otorgado por el MA</p>

**LEY DE AGUAS**

Art. 77.-	Quien infrinja las disposiciones de esta Ley, o de sus Reglamentos, será sancionado con una multa no menor de Quinientos sucres, según la gravedad y circunstancias de la infracción, y no mayor del 100% del beneficio obtenido por este medio ilícito o del 100% del perjuicio que hubiera ocasionado.  La reincidencia será sancionada además con la suspensión temporal del uso de las aguas.	Implementación de biodigestor	Prevención de obtención de multas y suspensión temporal del uso del agua
--------------	---	-------------------------------	--

**DEL REGLAMENTO GENERAL PARA LA APLICACIÓN DE LA LEY DE AGUAS**

Art. 92.-	<p>Todos los usuarios, incluyendo las municipalidades, entidades industriales y otros, están obligados a realizar el análisis periódico de sus aguas efluentes, para determinar el “grado de contaminación”. El Consejo Nacional de Recursos Hídricos supervisará esos análisis y, de ser necesario, comprobará sus resultados que serán dados a conocer a los interesados, para los fines de ley; además fijará los límites máximos de tolerancia a la contaminación para las distintas sustancias.</p>	<p>Toma de muestras de los efluentes del biodigestor</p>	<p>Mostrar a muestras a los propietarios de terrenos y casas compromiso por el cuidado de su salud y del medio ambiente</p>
<b>REGLAMENTOS PARA EL CONTROL DE ACTIVIDADES AGRÍCOLAS</b>			

Art. 7.-	Queda terminantemente prohibido evacuar directamente a: ríos, quebradas o alcantarillado público, los desechos, desperdicios, materias fecales o aguas servidas provenientes de la granja. Éstas previamente deben ser almacenadas y tratadas en piscinas para sedimentación, decantación y oxidación, para luego ser evacuadas o recicladas.	Implementación de biodigestor	Obtener permiso de funcionamiento otorgado por el MAG
Art. 9.-	Una vez de que se haya cumplido con todos los requisitos enumerados en esta norma, se procederá a la inscripción de la granja porcina en el registro que, para el efecto, se abrirá en el SESA.		
Art. 10.-	Inscrita la granja se extenderá el respectivo permiso de funcionamiento, documento que le autorizará la explotación porcina.		

<b>ORDENANZA 146</b>			

<p>Art. II.3 82. 11.</p>	<p><b>OBLIGACIONES DEL REGULADO:</b>  c) Los regulados que generan descargas, emisiones o vertidos deberán presentar anualmente, en el mes de noviembre de cada año, los reportes de caracterización de sus descargas y emisiones sujetándose a los lineamientos emitidos por la Dirección Metropolitana de Medio Ambiente. A costo de los regulados, las caracterizaciones de efluentes, descargas y vertidos, deberán ser realizadas por laboratorios y entidades de muestreo adscritas al Organismo de Acreditación Ecuatoriano OAE.</p>	<p>Toma de muestras de los efluentes del biodigestor</p>	<p>Cumplir con los lineamientos emitidos por la Dirección Metropolitana de Medio Ambiente</p>
<p>Art. II.3 82. 41.</p>	<p><b>INCUMPLIMIENTO DE LAS GPA.-</b> En caso de que los regulados incumplan las disposiciones contenidas en las GPA, las coordinaciones ambientales zonales, a través del respectivo informe técnico, deberán:  Recomendar a la Comisaría de Aseo, Salud y Ambiente una prórroga para el cumplimiento de las actividades previstas o lineamientos de las GPA, siempre y cuando existan las justificaciones técnicas o económicas</p>	<p>Implementación de biodigestor</p>	<p>Evitar suspensión del certificado ambiental otorgado por el IMQ y sanciones por parte de la comisaría de Salud</p>

	<p>por parte del proponente; Suspender el certificado ambiental; y, Solicitar la intervención de la Comisaría de Aseo, Salud y Ambiente para proceder con las sanciones previstas en la Sección XII de este capítulo.</p>		
<p>Art. II.3 82. 46</p>	<p>SANCIONES.- Las sanciones serán las siguientes: c) Por causar derrames o emisiones de materias primas, productos químicos peligrosos, residuos sólidos o líquidos, no domésticos, tóxicos y peligrosos, o lodos potencialmente contaminantes que perjudiquen la salud y bienestar de la población, la infraestructura o el medio ambiente en general: 5 RBUM (800USD)</p>	<p>Implementación de biodigestor</p>	<p>Evitar multa equivalente a 800USD</p>
<b>GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES</b>			
<p>9.3.</p>	<p><b>MANEJO AMBIENTAL DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS</b> Está prohibido descargar efluentes residuales hacia la vía pública, así como infiltrarlos en el suelo o su vertido diré  Los establecimientos que general vertidos líquidos no domésticos deberán contar con medidas de control: canaletas, sedimentadotes,</p>	<p>Implementación de biodigestor</p>	<p>Cumplir con las prácticas de buenas prácticas ambientales, evitando multas y sanciones posteriores</p>

	trampas de grasa, etc., previamente a su descarga a la red de alcantarillado o a cualquier cauce de agua.		
--	---	--	--

### 4.3.3 Análisis de impacto ambiental

Los impactos ambientales son las alteraciones ocasionadas al ambiente, por la intervención del ser humano en sus diferentes actividades. Estos impactos pueden ser negativos o positivos, dependiendo del efecto que provoquen en el ambiente.

Con el fin de facilitar la clasificación de los impactos que pueda tener la implementación del proyecto se procede a utilizar la matriz de verificación del impacto ambiental; contiene preguntas que ayudan a determinar la naturaleza del impacto.

<b>MATRIZ DE VERIFICACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			
<b>1.</b>	<b><i>Sobre la Calidad Ambiental (agua, aire, ruido, vibraciones, residuos sólidos)</i></b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
1.1.	¿El proyecto genera descargas líquidas, sólidas o gaseosas, en cuerpos o cursos de agua, superficiales o subterráneas?		X
1.2.	¿El proyecto emite sustancias líquidas, gaseosas o combinaciones, que se consideren inflamables, tóxicas, corrosivas o inertes al aire?	X	
1.3.	¿El proyecto produce ruidos y/o vibraciones?		X
1.4.	¿El proyecto maneja y/o genera residuos sólidos, domésticos o industriales?		X
1.5.	¿El proyecto no contamina las aguas superficiales ni freáticas?		X



<b>2</b>	<b><i>Sobre la Flora y Fauna</i></b>		
2.1	¿El proyecto se emplaza sobre un área de hábitat de especies de flora y fauna consideradas vulnerables, raras insuficientemente conocidas o en peligro de extinción?		X
2.2.	¿El proyecto se emplaza sobre un área de hábitat de especies flora o fauna consideradas especiales por la población local?		X
2.3.	¿El proyecto introduce especies exóticas de flora y fauna, que no forman parte del hábitat presente, generando alteraciones en el ecosistema local?		X
<b>3</b>	<b><i>Sobre los Valores Ambientales Especiales</i></b>		
3.1.	¿El proyecto altera el valor recreacional y paisajístico del área?		X
3.2.	¿El proyecto afecta, modifica o deteriora físicamente algún monumento histórico, monumento público, monumento arqueológico, zona típica o santuario de la naturaleza?		X
3.3.	¿El proyecto se emplaza o extrae materiales de una zona con lugares, vestigios o piezas con valor arqueológico?		X
<b>4.</b>	<b><i>Sobre las Costumbres y Estilos de Vida de la Población</i></b>		
4.1	¿Mejoran las condiciones laborales y de vida de la población aledaña?		X
4.2.	¿El proyecto efectúa transformaciones físicas o de conducta que alteran las actividades sociales o culturales (ruptura de redes o alianzas sociales) del grupo o comunidad humana local?		X

En base a la información dada en la matriz de análisis del impacto ambiental tenemos:

1. *Impacto ambiental positivos*

- Erradicación la generación de descargas líquidas en el curso de agua superficial aledaña a la granja, estos residuos tienen un alto contenido en nitrógeno, fósforo y materia consumidora de oxígeno, a menudo alberga organismos patógenos, provocando problemas en el desarrollo de la vida acuática<sup>19</sup>.
- Erradicación de la disposición de residuos sólidos directamente al suelo, reduciendo la emisión de gases molestos para las personas que habitan en terrenos aledaños a la granja.
- Mejoramiento del suelo actual por medio del uso del bioabono que se obtiene del tratamiento de los desechos de la granja.
- Mitigación de emisión gaseosas de amoniaco producido por la circulación de aire sobre el estiércol no tratado y metano a la atmósfera; el metano es uno de los gases causantes del efecto invernadero.

## *2. Impacto ambiental negativos*

- El metano producido como excedente puede ser liberado a la atmósfera de no existir un quemador extra implantado con este propósito.

Siendo esta el único impacto ambiental negativo visible hasta la etapa de diseño del biodigestor.

---

<sup>19</sup> Sun Mountain International Consulting SMIC, Quito, 2004.



## **CAPITULO 5**

### **5.1 CONCLUSIONES**

Del análisis del trabajo presentado se concluye que:

- La implementación de un biodigestor, en una granja porcina, como medio de tratamiento de sus desechos, no sólo es una medida acertada y efectiva, por los productos que de ella se obtienen, por su inocuidad para el medioambiente, sino también medida rentable, si se procede a la venta del bioabono líquido, por el ahorro en combustible de calefacción al sustituirlo por biogás que se produce por medio de la descomposición anaeróbica de los residuos de la granja.
- La aplicación del presente proyecto es completamente viable y proporcionaría a la granja que lo aplique beneficios, uno de ellos permitir el cumplimiento del marco legal que rige el funcionamiento de este tipo de actividad, facilitando la obtención de los permisos de funcionamiento pertinentes y evitando la aplicación de multas por desacato.
- Por medio de la implementación de un biodigestor en la granja porcina objeto de este estudio, se eliminaría las molestias actualmente percibidas por los habitantes del conjunto adyacente al terreno donde la granja desarrolla sus actividades, mejorando su calidad de vida.

## **5.2 Recomendaciones**

- El Ministerio de Medio Ambiente Ecuatoriano, como organismo rector para la prevención de la contaminación ambiental a nivel nacional, debería promover la aplicación de proyectos para la mitigación o eliminación del impacto ambiental en las actividades pecuarias, como el presentado, por medio de la aplicación de políticas que permitan su divulgación y sobre todo presentando programas de estímulos para las instituciones privadas o públicas que pretendan su ejecución.
- Los empresarios que ejecutan proyectos como el propuesto, deben difundir y socializar lo que están haciendo por proteger al medio ambiente.

## **5.3 Bibliografía**

- <http://scifun.chem.wisc.edu/chemweek/methane/methane.html>
- GAYLE RAYBURN, Letricia, “Contabilidad y Administración de Costos”, Mc Graw-Hill, México.
- ANTUNES, José A., “Apuntes sobre biogás”, 1era edición, Belo Horizonte, Brasil, Mayo 1981.
- MADUJANO, M, “Biogás: Energía fertilizantes a partir de desechos orgánicos”. Manual para el promotor de la tecnología. Organización Latinoamericana de Energía, Morelos, México, 1981

- EGGELIN, Gerhard, “Instrucciones para la construcción de una planta de biogás”, Bremen Overseas and Development Association, 2000.
- ICATI-ROCAF, “Manual de construcción y operación de una planta de biogás”, Manual Técnico, Guatemala, 1983.
- NOGUÉS y ROYO, “La biomasa como fuente de energía renovable”, Fundación CIRCE, Abril 2002.
- ITINEC, “Generación de Biogás en las áreas rurales de Perú”, Lima-Perú, mayo 1980
- Ing. René Alvarez A, Ing. Víctor Riera, Univ. Saúl Villca, “Producción anaeróbica de biogás aprovechamiento de los residuos del proceso anaeróbico”, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia 2004
- SANCHEZ, MANDUJANO, Félix A., S., “Utilización de Biogás”, México, s.e., 1980.
- FERNANDEZ, B., “Construcción y operación de biodigestores”, Brasil, mayo 1980.
- VELAZTEGUÍ LAZO, Javier; El Bio-Gas como alternativa energética para zonas rurales en el Perú, Intintec, Lima, Perú, 1979.
- PENAGOS, Mario David; Desarrollo de plantas biológicas, en Guatemala, 1952
- MENDOZA, Cenon; Generación de gas combustible a partir de estiércol de res, 1979.

- Manual de construcción y operación, Planta de Biogás, Proyecto de Leña y Fuentes Alternas de Energía, Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI)
- Guía para la construcción de un biodigestor, Instituto Nacional de Energía, INE, Quito, Ecuador, 1988.

## 5.4 Anexos

### Anexo 1. Marco legal para el desarrollo de actividades pecuarias en el Ecuador y Distrito Metropolitano de Quito

<b>LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL</b>	
Art.11.-	Queda prohibido descargar hacia la atmósfera, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, contaminantes que, a juicio del Ministerio de Salud, puedan perjudicar la salud y vida humana, la flora, la fauna y los recursos o bienes del estado o de particulares o constituir una molestia.
Art. 20.-	Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y relaciones, cualquier tipo de contaminantes que puedan alterar la calidad del suelo y afectar a la salud humana, la flora, la fauna, los recursos naturales y otros bienes.
Art. 21.-	Para los efectos de esta Ley, serán considerados como fuentes potenciales de contaminación, las sustancias radioactivas y los desechos sólidos, líquidos, o gaseosos de procedencia industrial, agropecuaria, municipal o doméstica.
<b>NORMAS DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS DE LA LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL</b>	
2.19	Desechos especiales Son todos aquellos desechos sólidos que por sus características, peso o volumen, requieren un manejo diferenciado de los desechos sólidos domiciliarios. Son desechos especiales: b) El estiércol producido en mataderos, cuarteles, parques y otros establecimientos.
4.1.1.4	De la disposición de desechos pecuarios: Los derechos pecuarios provienen de granjas productoras, con atención especial a las granjas porcinas, avícolas y aquellas instalaciones adicionales que la entidad ambiental de control considere, deberán recibir tratamiento técnico adecuado, a fin de evitar la disposición directa sobre el suelo y evitar de esta forma la contaminación por microorganismos y cambio en sus características naturales.
4.1.2.1	Las organizaciones públicas o probadas dedicadas a la



	comercialización, almacenamiento y/o producción de químicos, hidroeléctrica, explotación hidrocarburífera, minera, y agrícola, tomarán todas las medidas pertinentes a fin de que el uso de su materia prima, insumos y/o descargas provenientes de sus sistemas de producción y/o tratamiento, no causen daños físicos, químicos o biológicos a los suelos
<b>LEY DE AGUAS</b>	
<b>Art. 77.-</b>	<p>Quien infrinja las disposiciones de esta Ley, o de sus Reglamentos, será sancionado con una multa no menor de Quinientos sucres, según la gravedad y circunstancias de la infracción, y no mayor del 100% del beneficio obtenido por este medio ilícito o del 100% del perjuicio que hubiera ocasionado.</p> <p>La reincidencia será sancionada además con la suspensión temporal del uso de las aguas.</p>
<b>TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA</b>	
<b>Art. 4.-</b>	<p>El SESA establecerá las medidas sanitarias que deban ejecutarse en las explotaciones ganaderas del país de acuerdo con la naturaleza del problema, especificadas en los respectivos manuales técnicos de procedimiento para la prevención, control y erradicación de las enfermedades.</p> <p>Controlará de manera permanente las actividades de los laboratorios de producción de químicos, fármacos y biológicos y demás productos de uso veterinario, y para el efecto el SESA podrá solicitar el concurso de las autoridades y agentes de Policía.</p> <p>Compréndase por especies domésticas las siguientes: bovina, porcina, ovina, caprina, equina, canina, felina, aviar, cunícola y otras que puedan desarrollarse con fines productivos, económico - sociales.</p>
<b>DEL REGLAMENTO GENERAL PARA LA APLICACIÓN DE LA LEY DE AGUAS</b>	
<b>Art. 91.-</b>	Para los fines de la Ley de Aguas, se considera "cambio nocivo" al que se produce por la influencia de contaminantes sólidos, líquidos o gaseosos, por el depósito de materiales o cualquier otra acción susceptible de causar o incrementar el grado de deterioro del agua, modificando sus cualidades

	físicas, químicas o biológicas, y, además, por el perjuicio causado a corto o largo plazo, a los usos mencionados en el artículo anterior.
Art. 92.-	<p>Todos los usuarios, incluyendo las municipalidades, entidades industriales y otros, están obligados a realizar el análisis periódico de sus aguas efluentes, para determinar el “grado de contaminación”. El Consejo Nacional de Recursos Hídricos supervisará esos análisis y, de ser necesario, comprobará sus resultados que serán dados a conocer a los interesados, para los fines de ley; además fijará los límites máximos de tolerancia a la contaminación para las distintas sustancias.</p> <p>Si los análisis acusaren índices superiores a los límites determinados, el usuario causante, queda obligado a efectuar el tratamiento correspondiente, sin perjuicio de las sanciones previstas en el Art. 77 de la Ley de Aguas.</p>
	<b>REGLAMENTOS PARA EL CONTROL DE ACTIVIDADES AGRÍCOLAS</b>
Art. 3.-	<p>Las personas naturales o jurídicas que deseen dedicarse a instalar granjas y explotar, ganado porcino; previa a la autorización que deberá otorgar el Servicio Ecuatoriano de Sanidad Agropecuaria, SESA, presentarán:</p> <p>- Solicitud dirigida al Director y/o jefes provinciales del SESA, anexando lo siguiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Planos de corte vertical y horizontal de las construcciones;</li> <li>b. Clasificación de la granja porcina;</li> <li>c. Autorización del Ministerio del Ambiente sobre el impacto ambiental;</li> <li>d. Autorización municipal;</li> <li>e. Croquis de ubicación de la granja porcina, indicando provincia, cantón, parroquia y localidad;</li> </ol>

	<p>f. Distancia a la granja porcina más próxima;</p> <p>g. Certificación de que dispone de agua potable y energía eléctrica;</p> <p>h. Razas de cerdos a explotarse; e,</p> <p>i. Copia de la licencia profesional del médico veterinario asesor.</p>
Art. 7.-	Queda terminantemente prohibido evacuar directamente a: ríos, quebradas o alcantarillado público, los desechos, desperdicios, materias fecales o aguas servidas provenientes de la granja. Éstas previamente deben ser almacenadas y tratadas en piscinas para sedimentación, decantación y oxidación, para luego ser evacuadas o recicladas.
Art. 9.-	Una vez de que se haya cumplido con todos los requisitos enumerados en esta norma, se procederá a la inscripción de la granja porcina en el registro que, para el efecto, se abrirá en el SESA.
Art. 10.-	Inscrita la granja se extenderá el respectivo permiso de funcionamiento, documento que le autorizará la explotación porcina.
<b>ORDENANZA 146</b>	
Art. II.381.f.-	<b>CASOS ESPECIFICOS.-</b> Sin perjuicio de la existencia de otras actividades, obras o proyectos que ocasionen un impacto ambiental significativo y entrañen un riesgo ambiental y precisen, por tanto, de un EsIA (Estudio de Impacto Ambiental), se requiere de manera específica e ineludible un EsIA en los casos determinados en el Art. II.382.13.- Sujetos de Cumplimiento, Sección III, Capítulo VI, de este título.
Art. II.381.n.-	<b>OBLIGATORIEDAD.-</b> El proponente de una acción, obra, proyecto o actividad que pueda producir un impacto ambiental significativo y generar un riesgo ambiental, o produzca o pueda producir los efectos citados en el Art. II.381.f, previamente a iniciar cualquier acción, obra, proyecto o actividad, deberá elaborar y presentar los términos de referencia y el Estudio de Impacto Ambiental y recibir la aprobación de la Unidad Administrativa Encargada del Ambiente.

<p>Art. II.381.ñ.-</p>	<p>CONTENIDO.- El EsIA se sujetará a los requisitos siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Descripción completa del proyecto;</li> <li>b. Indicación de la línea base;</li> <li>c. Identificación y calificación de los impactos ambientales;</li> <li>d. Definición de un plan de manejo que incluirá por lo menos: medidas de control, de remediación, de mitigación y de compensación de los efectos ambientales adversos; y,</li> <li>e. Un plan de contingencia.</li> </ul>
<p>Art. II.382.10.-</p>	<p>REGULADO.- Los regulados son personas naturales o jurídicas, de derecho público o privado, nacionales o extranjeras, u organizaciones que a cuenta propia o a través de terceros, realizan en el Distrito Metropolitano de Quito y de forma regular o accidental, cualquier actividad que tenga el potencial de afectar la calidad de los recursos agua, aire, suelo, biodiversidad y salud pública, como resultado de sus acciones u omisiones.</p>
<p>Art. II.382.11.-</p>	<p>OBLIGACIONES DEL REGULADO:</p> <p>c) Los regulados que generan descargas, emisiones o vertidos deberán presentar anualmente, en el mes de noviembre de cada año, los reportes de caracterización de sus descargas y emisiones sujetándose a los lineamientos emitidos por la Dirección Metropolitana de Medio Ambiente. A costo de los regulados, las caracterizaciones de efluentes, descargas y vertidos, deberán ser realizadas por laboratorios y entidades de muestreo adscritas al Organismo de Acreditación Ecuatoriano OAE.</p>
<p>Art. II.382.13.-</p>	<p>SUJETOS DE CUMPLIMIENTO.- Sin perjuicio de la existencia de otras actividades, obras o proyectos que ocasionen un impacto ambiental significativo y entrañen un riesgo ambiental, son sujetos de cumplimiento y presentación de auditorias ambientales, de manera específica e ineludible, los siguientes casos:</p> <p>17. La instalación de establecimientos de crianza y engorde de cualquier clase de animal.</p>
<p>Art. II.382.41.-</p>	<p>INCUMPLIMIENTO DE LAS GPA.- En caso de que los regulados incumplan las disposiciones contenidas en las GPA, las coordinaciones ambientales zonales, a través del respectivo informe técnico, deberán:</p>

	<p>a) Recomendar a la Comisaría de Aseo, Salud y Ambiente una prórroga para el cumplimiento de las actividades previstas o lineamientos de las GPA, siempre y cuando existan las justificaciones técnicas o económicas por parte del proponente;</p> <p>b) Suspender el certificado ambiental; y,</p> <p>c) Solicitar la intervención de la Comisaría de Aseo, Salud y Ambiente para proceder con las sanciones previstas en la Sección XII de este capítulo.</p>
<p>Art. II.382.46.-</p>	<p>SANCIONES.- Las sanciones a las infracciones determinadas en el artículo anterior serán impuestas por la respectiva Comisaría Zonal de Aseo, Salud y Ambiente, de acuerdo con la gravedad de las mismas, quien actuará de oficio o a petición de parte, es decir previa denuncia ciudadana de conformidad con el artículo II.382.54, e informe técnico de la Coordinación Ambiental Zonal. Las sanciones a imponerse se aplicarán sobre la base de la remuneración básica unificada mínima (RBUM) vigente a la fecha de la sanción y serán las siguientes:</p> <p>Categoría I:</p> <p>c) Por causar derrames o emisiones de materias primas, productos químicos peligrosos, residuos sólidos o líquidos, no domésticos, tóxicos y peligrosos, o lodos potencialmente contaminantes que perjudiquen la salud y bienestar de la población, la infraestructura o el medio ambiente en general: 5 RBUM (800USD)</p> <p>Los casos de primera reincidencia comprobada serán sancionados con la suspensión del certificado ambiental y la duplicación de la multa impuesta.</p> <p>Los casos de segunda reincidencia serán sancionados con la clausura del establecimiento.</p>
<p><b>GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES</b></p>	
<p>9.1.</p>	<p><b>MANEJO AMBIENTAL DE RESIDUOS</b></p> <p>8.El área en la cual se localizan los recipientes de almacenamiento , deberá cumplir los siguientes requisitos mínimos:</p> <p>a. Contar con techo</p> <p>b. Tener facilidad de acceso y maniobras de carga y descarga.</p> <p>c. El piso debe ser impermeabilizado</p> <p>d. No debe existir ninguna conexión al sistema de</p>

	<p>alcantarillado o a un cuerpo de agua.</p> <p>e. Todos los establecimientos que manejen residuos de líquidos de solventes, combustibles, grasas, aceites, etc., contará con un lugar destinada para la disposición provisional de estos residuos, provisto de un dique perimetral, conectado a la un contenedor de derrames, con capacidad equivalente al 110% del volumen del residuo almacenado.</p> <p>f. El área circundante al sitio de almacenamiento de residuos deberá estar limpia en un radio de 10m.</p>
9.3	<p><b>MANEJO AMBIENTAL DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Está prohibido descargar efluentes residuales hacia la vía pública, así como infiltrarlos en el suelo o su vertido directo a quebradas y cursos hídricos.</li> <li>2. Los establecimientos que general vertidos líquidos no domésticos deberán contar con medidas de control: canaletas, sedimentadotes, trampas de grasa, etc., previamente a su descarga a la red de alcantarillado o a cualquier cauce de agua.</li> </ol>

**Anexo 2. CUADRO DE PROBLEMAS COMUNES DE OPERACIÓN**

<b>PROBLEMAS</b>	<b>SÍNTOMAS</b>	<b>POSIBLES CAUSAS</b>	<b>SOLUCIONES</b>
<b>1. Acidéz</b>	* Descenso del pH	* Exceso de carga	* Agregar agua de cal en pequeñas cantidades con la carga
	* Baja producción de gás	* Sustrato ácido	* Suspender la carga varios días hasta normalización del pH * Análisis de la dieta porcina
<b>2. Baja producción de gas</b>		* Acidez	
		* Baja temperatura	* Neutralización de la acidéz
		* Reducida cantidad de bacterias	* Colocar invernadero sobre biodigestor * Inocular con material de otro digestor
		* Falta de fuentes de K y microelementos	* Reciclación de efluentes al digestor
		* Fugas	* Adicionar microelementos
		* Antibiótico en estiércol	* Revisión de tubería y depósito de gas * Suspender carga por 4 - 5 días
<b>3. Mal olor y moscas en efluentes</b>			
		* Poca degradación del material orgánico	* Aumentar tiempo de retención * Elevar temperatura en digestor con invernadero o con carga precalentada
<b>4. Formación de costra</b>		* Falta de agitación	
		* Exceso de sólidos en la carga	* Usar dispositivos para romper costra diariamente * Aumentar la dilución de la carga diaria * Homogenizar la mezcla de la carga diaria

Fuente. ICAITI, Manual de Construcción y Operación Planta de Biogás, Proyecto de leña y fuentes alternas de energía, 1983

**Anexo 3. Sólidos totales en sustratos diferentes, Poder calorífico de diferentes combustibles y Equivalencia del biogás con otros combustibles.**