

FACULTAD DE INGENIERÍA



**ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN DE BIOGÁS EN UNA GANADERÍA  
LECHERA Y SU APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO EN UNA PLANTA  
PROCESADORA DE LÁCTEOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
**INGENIERO MECÁNICO**

PRESENTADO POR:

**FERNANDO ERNESTO MEDINA HENRÍQUEZ**

**ALEJANDRO JOSE ORELLANA ALVARENGA**

ASESOR:

**ING. JOSÉ SALVADOR VEGA PRADO LEIVA, MAGMA**

LECTOR:

**ING. HEBER ABISAI PORTILLO LEMUS**

ABRIL 2010

EL SALVADOR, CENTROAMÉRICA

**UNIVERSIDAD DON BOSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**RECTOR**

**ING. FEDERICO MIGUEL HUGUET RIVERA**

**SECRETARIA GENERAL**

**INGA. YESENIA XIOMARA MARTÍNEZ OVIEDO**

**DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ING. ERNESTO GODOFREDO GIRÓN**

**ASESOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**ING. JOSÉ SALVADOR VEGA PRADO LEIVA, MAGMA**

**LECTOR**

**ING. HEBER ABISAI PORTILLO LEMUS**

**ADMINISTRADOR DEL PROCESO**

**ING. CARLOS ORLANDO AZUCENA VÁSQUEZ**

ABRIL 2010

EL SALVADOR, CENTROAMÉRICA

**UNIVERSIDAD DON BOSCO**

FACULTAD DE INGENIERÍA



**EVALUACIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN DE BIOGÁS EN UNA GANADERÍA  
LECHERA Y SU APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO EN UNA PLANTA  
PROCESADORA DE LÁCTEOS**

---

**ING. HEBER ABISAI PORTILLO LEMUS**

LECTOR

**ING. JOSÉ SALVADOR VEGA PRADO LEIVA,  
MAGMA**

ASESOR

---

**ING. CARLOS ORLANDO AZUCENA VÁSQUEZ**

ADMINISTRADOR DEL PROCESO

ABRIL 2010

EL SALVADOR, CENTROAMÉRICA

## **DEDICATORIAS**

En primer lugar a Dios, porque si no fuera por su voluntad, nada de esto fuera posible.

Dedico este trabajo muy especialmente a mis padres, por su enorme apoyo, por siempre haber creído en mí. ¡Esto es para ustedes!, les estaré eternamente agradecido.

También dedico este trabajo a dos personas que formaron parte de mi vida, específicamente de mi infancia, que ahorita están lejos de mi casa pero siempre están en mi corazón, esto es para ustedes también.

Se lo dedico a todos aquellos amigos, y ex compañeros de Colegio y Universidad que creyeron y siguen creyendo en mí.

Se lo dedico a mi familia en el país, así como también familiares en el extranjero, especialmente a mis tíos y tías que siempre me brindaron su apoyo, sus palabras de ánimo, se los dedico con mucho cariño! Se lo dedico también a ciertos amigos y amigas de mis padres a quienes les tengo mucho aprecio y cariño, ¡Gracias!

Alejandro J. Orellana Alvarenga.

Este trabajo de graduación lo quiero dedicar en primer lugar a Dios, por haberme permitido finalizar la carrera como estudiante de ingeniería mecánica. A mis padres por que han sido y siguen siendo los pilares más importantes en mi vida, a mis hermanas por que siempre han estado ahí brindándome su apoyo y espero que con mi ejemplo les motive a continuar con el mayor de los empeños con sus carreras.

Le doy gracias a todos mis maestros, los cuales transmitieron sus conocimientos sin guardarse nada, por alentarme a continuar adelante, a cumplir con nuestras responsabilidades y hacer firmes en nuestras decisiones.

También dedicarlo a todas aquellas personas que han jugado un papel importante dentro de mi formación personal y profesional.

Fernando E. Medina Henríquez.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco primeramente a Dios por haberme permitido llegar a finalizar este trabajo, por culminar esta etapa de mi vida, por haberme dado las fuerzas para seguir adelante y superar tanto obstáculo en el camino.

Gracias papá gracias mamá, por su enorme apoyo, por creer en mí siempre, por haberme dado mis estudios desinteresadamente, por darme la oportunidad de llegar a ser un profesional de bien, por haberme dado todas las herramientas y darme más de lo que merecía.

Agradezco a mis hermanos y demás familia por creer en mí, por el gran apoyo que siempre me han dado, por haberme permitido contar con ustedes en todo.

Gracias amigos y amigas, por sus grandes muestras de apoyo, por darme siempre ánimos, por reanimarme cuando lo necesitaba, por poner mi nombre en alto, por sus grandes muestras de cariño les estaré siempre agradecido.

Agradezco a todos aquellos docentes que fueron parte de mi formación académica desde el Colegio hasta la Universidad, de todos ustedes me llevo un grato recuerdo, y sobre todo conocimiento que me transmitieron incluyendo a asesor y lector del presente trabajo.

A mis ex compañeros de Colegio y Universidad, por todos los buenos y malos momentos vividos, por todo lo que aprendí de ustedes, siempre los recordaré. A mi compañero de trabajo de graduación y amigo, por su gran dedicación y esfuerzo en este trabajo, un agradecimiento especial.

Alejandro J. Orellana Alvarenga.

Quiero darle gracias a Dios por haberme permitido finalizar mis estudios en la carrera de ingeniería mecánica, por que a la ves, me ha hecho ser parte de una buena familia, dándome unos padres que me han enseñado a que uno tiene que poner su mejor esfuerzo en lo que haga y luchar por las metas que uno se propone.

Gracias papá y mamá por que me han dado todo su amor y cariño, pero también por haber sabido corregir mis errores, gracias a su apoyo e logrado llegar asta este punto y ser quien soy ahora.

A mis hermanas a quienes quiero mucho. Por que me han servido de inspiración para no defraudarlas.

También tengo que agradecer a todos mis maestros y amigos por que siempre estuvieron ahí cuando necesite de su apoyo. Y a todas a aquellas personar que gracias a su aporte fue posible realizar este trabajo.

Fernando E. Medina Henríquez.

# Contenido

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCCIÓN.....                                                 | 5  |
| 1.ANTECEDENTES.....                                               | 5  |
| 2.JUSTIFICACIÓN.....                                              | 5  |
| 3.OBJETIVOS.....                                                  | 5  |
| a.Objetivo general:.....                                          | 6  |
| b.Objetivos específicos:.....                                     | 6  |
| CAPÍTULO I: DIGESTIÓN ANAERÓBICA.....                             | 6  |
| 1.Definición de digestión anaeróbica:.....                        | 6  |
| 2.Variables en la digestión anaeróbica:.....                      | 6  |
| 3.El Biogás: Composición, Características y Usos.....             | 8  |
| CAPÍTULO II: BIODIGESTORES.....                                   | 10 |
| 1.Definición de un biodigestor:.....                              | 10 |
| 2.Diseño de un biodigestor:.....                                  | 10 |
| 3.Clasificación de los biodigestores.....                         | 12 |
| 2.4 Materiales de construcción:.....                              | 13 |
| 2.5 Selección del biodigestor:.....                               | 13 |
| CAPITULO III: PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA GANADERÍA.....          | 14 |
| 3.1. Información general de Hacienda El Sunza:.....               | 14 |
| 2.Proceso de producción de la ganadería:.....                     | 15 |
| 2.1.Descripción de los procesos.....                              | 15 |
| 2.2.Maquinaria y equipo.....                                      | 16 |
| 2.3.Diagrama de flujo de la ganadería.....                        | 16 |
| 3.Proceso de producción de la planta procesadora de lácteos:..... | 16 |
| 3.1.Descripción de los procesos.....                              | 16 |

|                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2. Maquinaria y equipo.....                                          | 19        |
| 3.3. Diagrama de flujo de la planta procesadora de lácteos.....        | 19        |
| <b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA.....</b>                                   | <b>19</b> |
| 4.1. Diseño del tipo de biodigestor a implementar:.....                | 19        |
| 4.1.1. Diseño de biodigestor tipo laguna.....                          | 21        |
| 4.2. Cálculo de los índices económicos/financieros.....                | 22        |
| 4.3. Estimación de reducción de omisiones de CO <sub>2</sub> :.....    | 23        |
| 4.3.1 Producción de CO <sub>2</sub> por quema de CH <sub>4</sub> ..... | 24        |
| <b>CAPÍTULO V: EVALUACIÓN ENERGÉTICA.....</b>                          | <b>25</b> |
| 5.1. Estimación de producción de biogás en la ganadería lechera:.....  | 25        |
| 5.2. Consumo energético de la ganadería.....                           | 27        |
| 5.2.1. Propuesta de mejora para la ganadería:.....                     | 28        |
| 5.3. Consumo energético de la planta procesadora de lácteos:.....      | 30        |
| 5.3.1. Propuesta de mejora para la planta procesadora de lácteos:..... | 30        |
| <b>CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.....</b>                      | <b>31</b> |
| 6.1. Evaluación económica:.....                                        | 31        |
| 6.1.1 Inversión inicial:.....                                          | 31        |
| 6.1.2 Costes anuales fijos:.....                                       | 31        |
| 6.1.3 Ahorro proyectado:.....                                          | 32        |
| 6.1.4 Flujo de fondos y evaluación económica:.....                     | 32        |
| 6.2. Análisis de impacto ambiental:.....                               | 33        |
| <b>CONCLUSIONES.....</b>                                               | <b>36</b> |
| <b>RECOMENDACIONES.....</b>                                            | <b>36</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>                                               | <b>37</b> |
| <b>GLOSARIO DE TÉRMINOS.....</b>                                       | <b>38</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>                                                     | <b>40</b> |
| Parte A: Fotos/Imágenes.....                                           | 40        |
| Parte B: Tablas.....                                                   | 42        |

**ÍNDICE FIGURAS**

**ÍNDICE TABLAS.**

## INTRODUCCIÓN

Debido al uso irracional y descontrolado de los recursos naturales, el ser humano ha destruido el balance que existía en el medio ambiente y ha provocado un acelerado calentamiento global. Una de las actividades más antiguas de las que practica el hombre es también de las que más daño causa al medio ambiente; se trata de la explotación del sector pecuario.

El daño comienza con la tala de árboles o desertificación que se provoca al establecer una granja, y continúa con la emanación de metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), por parte de los animales reclusos. Finalmente, estas emisiones se vuelven a dar con la descomposición de desechos orgánicos o estiércol. Sin embargo, esta última etapa de contaminación se puede llegar a eliminar casi en su totalidad por medio de un biodigestor, dispositivo que permite un proceso llamado digestión anaeróbica.

La digestión anaeróbica consiste en la biodegradación de la ~~materia orgánica~~, mediante la acción de microorganismos, y otros factores, en ausencia de oxígeno, considerando que dentro de la materia orgánica puede haber un % de  $\text{O}_2$ . El gas resultante, conocido como biogás, está formado principalmente por ~~metano~~ ( $\text{CH}_4$ ) entre un 60 - 80%, ~~dióxido de carbono~~ ( $\text{CO}_2$ ) entre un 30 – 40 %.

En el presente trabajo de graduación titulado: “ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN DE BIOGÁS EN UNA GANADERÍA LECHERA Y SU APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO EN UNA PLANTA PROCESADORA DE LÁCTEOS” se plantean y evalúan diferentes propuestas que parten del aprovechamiento del biogás por medio de un biodigestor para su uso en una ganadería y en una planta procesadora de lácteos.

El documento comienza con la teoría que sustenta la digestión anaeróbica y diseño de biodigestores, luego describe los procesos en la ganadería y planta procesadora, posteriormente continua con la metodología utilizada para los cálculos y estimaciones. Finalmente, se plantean y describen las propuestas para culminar con su respectiva evaluación económica y de impacto ambiental.

## 1. ANTECEDENTES

Se sabe que el hombre conoce desde mucho tiempo atrás la existencia del biogás, pues este se produce en forma natural en los pantanos, de allí que se denomina gas de los pantanos. De acuerdo a la Escuela agro técnica “Los Pioneros” de Argentina, en 1,808 Humphry Dhabí produce gas metano en un laboratorio. Se toma este acontecimiento como el inicio de la investigación en biogás.

Entre los países que ha llevado a la práctica el uso del biogás cabe mencionar a China, India, Estados Unidos, Sudáfrica, entre otros países europeos. En Latinoamérica, solo países como Cuba, Colombia y Brasil tienen desarrollada esta tecnología y en otros países de la región centroamericana se ha iniciado la divulgación e implementación de casos demostrativos pero aún sigue siendo un tema poco documentado.

La obtención de biogás se ha dado por medio de la utilización un **reactor** de desechos orgánicos o **biodigestor**, a través del cual, bajo condiciones controladas se produce metano y se obtiene fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio como otro subproducto de la degradación de la materia orgánica.

Entre los tipos de biodigestores existen aquellos de producción a escala industrial y los de tipo residencial o de uso doméstico, conocidos también como biodigestores familiares. Los modelos de biodigestores familiares, son construidos a partir de mangas de polietileno tubular, se caracterizan por su bajo costo, fácil instalación y mantenimiento, así como por requerir sólo de materiales locales para su construcción, de aquí que se le consideran una ‘tecnología apropiada’ para economías en desarrollo. Otra de las ventajas enfocada a los productos de la digestión anaeróbica, es que la combustión del biogás no produce humos visibles y su carga en ceniza es menor que el humo proveniente de la quema de madera.

En El Salvador y la región centroamericana en general, el aprovechamiento del gas metano generado por los desechos del sector pecuario a través de biodigestores es un proceso muy poco conocido y desde hace relativamente poco tiempo se están realizando proyectos y capacitaciones en esta área, principalmente promovidos y financiados por Organismos No Gubernamentales a través de la Cooperación Internacional. Debido a la situación económica de la mayoría de ganaderos en el país, estos se rehúsan a hacer cualquier tipo de inversión que no genere beneficios económicos directos que permitan justificar la inyección de capital.

Sin embargo, organismos como la Alianza en Energía y Ambiente con Centroamérica (AEA), la Fundación Centro Nacional de Producción Más Limpia y el Programa de USAID de Excelencia Ambiental y Laboral de los países del CAFTA-DR (ELE) financian y/o promueven varios proyectos a nivel regional. En el caso de El Salvador, el gobierno de Finlandia a través de la AEA, financió con un total de €118,000 los siguientes proyectos: Mini central Bio-eléctrica Miralvalle (79% de avance), la cual se ubica en el departamento de Santa Ana, y aprovechará el biogás generado por el estiércol de 110 cabezas de ganado para la generación de energía eléctrica demandada en el lugar. También se planea vender los excedentes a la red eléctrica local. También, existe otro proyecto similar en la Cooperativa El Jobo de Sonsonate, el cual aún no comienza su ejecución. El sector porcino es también un excelente productor de metano, y en el país destaca un proyecto en el departamento de Cabañas, específicamente la granja de los hermanos Jovel, la cual cuenta con aproximadamente 15,000 cerdos. Actualmente ya están construidos los biodigestores (con una capacidad de 280 m<sup>3</sup>).

## **2. JUSTIFICACIÓN**

Según cifras del Banco Central de Reserva de El Salvador, en el año 2008, el sector agropecuario representó aproximadamente un 12.2 % del Producto Interno Bruto (PIB) del país. Además ha tenido un crecimiento en los últimos años de hasta 18.6% en 2008. Dentro de este sector, se ubican las ganaderías lecheras. En las ganaderías lecheras existen una generación de desechos orgánicos (estiércol) que puede ser utilizado para la producción de biogás que en la actualidad, en la mayoría de los casos, no está siendo aprovechado. A través de la implementación de tecnologías de digestión anaeróbica, se podrá obtener y capturar biogás, contribuyendo de esa manera al tratamiento parcial de los desechos sólidos y líquidos, reduciendo así el impacto ambiental que estos producen con la liberación de CO<sub>2</sub> equivalente, así como también de material con alto contenido de materia orgánica al ambiente. De igual forma con la obtención de biogás habría una reducción en el consumo de los combustibles fósiles o energía eléctrica si se realiza una transformación de acuerdo a las necesidades de la instalación.

A su vez se pretende que este estudio pueda ser utilizado como herramienta o instrumento de base o apoyo para la implementación de biodigestores anaeróbicos a nivel nacional. La inversión se justifica a través de los ahorros económicos derivados por la utilización del metano como fuente energética y los beneficios que conlleva esta tecnología a reducir las descargas de contaminantes al ambiente. Finalmente, es necesario recalcar que con el trabajo de graduación propuesto, se busca demostrar como la ingeniería mecánica puede contribuir al mejoramiento del desempeño ambiental del sector agro-pecuario.

### **3. OBJETIVOS**

a. Objetivo general:

Estimar la generación de biogás de una ganadería lechera y aprovechar la energía proporcionada por éste en una planta procesadora de lácteos.

b. Objetivos específicos:

- Estimar el potencial de generación de biogás de una ganadería lechera a partir de la recuperación de estiércol fresco, por medio de un digestor anaeróbico.
- Identificar procesos en el interior de una planta procesadora de lácteos que posibilite el aprovechamiento del biogás estimado previamente.
- Realizar un análisis financiero comparativo del aprovechamiento energético en una planta procesadora de lácteos entre biogás y energía convencional (eléctrica o térmica).

# CAPÍTULO I: DIGESTIÓN ANAERÓBICA

## 1. Definición de digestión anaeróbica:

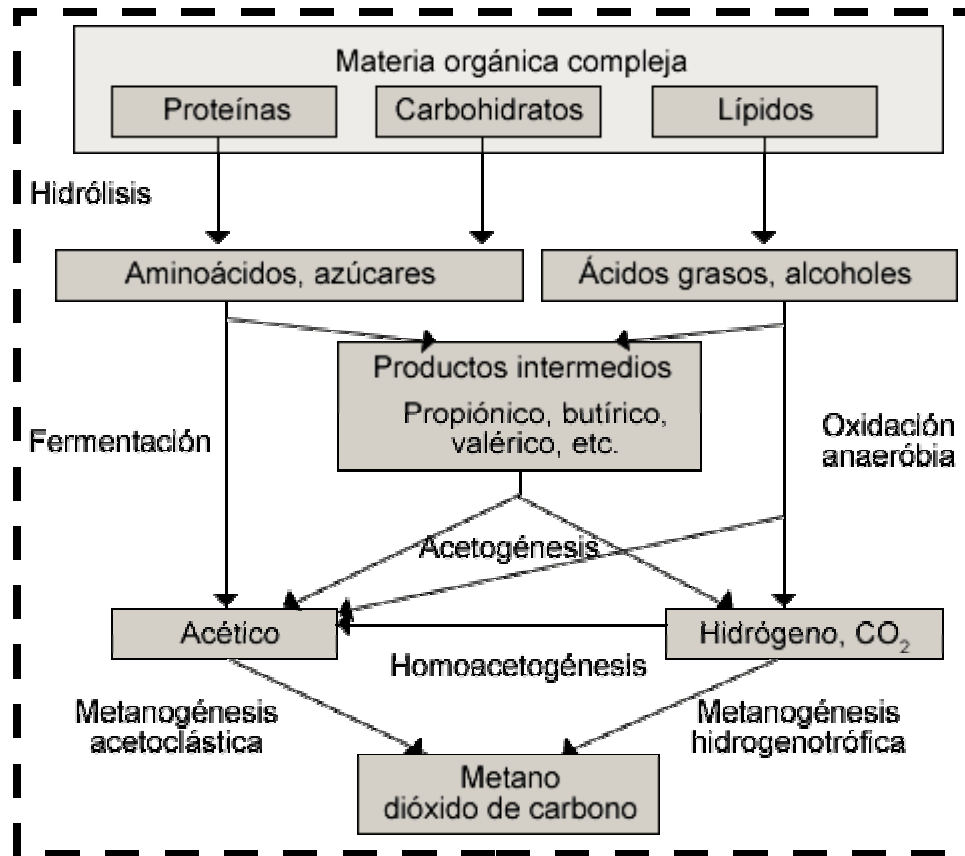
La digestión anaeróbica es un proceso bioquímico en el cual la materia orgánica se descompone por la acción de un grupo de bacterias que se desarrollan en ambientes carentes de oxígeno o anaeróbicos (bacterias anaeróbicas). Este proceso se desarrolla naturalmente en pantanos, lagos y ríos. En la digestión anaeróbica, las bacterias básicamente se dividen en:

- a) Las bacterias acidificantes: son bacterias facultativas anaeróbicas que descomponen los sólidos orgánicos a través de la hidrólisis.
- b) Las bacterias metanogénicas: son bacterias estrictamente anaeróbicas que convierten los ácidos y los alcoholes en metano. Las bacterias metanogénicas son delicadas y requieren una franja de pH estrecha de 6.5 a 7.5 y pueden ser sensibles a cambios súbitos de otros factores ambientales como la temperatura, la cantidad de alimento, etc.

De acuerdo a McInerney y Bryant (Citado por Guevara 1996), la degradación de la materia orgánica a su forma más simple que es el gas metano ( $\text{CH}_4$ ), es un proceso completamente biológico, que se da básicamente en tres pasos en ausencia de oxígeno:

1. Hidrólisis: El material sólido compuesto de sustratos de cadena larga y compleja, son degradados por las enzimas extracelulares de moléculas solubles que son asimilados por las bacterias.
2. Fermentación: Los productos de hidrólisis son degradados por la fermentación bacteriana, especialmente los ácidos grasos volátiles (AGV).
3. Metanización: Finalmente se forma el 70% del gas metano a partir de AGV y el 30% restante a partir del hidrógeno y dióxido de carbono gracias a la acción de bacterias metanogénicas.

En la siguiente figura se ilustra las etapas del proceso de degradación de la materia orgánica, para la obtención de una digestión anaeróbica completa.



**Figura 1.2: Esquema de degradación de la materia orgánica**

Fuente: Pavlostathis, 1991

## 2. Variables en la digestión anaeróbica:

Los límites termodinámicos de la digestión anaeróbica son muy estrechos. La formación de metano se mantiene sólo mientras que el consorcio de bacterias se encuentre en condiciones óptimas. En consecuencia, hay algunas variables que afectan significativamente el proceso, las cuales se deben tomar muy en cuenta en el diseño de un biodigestor, el cual es básicamente un reactor en donde se

almacena una mezcla de materia orgánica con agua (dilución) en ausencia de oxígeno, y así producir biogás y otros subproductos. Estas variables son las siguientes:

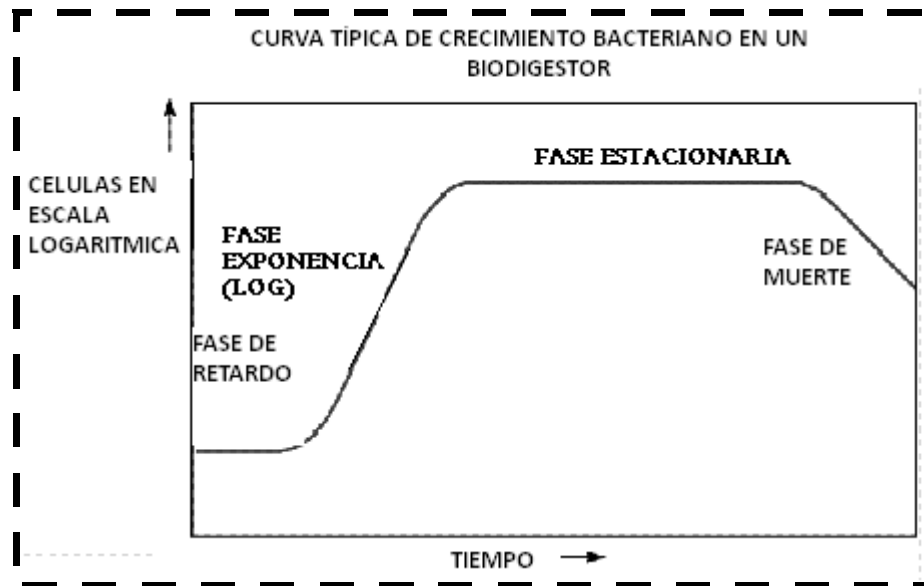
### **Temperatura:**

La formación de metano se produce en la naturaleza a diferentes temperaturas. En aplicaciones técnicas, 3 rangos de temperatura se distinguen: temperatura psicrófila ( $10^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$ ), temperatura mesófila ( $25^{\circ}\text{C} - 45^{\circ}\text{C}$ ), temperatura termófila ( $49^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$ ).

Sin embargo, la actividad enzimática de las bacterias depende profundamente de la temperatura. La elección de una temperatura de trabajo resulta de un compromiso entre el volumen de gas a producir, el grado de fermentación y el tiempo de retención.

La mayoría de los biodigestores anaerobios se diseñan para actuar en el mesófilo, la temperatura ideal para el trabajo es de  $30^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C}$ , ya que los requisitos térmicos para el funcionamiento del sistema son menores en comparación con el rango termófilo. Sin embargo, dada a la gran presencia de bacterias metanogénicas en ambientes anaeróbicos pueden producirse cambios en la temperatura del rango termófilo al mesófilo, y viceversa, sin que este cambio sea problemático en los digestores de residuos animales, siempre que ello se produzca en un lento y gradual.

En un biodigestor, las bacterias tienen un crecimiento poblacional que se puede resumir en tres etapas (ver figura 1.1) después de una fase de retardo. La primera es de un crecimiento acelerado y se llama Fase Exponencial. La segunda tiene un crecimiento nulo por un período largo, y se denomina Fase Estacionaria. Finalmente se da una Fase de Muerte.



**Figura 1.1 Curva típica del crecimiento bacteriano dentro de los digestores**

Fuente: Sitio web de microbiología de la Universidad de Granada

### **Tiempo de retención hidráulica (TRH):**

El TRH describe el periodo medio que permanece el sustrato en un digestor y se define dividiendo el volumen del digestor por el flujo de alimentación al día. En el caso de los residuos animales, la mayoría de la materia orgánica se encuentra en la fase sólida. Es conveniente, por lo tanto, que estos sólidos se queden en el sistema durante un periodo de tiempo grande, y tienen poca importancia a la retención de la fase líquida.

El tiempo de residencia de la materia orgánica en el sistema solamente proporciona información cualitativa del proceso, dado que la degradación de materia orgánica depende de la cantidad de microorganismos presentes y de la existencia de una población de microorganismos con una alta tasa de

reproducción para permitir la rápida degradación de la materia orgánica, independientemente de los valores de los tiempos de retención de sólidos y / o hidráulico.

Dependiendo del tipo de residuos y de la temperatura ambiente, el tiempo de retención puede variar de 10 a 40 días, e inclusive en zonas muy frías, los tiempos pueden ser de más de 50 días.

### **Nutrientes:**

Sin nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, no se puede dar la digestión anaeróbica, ya que estos nutrientes son esenciales para el crecimiento bacteriano, así como otros en cantidades más pequeñas. La falta de nutrientes específicos, necesarios para el crecimiento bacteriano, restringirá la producción de biogás.

Entre los macro-nutrientes, el nitrógeno desempeña un papel especialmente importante en la formación de proteínas. No obstante, el exceso de este elemento puede causar toxicidad del sustrato produciendo amoníaco.

### **Relación Carbono/Nitrógeno:**

La relación carbono/nitrógeno es muy importante en el nivel de producción de biogás. Es por eso que existen tablas (ver Tabla 1.1) con los valores para muchas sustancias de manera que se pueda hacer una combinación adecuada.

El carbono es importante ya que es la principal fuente de energía para las bacterias, mientras que el nitrógeno sirve para la construcción de la estructura de nuevas células, es por eso que la proporción de estos nutrientes es esencial para una biodigestión apropiada.

Según ciertos estudios, las bacterias consumen 30 veces más rápido el carbono que el nitrógeno, por lo que una relación C/N de 30/1 es la ideal. Sin embargo, un valor entre 15 y 30 resulta apropiado. Un valor bajo de C/N significa que el proceso se puede detener al agotarse el carbono, mientras que uno

demasiado alto, hace lento el proceso. Muchas veces será necesaria una correcta combinación de materiales para mantener la relación apropiada.

|                      | <b>Material</b> |
|----------------------|-----------------|
|                      | <b>C/N</b>      |
| Estiércol vacuno     | 16-20           |
| Estiércol porcino    | 15-20           |
| Gallinaza            | 6-7             |
| Estiércol equino     | 25              |
| Desechos de matadero | 2               |
| Gramma Napier        | 41              |
| Gramma corriente     | 12              |
| Tallos de trigo      | 128             |
| Aserrín              | 200-500         |
| Rastrojo de maíz     |                 |

**Tabla 1.1: Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)**

Fuente: "Manual de Construcción y Operación de Plantas de Biogás" del Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial

**Contenido de agua:**

El contenido de agua en el digestor deberá oscilar entre el 60% al 90% del peso total del contenido. Esto quiere decir una relación 1:1 entre agua y estiércol de origen vacuno. Lo anterior tiene relación con la Concentración de Sólidos Totales, (ver Tabla 1.2) la cual varía de acuerdo al origen de los desechos. Mientras más alto sea el porcentaje de sólidos totales, más agua debe agregarse. Tanto el exceso como la falta de agua son perjudiciales. El contenido de agua varía de acuerdo a las diferencias presentadas en los residuos a tratar.

Estiércol vacuno

16-20%

Estiércol porcino

18%

Estiércol de gallina

40-50%

Excretas humanas

17%

Rastrojo y hojas maíz

77%

Pajas de arroz

92.6%

### **Tabla 1.2: Porcentaje de Sólidos Totales (en seco) en diferentes desechos orgánicos.**

Fuente: "Manual de Construcción y Operación de Plantas de Biogás" del Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial

#### **Alcalinidad y pH:**

La alcalinidad de un sistema es la capacidad que tiene el sistema para neutralizar los ácidos. El resultado de la presencia de especies químicas alcalinas es lo que indica la capacidad tampón del sistema. La alcalinidad es una medida de la cantidad de carbonato en la solución, resultante del dióxido de carbono producido durante la digestión anaeróbica. La acidez o basicidad del medio se indica por el pH.

Según el Manual de Construcción y Operación de Plantas de Biogás (Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial, 1983), para un buen proceso de fermentación anaeróbica, el pH debe mantenerse en niveles neutros, entre 6.5 y 7.5. Por lo general no hay mucho problema mantener este pH con desechos animales, pero algunos vegetales como la pulpa del café tienen un pH muy ácidos, por lo que es necesario que se les agregue sustancias como agua con cal para reducir la acidez y así garantizar una digestión anaeróbica completa.

### **3. El Biogás: Composición, Características y Usos**

El biogás es aquel gas formado en la digestión anaeróbica por las bacterias acidificantes y metanogénicas, el cual está compuesto principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Su composición puede variar dependiendo de varios factores como la materia orgánica digerida, condiciones ambientales, entre otros.

La composición típica del biogás está formada básicamente por:

- Metano ( $\text{CH}_4$ ): 40 - 70 % vol.
- Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ): 30 - 60 % vol.
- Hidrógeno ( $\text{H}_2$ ): 0 - 1% vol.
- Sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ): 0 - 3 % vol.

Así como cualquier gas puro las propiedades características del biogás dependen de la presión y la temperatura. El valor calorífico del biogás tiene en promedio 4,500 - 5600 kilocalorías/m<sup>3</sup> (1.3-1.6 kWh/m<sup>3</sup>) que corresponde aproximadamente a la mitad de un litro de combustible diesel. La eficiencia de combustión depende de la eficiencia de los quemadores o de su aplicación. Su temperatura de inflamación es de 700 °C cuando tiene una de composición de metano de al menos 50%. La utilización de biogás en equipos comerciales requiere de adaptaciones sencillas para quemarlo eficientemente. De acuerdo a Guardado (2006), como referencia, un metro cúbico de biogás con un 70% de metano, equivale a lo siguiente.

- 0.8 L de gasolina
- 1.3 L de alcohol
- 0.7 L de gasóleo
- 2.7 kg de madera

A continuación en la tabla 1.3 se muestra la comparación de la cantidad de algunos combustibles alternativos basados en petróleo cuyo contenido energético es igual a la energía contenida en un metro cubico de metano (principal componente del biogás).

| <b>Combustible.</b> | <b>Contenido Energético kJ/m<sup>3</sup></b> |
|---------------------|----------------------------------------------|
| Metano              | 33,533.5                                     |
| Gasolina            | 41,916.8                                     |
| Etanol              | 25,795                                       |
| Diesel              | 47,905                                       |

**Tabla 1.3: Comparación del metano contra algunos combustibles tradicionales basados en petróleo.**

Normalmente, el biogás producido por un biodigestor puede utilizarse directamente como cualquier otro gas combustible. Sin embargo, su utilización requiere procesos que, por ejemplo, reduzcan el contenido de sulfuro de hidrógeno; lo cual se hace con filtros de limadura de hierro, ya que este compuesto puede favorecer la corrosión de equipos. Cuando el biogás se mezcla con aire en una proporción 1 a 20, se forma una mezcla altamente explosiva, y que le permite ser utilizado en motores de combustión interna adaptados (para ser usado como combustible, su concentración de metano debe ser mayor al 50%).

De acuerdo al lugar de generación del biogás, se pueden determinar algunos beneficios:

- ✓ Producción de energía convertible a todas sus formas (calor, iluminación, electricidad). Todo esto se puede lograr fácilmente con generadores o motores debidamente adaptados o contruidos para funcionar con biogás.
- ✓ Transformación de desechos orgánicos en fertilizante de alta calidad lo que podría presentar un beneficio al usuario final, en el sentido que dejaría de utilizar un fertilizante inorgánico o químico.

- ✓ Mejoramiento de las condiciones higiénicas a través de la reducción de patógenos, huevos de gusanos y moscas, por lo que también se obtiene un beneficio sanitario en la granja o lugar en donde se implemente la tecnología.
- ✓ Reducción en la cantidad de trabajo relacionado con la recolección de leña para cocinar, teniendo un efecto directo a la reducción en la deforestación.
- ✓ Ventajas ambientales a través de la protección del suelo, del agua, del aire y la vegetación.
- ✓ Beneficios micro-económicos a través de la sustitución de energía y fertilizantes químicos que pueden ser perjudiciales a largo plazo para el suelo.
- ✓ Beneficios del aumento en los ingresos y del aumento en la producción agrícola-ganadera.
- ✓ Beneficios macro-económicos a través de la generación descentralizada de energía, reducción en los costos de importación, transmisión y protección ambiental.

De acuerdo a Tornaria, empresa constructora (s.f.), el biogás producido en procesos de digestión anaeróbica puede tener los siguientes usos:

- a) En calderas para generación de calor o electricidad.
- b) En motores o turbinas para generar electricidad.
- c) En pilas de combustible, previa realización de una limpieza de H<sub>2</sub>S y otros contaminantes de las membranas.
- d) Purificándolo y añadiéndole los aditivos necesarios para introducirlo en una red de gas natural.

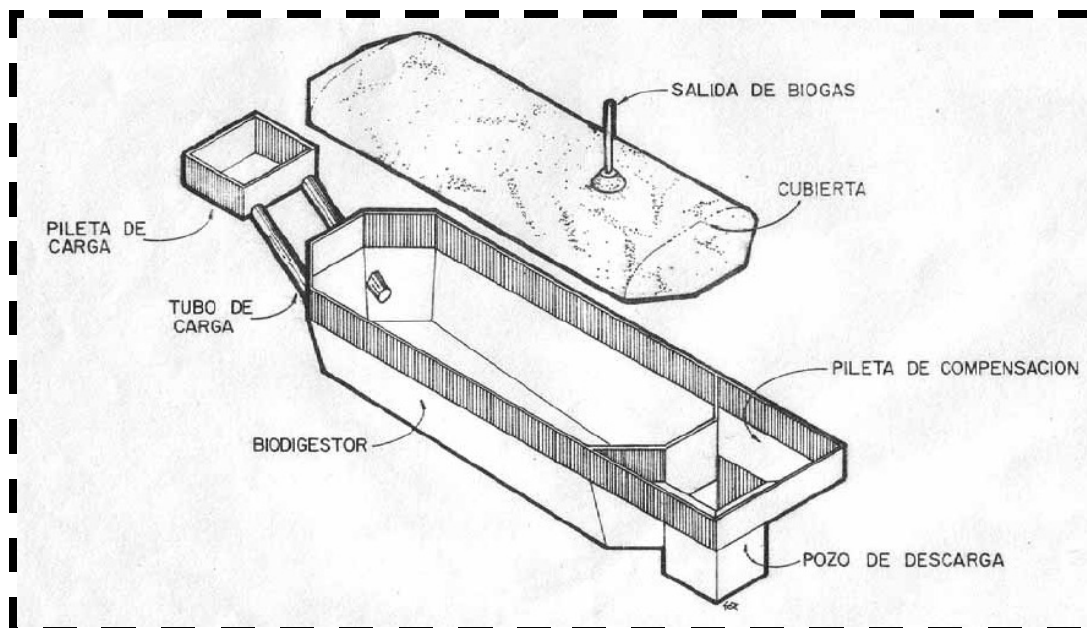
- e) Usándolo como material base para la síntesis de productos de elevado valor agregado como es el metanol o el gas natural licuado.
- f) Como combustible de automoción.
- g) Autonomía energética.

## CAPÍTULO II: BIODIGESTORES

### 1. Definición de un biodigestor:

De acuerdo a la Universidad del Valle de Guatemala, un biodigestor es un sistema sencillo, que consiste en un contenedor herméticamente cerrado llamado reactor, dentro del cual se deposita materia orgánica como desechos vegetales y excremento. Este sistema también incluye una pileta de carga y nivelación de agua residual a la entrada del mismo, un dispositivo de almacenamiento para el biogás generado y una pileta de descarga.

En la figura 2.1 se muestra un biodigestor en secciones en la que se indica de cada una de las partes que lo conforman.



**Figura. 2.1. Distintas partes de un biodigestor.**

Fuente: "Manual de Construcción y Operación de Plantas de Biogás" del Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial

Los materiales orgánicos se incorporan para fermentarlos con cierta disolución de agua, produciendo gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en fósforo, potasio y nitrógeno, como resultado de la degradación de la materia orgánica.

## 2. Diseño de un biodigestor:

El diseño en la construcción de un biodigestor depende de diferentes factores tales como el volumen de la carga, el tipo de carga a someter al proceso anaeróbico (estiércol, desecho vegetales, agua), el lugar de construcción debido al clima y demás factores que puedan influir en el proceso para la obtención del biogás. A partir de estas condiciones se define el diseño de construcción para el biodigestor.

Un biodigestor está compuesto por cuatro partes principales que son:

- Pileta de carga.
- Tanque, que también recibe el nombre de digestor.
- Sistema de extracción y conducción del biogás.
- Pileta de descarga.

### **Pileta de carga:**

A través de la pileta de carga se da el ingreso del estiércol y agua al tanque o digestor de una forma homogénea. Antes de ingresar la mezcla al digestor ésta se deja reposar un tiempo aproximado de dos minutos para que se produzca la sedimentación de materiales como piedras, arena y otro tipo de materiales, previniendo que esto ingresen al tanque produciendo en un futuro azolvamiento

dentro de él. El volumen de la pileta generalmente no posee un gran tamaño y se encuentra a poca profundidad. Se puede incorporar un sistema de rejillas para que retengan los materiales pesados u otros que no deben ingresar al biodigestor.

### **Digestor:**

Éste consiste en un tanque herméticamente cerrado, dando paso a un proceso anaeróbico dentro de este, debido a la fermentación de la mezcla, efectuándose de esa manera la generación de biogás y dejando como residuo lo que se conoce como bioabono. El digestor por lo general se encuentra enterado, conectado en un extremo a la pileta de carga y al otro a la pileta de descarga. La extracción del biogás generado se da en la parte superior del tanque.

### **Sistema de extracción y conducción de biogás.**

Ésta se da por medio de un tubo que lo dirige hasta un tanque de almacenamiento o de forma directa al punto de uso.

La longitud y grosor de tuberías dependerán de la capacidad generada por el biodigestor y del destino de aplicación del biogás. Asimismo las condiciones de almacenamiento pueden efectuarse en bolsas dentro de una guarda protección construida por lo general de madera o en cilindros metálicos. En este punto es importante destacar que se tiene que realizar la limpieza del biogás, a efecto de asegurar que no se dañará ningún equipo metálico.

### **Pileta de descarga.**

A través de esta pila se retira la mezcla que proviene de la digestión anaeróbica, la cual puede servir como bioabono. La pileta de descarga posee una mayor profundidad que el digestor, siendo en la parte de arriba abierta y contando con un ensanchamiento que es conocida como pileta de compensación, facilitando de esa manera la tarea de retirar los efluentes, produciendo de esa manera los

cambios de nivel dentro de digestos para continuar con ciclo en generación de biogás.

### **Procedimiento para la puesta en marcha del biodigestor:**

Una vez construido el biodigestor se procede a realizar la primera carga, la cual deberá ser hasta el nivel del punto de operación para el que está diseñado. Esta primera carga deberá permanecer unos días hasta verificar la generación de biogás. Posteriormente se procede a efectuar cargas de manera diaria con la finalidad de no romper el ciclo de generación.

Además de las partes ya mencionadas, un biodigestor requiere de otros accesorios para que la planta de generación funcione, tales como fuente de agua, zona de recolección de desechos, y la instalación para uso del biogás y del bioabono. También la temperatura y/o condiciones de retención de la materia orgánica son muy importantes a la hora de diseñarlo.

### **Fuente de agua:**

Es recomendable disponer de un depósito de agua que posea como mínimo un medio de la capacidad del digestor en caso se efectuara una relación de uno a uno (material orgánico/agua), para suplir la demanda diaria. La fuente de suministro es independiente siempre y cuando el agua se encuentre libre de jabón, detergentes u otra sustancia que pueda alterar el proceso de fermentación para la generación de biogás. Dentro del biodigestor se puede ingresar el agua utilizada en la limpieza de los establos ya que con ésta se produce la disolución de los desechos permitiendo de esa manera un ahorro en la utilización de agua fresca.

### **Zona de recolección de desechos:**

Es recomendable que la zona de recolección posea una superficie firme y limpia para evitar el acarreo de materiales inertes que al final terminan dentro

digestor azolvándose en el piso. Entre los lugares que reúnen éstas características están los corrales, ya se puede recolectar la mayor parte del estiércol, resultando favorable construir un piso de cemento para lograr las condiciones más apropiadas de recolección (limpieza en seco).

### **Promotores e inhibidores de la fermentación:**

Los promotores son materiales que pueden fomentar la degradación de la materia orgánica y aumentar la productividad del biogás, entre los cuales se pueden mencionar enzimas, sales inorgánicas como urea y carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Cuando se carga el digestor es útil agregar celulosa para promover el proceso y la producción de gas.

La urea y el carbonato de calcio producen buenos resultados. La urea acelera la producción de metano y la degradación del material, el segundo es útil para la generación y aumento del contenido de metano en el biogás.

De acuerdo a Colección de Informes de Vigilancia Tecnológica "Madri+d", los inhibidores son todas aquellas sustancias que inhiben la digestión anaeróbica, en este caso existen una gran cantidad de estas sustancias que pueden afectar la digestión anaeróbica. Entre algunas de estas sustancias, cabe destacar el oxígeno, aunque su efecto inhibitor no es permanente, ya que en la flora bacteriana existen microorganismos que irán consumiendo el oxígeno que pueda tener el medio. Asimismo, si la biomasa es rica en nitrógeno, se puede producir un exceso de amoníaco que inhibe el proceso. Otros inhibidores son los metales pesados, que actúan sobre los microorganismos metano génico. Además, algunas sustancias orgánicas, como antibióticos y detergentes en determinadas concentraciones, pueden inhibir el proceso. Por último, una concentración elevada de ácidos volátiles puede producir un efecto inhibitor.

En la siguiente tabla se representan los valores de concentración inhibidora de los inhibidores más habituales. Estos valores son orientativos, ya que las bacterias se pueden adaptar con el tiempo a las condiciones más desfavorables.

| <b>Inhibidores</b>                                                        | <b>Concentración inhibidores</b> |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| SO <sub>4</sub>                                                           | 5.000 ppm                        |
| NaCl                                                                      | 40000 ppm                        |
| Nitrato(Según contenido de nitrógeno)                                     | 0.05 mg/ml                       |
| Cu                                                                        | 100 mg/l                         |
| Inhibidores                                                               | Concentración inhibidores        |
| Cr                                                                        | 200 mg/l                         |
| Ni                                                                        | 200-500 mg/l                     |
| CN (Después que sean domesticado las baterías metanogénicas a 2-10mg/ml). | 25 mg/l                          |
| ABS (Detergente sintético).                                               | 20-40 mg/l                       |
| Na                                                                        | 3500-5500 mg/l                   |
| K                                                                         | 2500 - 4500 mg/l                 |
| Ca                                                                        | 2500 - 4500 mg/l                 |
| Mg                                                                        | 1000 – 1500 mg/l                 |
| Zn                                                                        | 350 – 1000 mg/l                  |

**Tabla 2.1: Concentración inhibidora de inhibidores comunes.**

Fuente: PA Consulting Group.

### **Instalación para el uso de biogás y bio-abono:**

Cuando se refiere a la instalación para el uso de biogás y bio-abono es básicamente al punto de aplicaciones que se le dará respectivamente a cada una de ellos.

La aplicación para el uso del biogás es:

- ✓ Uso doméstico, como fuente de calor lo cual sustituye leña y gas propano en cocinas y lámparas de cartucho.
- ✓ Para el sistema de refrigeración, como sustituto de los refrigerantes utilizados en los equipos.
- ✓ Operación de Motores de Combustión Interna (MCI), como sustituto de combustibles fósiles (gasolina y diesel).

En el caso del bioabono se producen en tanto en estado sólido y como líquido (biol). El primero se somete a un proceso de compostaje y secado que posteriormente se puede aplicar de forma directa a los campos o pastizales. En el caso del biol este se utiliza como fertilizante foliar.

La cantidad de bioabono producido es proporcional a la carga suministrada diariamente al biodigestor.

El bioabono carece de mal olor y la mayor parte de los microorganismos patógenos han sido eliminados en el proceso anaeróbico.

### 3. Clasificación de los biodigestores

Los biodigestores están definidos por las características de la tecnología, la cual es definida por el flujo, diseño y el material de construcción que se utilizará.

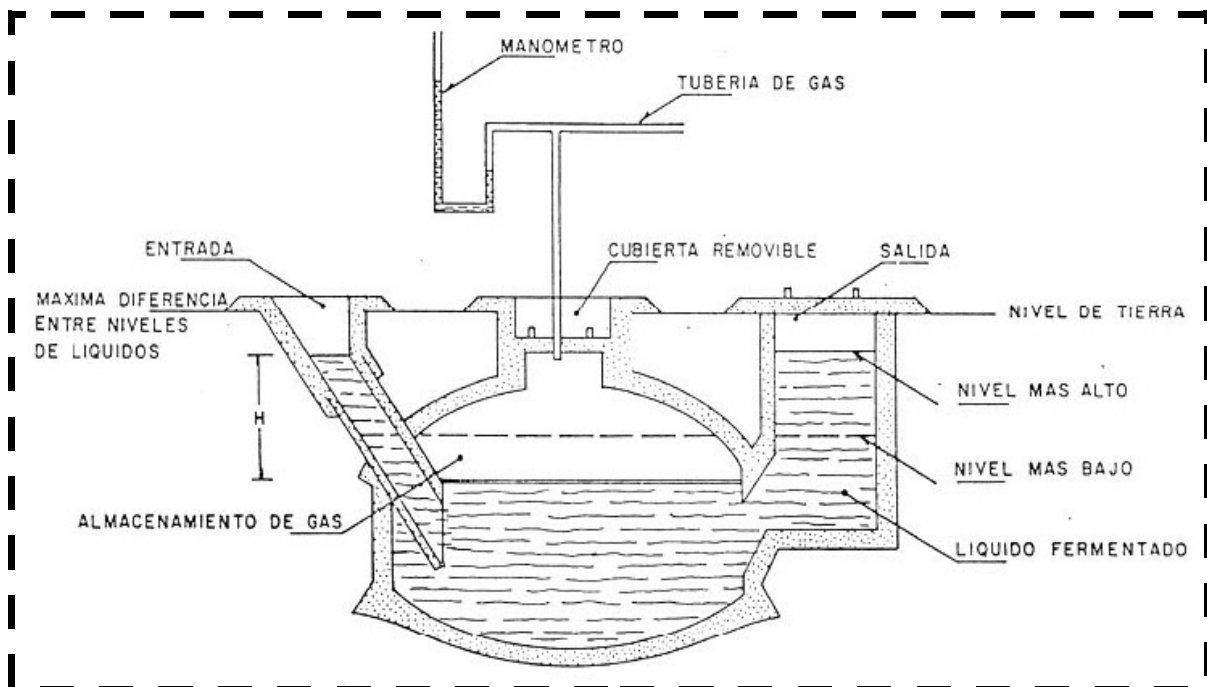
Existen tres grupos de biodigestores debido al tipo de flujo, con características similares de mantenimiento, pero generando resultados diferentes.

#### **a) Biodigestores discontinuos**

Este tipo de digestor es el más usado en el medio rural, cuando se trata de sistemas pequeños para uso doméstico. Los diseños más populares son el hindú y el chino.

### **Biogestor tipo chino:**

Los digestores del tipo chino son recipientes redondos y achatados con el techo y el piso en forma de domo. Se construyen totalmente enterrados y trabajan bajo el principio de hidro-presión, tal como se puede ver en la siguiente figura.



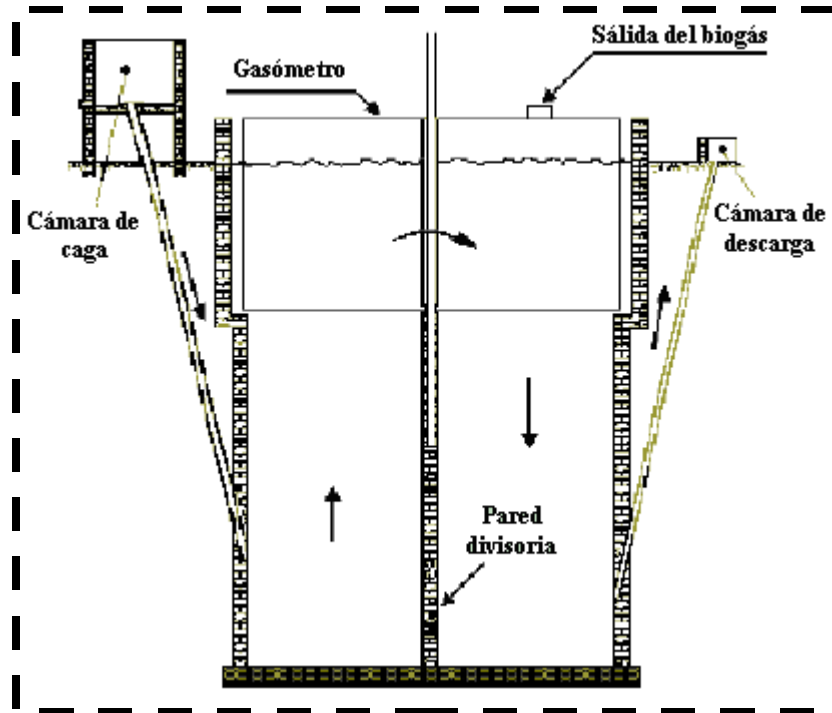
**Figura. 2.2. Esquema de un biodigestor tipo chino**

Fuente: Colegio Alpamayo de Bioagricultura "Casa Blanca"

### **Biogestor tipo hindú:**

De acuerdo a Lugones (2001), éste se distingue por el uso de una campana móvil, que asciende al aumentar la presión del gas dentro de ella; esta puede ser de metal, concreto o plástico. Además, el digestor está compuesto por un tanque de almacenamiento en forma cilíndrica, que puede ser construido de piedra,

ladrillo y concreto. El diseño de este se puede apreciar tal como se muestra en la siguiente figura.



**Figura. 2.3. Esquema de un biodigestor tipo hindú**

Fuente: "Biomasa: alternativa sustentable para la producción de biogás", Universidad de Pinar del Río

### **Ventajas de los biodigestores discontinuos:**

Los biodigestores discontinuos tienen la característica que pueden procesar una gran variedad de material, pudiendo juntarse en campo abierto, aunque en su recolección, ésta contenga elementos como tierra u otro material inerte mezclado, sin que esto afecte su operación. Este tipo de biodigestor admiten cargas secas que no absorban humedad, así como de materiales que flotan en el agua.

Su trabajo en ciclos, los hace especialmente aptos para los casos en que la disponibilidad de materia prima no sea continua, sino periódica. Con respecto a su mantenimiento, no requiere prácticamente ninguna atención diaria.

Entre las principales desventajas se pueden mencionar:

- La carga requiere una considerable y paciente labor.
- La descarga, también tiende a hacer una operación que presenta cierta dificultad.

## **b) Biodigestores continuos**

Son sistemas de gran tamaño, emplean calefacción y agitación y se emplean para procesos industriales, principalmente. Generan gran cantidad de biogás. Entre este tipo de biodigestores tenemos:

- Bolsa
- Laguna
- Cubierta parcial
- Flujo pistón

### **Ventajas de los biodigestores continuos:**

De acuerdo de a la Asociación de Porcicultores de Argentina (2008) los biodigestores continuos permiten controlar la digestión anaeróbica, con el grado de precisión que se quiera. De igual forma permite corregir cualquier anomalía que se presente en el proceso, así mismo permiten manejar las variables relacionadas, carga específica, tiempo de retención y temperatura, siendo la operaciones de carga y descarga, de material a procesar y procesados, de manera fácil no requiriendo de ninguna operación especial Sin embargo, los biodigestores

continuos también tienen ciertas desventajas. Entre las principales desventajas de los biodigestores continuos se pueden mencionar:

- La baja concentración de sólidos volátiles que admiten.
- No poseer un diseño apropiado para tratar materiales fibrosos, o aquellos cuyo peso específico sea menor que el de el agua.
- Problemas de limpieza de sedimentos, espuma e incrustaciones.
- El alto consumo de agua, por lo que al agregado liquido se reduce, con el agregado de orinas de animales, un buen sustituto.

### **c) Biodigestores estacionarios.**

De acuerdo al Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2 de Yucatán, México, sobre la producción de biofertilizante mediante la biodigestion de excretas liquidas, los biodigestores de régimen estacionario son muy utilizados para obtener fertilizante orgánico y consisten en tanques herméticos con una salida de gas. Se cargan una sola vez y se descargan cuando han dejado de generar gas.

Este tipo de biodigestor generalmente se construye en lugares donde existe una baja periodicidad de la producción de desecho o debido a que no se cuenta con una fuente abundante de agua.

## **2.4 Materiales de construcción:**

Por lo general los biodigestores anaeróbicos son fabricados con diferentes materiales, la elección del material a utilizar para su fabricación depende del diseño del biodigestor que se pretende construir y de la disponibilidad local de los mismos. Los materiales más utilizados en la construcción de los biodigestores son:

- Acero inoxidable

- Geomembrana
- Cemento.
- Bolsa.

## 2.5 Selección del biodigestor:

Para uso en granjas, los biodigestores de tipo laguna y de flujo pistón suelen ser los más utilizados debido a su gran versatilidad, capacidad de producción de biogás y la amplia disponibilidad de materiales. Sin embargo, ambos tienen diferencias significativas, las cuales se exponen en la siguiente tabla:

| <b>Característica</b>           | <b>Flujo Pistón</b>                                                                                               | <b>De tipo laguna</b>                                                        |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Espacio necesario</b>        | Relativamente poco<br>(Depende de la capacidad buscada)                                                           | Requiere cierto espacio horizontal                                           |
| <b>Vida útil</b>                | Aproximadamente 5 años                                                                                            | 12 años tiene de vida útil en promedio las geomembranas                      |
| <b>Material de construcción</b> | Concreto, bolsa de polietileno con filtro UV, tubería de PVC                                                      | Concreto, geomembrana, tubería de PVC                                        |
| <b>Mantenimiento necesario</b>  | Limpieza e inspección de toda la bolsa por posibles fugas o rajaduras.<br>Limpieza de piletas de carga y descarga | Limpieza de carga y descarga, inspección de la superficie de geomembrana     |
| <b>Tipo de flujo</b>            | Continuo                                                                                                          | Continuo                                                                     |
| <b>Capacidad</b>                | Baja, se recomienda para granjas con pocos animales, requiere una gran longitud para tener                        | Alta, depende de su área, se recomiendan para granjas con bastantes animales |

| <b>Característica</b>          | <b>Flujo Pistón</b>                                                                                                       | <b>De tipo laguna</b>                                                                       |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                | capacidad                                                                                                                 |                                                                                             |
| <b>Principales ventajas</b>    | Requiere menos espacio, supone una menor inversión inicial                                                                | Menos delicado, y requiere menos mantenimiento y tiene una mayor vida útil, mayor capacidad |
| <b>Principales desventajas</b> | El plástico se puede dañar fácilmente, requiere más inversiones, menor vida útil, se recomienda cercarse, menor capacidad | Supone una mayor inversión inicial,                                                         |

**Tabla 2.2: Comparación entre biodigestores de flujo pistón y laguna.**

En base a los requerimientos de la Hacienda el Sunza, y habiendo analizado las ventajas y desventajas de cada uno de los biodigestores, se selecciona el biodigestor de tipo laguna debido a su mayor capacidad de carga (esto supone una mayor capacidad de generación de biogás), menor mantenimiento y mayor vida útil, a pesar que supone una mayor inversión inicial. Por lo anterior toda referencia a biodigestores a partir de este punto corresponderá al de tipo laguna.

## **CAPITULO III: PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA GANADERÍA**

### **3.1. Información general de Hacienda El Sunza:**

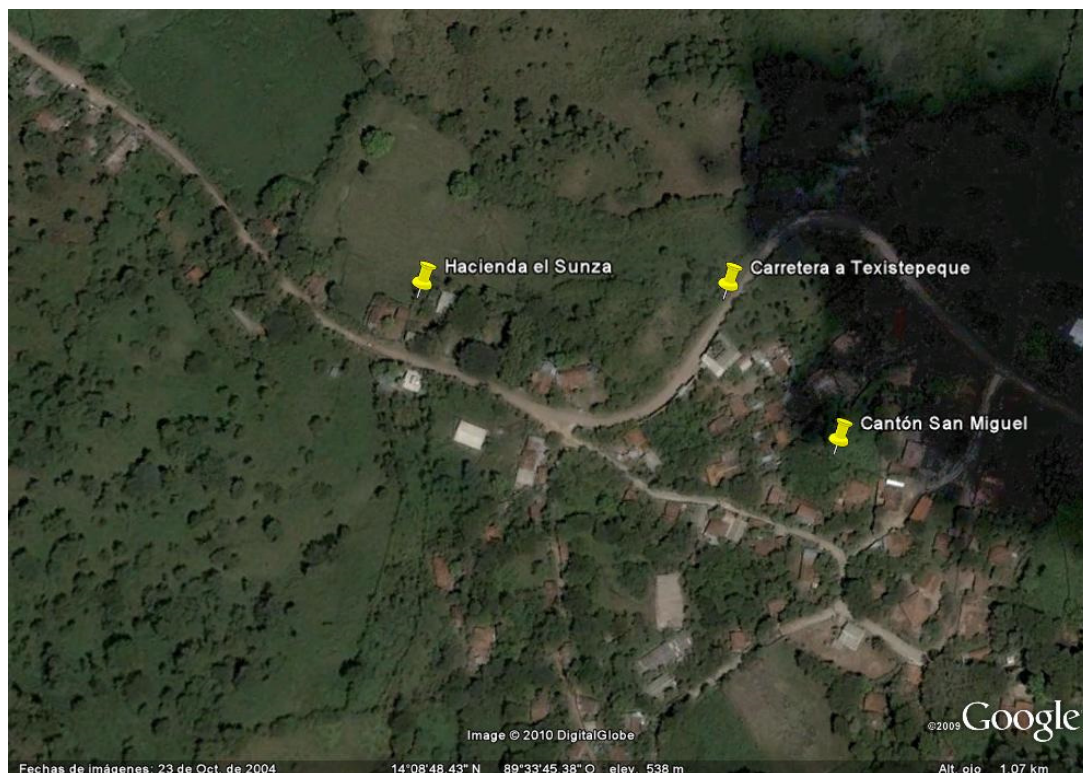
La información general de la ganadería lechera se resume en el siguiente cuadro:

| <b>Datos generales de la Ganadería.</b> |                                                                               |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Propietario</b>                      | Sr. Alexander Ruiz Doratt.                                                    |
| <b>Ubicación</b>                        | Cantón San Miguel, Texistepeque, Dpto. de Santa Ana a 90 kms de San Salvador. |
| <b>Altitud</b>                          | 534 msnm.                                                                     |
| <b>Área total</b>                       | 80 manzanas.                                                                  |

| <b>Datos generales de la Ganadería.</b> |                                                                                                                  |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Sistema de explotación</b>           | Estabulación.                                                                                                    |
| <b>Producción promedio</b>              | 2000 botellas-leche/día                                                                                          |
| <b>Instalaciones existentes</b>         | Sala de ordeño para 12 vacas, corrales para alimentación, área de descanso, área para terneras, bodega, oficina. |
| <b>Pastos existentes</b>                | Sorgo-SS44, Maralfalfa, Estrella.                                                                                |

**Tabla 3.1 Información general de la ganadería**

A continuación se muestra una imagen satelital de la ubicación de la hacienda el Sunza, dentro del cantón San Miguel, Texistepeque.



**Figura. 3.1: Imagen satelital de la Hacienda El Sunza.**

Fuente: Google Earth (2010)

En el anexo A13 se observa de la distribución en planta de la hacienda El Sunza, la cual está compuesta por el establo y la planta procesadora de lácteos.

## 2. Proceso de producción de la ganadería:

Los procesos de producción se puede clasificar como los que se realizan de forma manual hasta los sistemas de hombre-máquina, e incluye los procesos automáticos donde la mano de obra es indirecta o de vigilancia.

## 2.1. Descripción de los procesos.

### **Preparación del concentrado para el ganado.**

Se recibe la materia prima como lo es el maíz amarillo, soya, trigo, melaza, cáscara de maní, afrecho, vitaminas y minerales. Posteriormente se genera el molido del maíz (único insumo que recibe este proceso ya que los demás vienen en presentación de harinas).

Una vez teniendo ya toda la materia prima lista se procede a mezclarse, dicha mezcla se da en términos de proporciones por medio de una tabla alimenticia descrita por el veterinario.

### **Ordeño.**

El proceso de ordeño se realiza de forma mecánica por medio de una maquina ordeñadora. La leche es recolectada en un tanque de acero inoxidable horizontal refrigerado. Al finalizar el ganado se mantiene en la zona de ordeno mientras se efectúa la limpieza del corral.

### **Limpieza del corral.**

Se retira de los comederos el sobrante del pasto picado. Después se procede a la recolección de estiércol, el cual es llevado a la zona de almacenamiento temporal. Una vez retirado la mayor cantidad de éste, se procede al lavado del piso de concreto utilizando agua, para eliminar en su totalidad los residuos de estiércol que se adhieren al piso. Posteriormente esta agua es trasladada a través de una canaleta depositándose en la zona de almacenamiento temporal de estiércol.

### **Picado de pasto.**

Diariamente se corta pasto fresco el cual es introducido en una picadora. El pasto ya picado se recolecta en sacos para posteriormente suministrarlo al ganado como fuente de alimento.

Una vez finalizada la tarea de limpieza y picado de pasto, el ganado es trasladado al corral, para que este pueda descansar y seguir alimentándose, esta vez a través de pasto picado que es depositado en los comederos.

En el anexo A14 se puede visualizar la distribución en planta de la ganadería El Sunza.

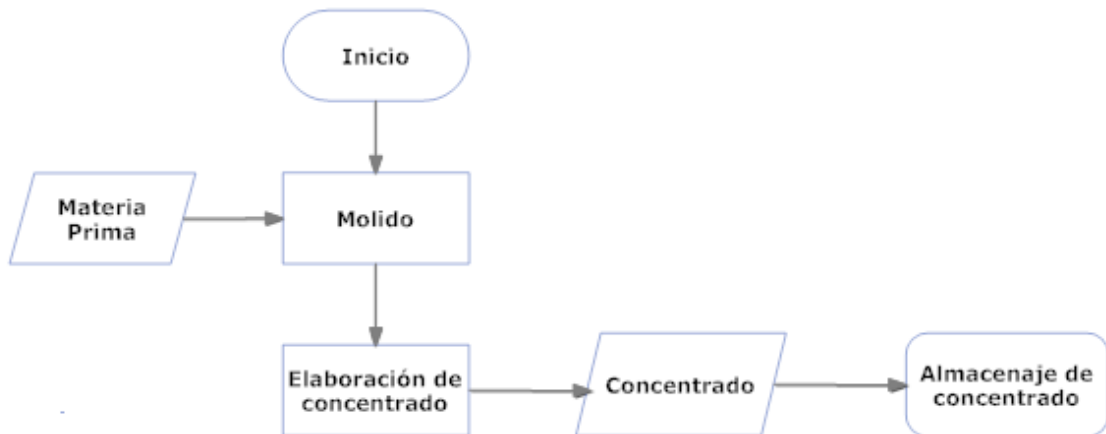
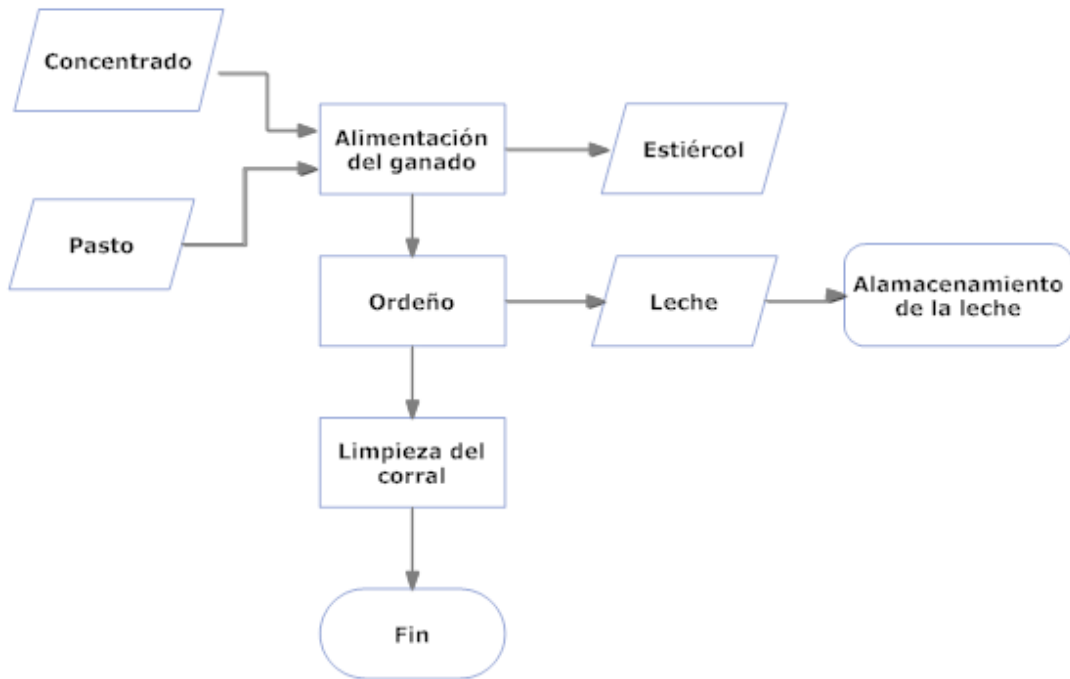
## 2.2. Maquinaria y equipo.

Es el siguiente cuadro se resumen las cantidades y características de la maquinaria instalada dentro de la ganadería de la hacienda el Zunsa.

| <b>Maquinaria</b>                                         | <b>Cantidad</b> | <b>Capacidad</b> | <b>Dimensiones (A x L x H)</b> | <b>Características</b>                    |
|-----------------------------------------------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Molino de martillo.</b>                                | <b>1</b>        | 16 qq / hora     | N/A                            | 7.5 hp, 230 volt, 31 Amp, 1725 rpm.       |
| <b>Mezcladora horizontal</b>                              | <b>1</b>        | 16 qq / hora     | N/A                            | 7.5 hp, 230 volt, 31 Amp, 1725 rpm.       |
| <b>Tanque de acero inoxidable horizontal refrigerado.</b> | <b>1</b>        | 2,525 Litros     | 1546 mm x 1857 mm x 1460 mm    | R134a, 4 hp.                              |
| <b>Ordeñadora.</b>                                        | <b>1</b>        | 35 litros / min. | N/A                            | 5 hp, 330 volt, 20.6 Amp, 1725 rpm.       |
| <b>Picadora de pasto.</b>                                 | <b>1</b>        | 16 qq / hora.    | N/A                            | 7.5 hp, 230 volt, 31 Amp, 1725 rpm.       |
| <b>Bomba de agua.</b>                                     | <b>3</b>        | N/A              | N/A                            | 2 hp, 230 volt, 19.2 / 9.6 Amp, 3450 rpm. |

**Tabla 3.2 Información general de la maquinaria de la ganadería**

### 2.3. Diagrama de flujo de la ganadería.



### **Figura 3.2 Diagrama de flujo de la ganadería.**

#### **3. Proceso de producción de la planta procesadora de lácteos:**

En la producción de la planta procesadora de lácteos, se debe cumplir con estrictas normas de higiene y calidad en cada uno de los procesos que a continuación se describen. En el anexo A15, se observa dentro la distribución en planta de la procesadora de lácteos, el orden de los procesos de producción.

##### **3.1. Descripción de los procesos.**

El proceso de la elaboración de queso, con lleva una serie de pasos en los cuales deberá existir un estricto control en el desarrollo de éstos. Debiendo realizarse en el siguiente orden.

###### **1. Recepción de leche de la ganadería.**

El proceso productivo se inicia desde el momento que ingresan las materias primas en la planta para la elaboración del queso, siendo la principal la leche. De la misma manera en ese momento se procede a documentar la cantidad leche recibida a procesar de forma diaria.

###### **2. Análisis de la Leche.**

Para garantizar que el producto esté sano y sea seguro para su consumo, toda la leche involucrada en el proceso de producción debe ser analizada y deberá cumplir con los lineamientos de calidad estipulados.

La leche se analizará verificando los siguientes aspectos:

- Apariencia y olor
- Contenido de células somáticas
- Contenido de residuo antibiótico
- Contenido de la tasa bacteriana

El origen de la mala calidad de una leche puede obedecer a las siguientes causas:

- Ordeño en malas condiciones higiénicas.
- Enfermedades de las ubres, sobre todo mastitis.
- Colocación de la leche en depósitos deficientemente lavados.
- Colocación los depósitos con leche en lugares inadecuados, expuestos a excesiva temperatura o a la incidencia directa de los rayos UV.

### **3. Rechazo.**

Si la leche analizada no cumple con los valores mínimos establecidos, se catalogará como de "Baja o Mala Calidad" y no se deberá utilizar en la elaboración de quesos.

### **4. Pasteurización.**

Este proceso consiste en calentar la leche a temperaturas específicas por tiempos predeterminados. Este procedimiento destruye los microorganismos patógenos indeseables como la E. coli o la listeria monocytogenes. La pasteurización también previene que estos microorganismos interfieran con las cepas de cultivo, asegurando la calidad y la seguridad para el consumo del producto final.

### **5. Descremado.**

Al finalizar el proceso de pasteurización, la leche pasa a través de las descremadoras. Estas se encargan de separar la grasa y la nata producida por la leche. De acuerdo con el contenido de materia grasa de la leche, se puede obtener entre el 10 y el 20% de crema.

### **6. Coagulación.**

Posteriormente al descremado de la leche, esta se deposita en tinas donde es provocada la coagulación. La coagulación es el proceso en que las proteínas se vuelven insolubles y se solidifican, transformando a la leche en una sustancia semi-sólida y gelatinosa. La elaboración de quesos se enfoca a la coagulación de la caseína. El cuajo es la enzima que coagula la leche.

### **7. Corte de la Masa Cuajada.**

Una vez finalizado el proceso de coagulación de la leche, se debe de introducir el bulbo de un termómetro en la masa cuajada. Posteriormente deberá ser retirado lentamente, observando que la masa cuajada debe hender inmediatamente y formar una especie de ojal. La hendidura debe ser pronunciada y lisa. El suero que exude en este lugar no ha de contener partículas de caseína. De lo contrario indicara una coagulación incompleta.

Ya habiendo verificado la coagulación de la leche, se procede a efectuar el corte de esta, la cual se lleva acabo siguiendo los siguientes pasos:

- La lira se introduce verticalmente en un rincón de la cuba paralela a la cabecera, cuidando no romper la cuajada.
- Se deberá sostener la lira vertical y se le moverá hacia el otro lado a lo largo de la tina, raspando el fondo de la cuba. Al llegar al otro lado, se retira la lira y se introducirá otra vez desplazándola sobre su anchura y traspasando una parte del trayecto ya cortado. Así se sigue cortando toda la cuajada en plano horizontal.

### **8. Desuerado.**

El desuerado consiste en eliminar el suero. Para esto, se somete la leche cuajada a varias operaciones. La primera es el corte. El coágulo tiene la propiedad

de contraerse, expulsando el líquido que está encerrado en la red formada por la caseína coagulada. A este fenómeno se le conoce con el nombre de sinéresis.

El desuerado se debe favorecer por la fragmentación del coágulo, la agitación de la cuajada cortada, el calentamiento de la masa y el prensado de la cuajada escurrida. La elevación de la temperatura favorece en alto grado la sinéresis de la cuajada. Posteriormente la masa es calentada y agitada constantemente para que el calentamiento se de forma uniforme. Cuanto más se eleva la temperatura, tanto más se deshidrata la cuajada, lo que resulta en una pasta más firme. Para la elaboración de quesos, la cuajada se calienta entre 45°C y 55°C.

Una vez extraído el suero este es llevado a la ganadería donde es incluido en la dieta del ganado en su alimentación.

## **9. Moldeado.**

La cuajada escurrida del suero se pasa a los moldes acondicionados a la temperatura de la cuajada. Los moldes están debidamente esterilizados y almacenados en lugares libres de polvo, para evitar la contaminación. En el caso de la elaboración de quesos, la cuajada se envuelve en una tela de malla fina y el conjunto se pone en el molde.

Como la cuajada al ser prensada suele perder entre 30 y 40% de su volumen, el llenado de los moldes con ella, se debe hacer de manera que ésta sobrepase unos 2 centímetros la altura de los bordes de cada tipo de molde. La altura del molde es 2 a 3 veces mayor que la del queso terminado, porque el desprendimiento del suero reduce el volumen de la masa.

## **10. Prensado.**

Las finalidades del prensado son por demás concretas: desuerar, formar corteza y dar forma al queso. Para eso los moldes son colocados en una prensa neumática horizontal.

El proceso se inicia ejerciendo una presión suavemente con 2 o 3 kg/kg de queso, dejándolos así 15 minutos aproximadamente. Después se repasarán uno a uno escurriendo los paños; luego se aumenta la presión a 8 o 9 kg/kg de queso. Transcurrida una hora, se aumenta la presión un par de kg adicionales. A las dos horas, se quitan las telas y se aumenta la presión, dejándola así otras 7 horas más, lo que totaliza unas 10 horas bajo los efectos de las prensas.

## **11. Desmoldado**

Una vez finalizado el proceso de prensado, estos se desmontan de las prensas y se procede a extraer los quesos de los moldes de forma manual.

## **12. Salado.**

Posteriormente al desmoldado de los quesos estos pasan al proceso de salado. Esta operación consiste en tenerlos sumergidos con salmuera en la tina de concreto, manteniéndoles así entre 12 y 24 horas o un poco más, según el tamaño, y hasta el punto que se vea que han adsorbido bien la sal.

Con esta operación se obtienen tres cosas. Por una parte, se logra un desuerado más perfecto, como consecuencia de la facultad que la sal tiene de absorber la humedad; por otra, se mejora la fermentación y finalmente, la sal proporciona al queso un sabor más grato, conforme al gusto normal de las gentes. El salado en salmuera es el utilizado dentro de la planta, siendo el método más común, garantizando así la distribución uniforme de la sal en el queso.

### **13. Maduración.**

El curso de la maduración depende del tamaño de los quesos, del contenido acuoso y de la acidez. La temperatura de maduración es entre 12 y 20°C. La humedad del aire debe ser alrededor de 90%.

Durante la maduración, los quesos se deben invertir con frecuencia para que adquieran una buena forma y se oreen uniformemente.

En el desarrollo del proceso de maduración se deberá observar lo siguiente:

- Que los quesos al madurar den al tacto de los dedos sensación de humedad, algo pegajoso y cuyo color se mantenga en amarillo marrón.
- La parte exterior no se debe mantener de color blanco y aún menos formar pasta de este color. Tampoco debe dar al tacto la sensación de sequedad total.
- El defecto de formar una pasta blanca se debe a un desasuerado defectuoso del queso, que pudo haber sucedido por enfriamiento prematuro de las piezas en sus moldes o también por haber empleado leche poco madurada.
- Estos defectos se evitan alargando un poco el tiempo de la cuajada y cubriendo los moldes con géneros limpios y secos, bien lavados, y llenos con la masa de la que ha de formarse el queso.

### **14. Empacado.**

El queso elaborado se puede empacado para protegerlo contra agentes externos como el polvo y la suciedad o contra la desecación. Pero, en el caso de quesos de cuajada enzimática, la envoltura debe permitir que continúe la

maduración. Los quesos de pasta dura y firme muchas veces se comercializan sin envolver, pero se cubren materiales plásticos antes o después de la maduración. Posteriormente los quesos son pesados, anotando su resultado para el control y empacados.

### 3.2. Maquinaria y equipo.

Es el siguiente cuadro se resumen las cantidades y características de la maquinaria instalada dentro de la planta procesadora de lácteos de la hacienda el Sunza.

| <b>Maquinaria</b>                         | <b>Cantidad</b> | <b>Capacidad</b>     | <b>Dimensiones</b>                              | <b>Características</b>                                                                                                                                |
|-------------------------------------------|-----------------|----------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Tanque de almacenamiento de leche.</b> | 1               | 10,000 Litros        | 1800 mm x<br>4000 mm<br>(D x L)                 | Agitador: 7.5 hp, 220 Volt.                                                                                                                           |
| <b>Pasteurizador.</b>                     | 1               | 2000 Litros/<br>hora | 3300mm x<br>2200 mm x<br>2200 mm<br>(A x L x H) | Temperatura de entrada: 4 °C – 20 °C.<br><br>Temperatura de pasteurización: 75 °C<br><br>Temperatura de salida: 4 °C<br><br>Tiempo de retención: 15 s |

| <b>Maquinaria</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Capacidad</b> | <b>Dimensiones</b> | <b>Características</b> |
|-------------------|-----------------|------------------|--------------------|------------------------|
|-------------------|-----------------|------------------|--------------------|------------------------|

Potencia: 24.7 kW.

|                     |   |                  |  |                             |
|---------------------|---|------------------|--|-----------------------------|
| <b>Descremadora</b> | 2 | 1000 litros/hora |  | 2.24 kW, 220 volt, 7200 rpm |
|---------------------|---|------------------|--|-----------------------------|

**Tinas**

|                                              |   |                  |                                 |                                          |
|----------------------------------------------|---|------------------|---------------------------------|------------------------------------------|
| <b>queseras abiertas en acero inoxidable</b> | 4 | 4000 Litros/hora | 5 m x 1.6 m x 0.5 m (L x A x P) | Construidas en acero inoxidable AISI 304 |
|----------------------------------------------|---|------------------|---------------------------------|------------------------------------------|

**Tina para saladero manual**

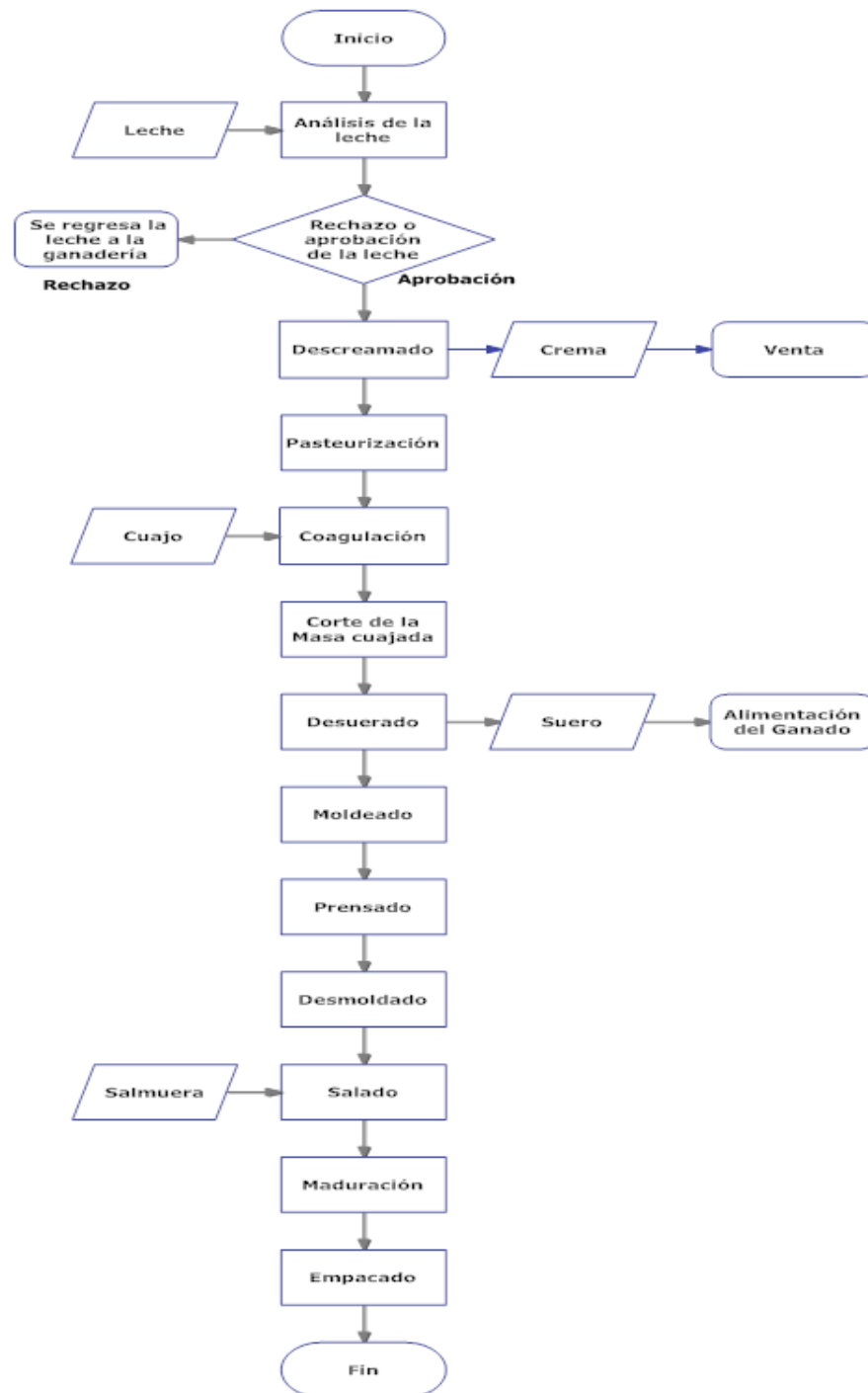
|  |   |                  |                                 |                                          |
|--|---|------------------|---------------------------------|------------------------------------------|
|  | 1 | 4000 litros máx. | 5 m x 1.6 m x 0.5 m (L x A x P) | Construidas en acero inoxidable AISI 304 |
|--|---|------------------|---------------------------------|------------------------------------------|

**Prensa horizontales neumáticas.**

|  |   |                          |  |                                                         |
|--|---|--------------------------|--|---------------------------------------------------------|
|  | 2 | 78 moldes de 5 kg aprox. |  | 3 hileras.<br>Presión requerida:<br>80 psi. Por pistón. |
|--|---|--------------------------|--|---------------------------------------------------------|

| Maquinaria          | Cantidad | Capacidad | Dimensiones                                         | Características                           |
|---------------------|----------|-----------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Cuarto frio.</b> | 1        |           | 2.60 m x 2.39 m x 2.30 m<br>(Largo x ancho x alto). | 0.7 kW, 230 V, + 5 °C a 5 °C, R22.        |
| <b>Compresor:</b>   | 2        | 28 gal.   |                                                     | 18.6 l / s, 145 psi máx. 11 kW, 86 db(A). |

### 3.3. Diagrama de flujo de la planta procesadora de lácteos



**Figura 3.3 Diagrama de la etapa I de la planta procesadora de lácteos**

## **CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA**

En la sección 2.5 del capítulo II, se llegó a la conclusión que la implementación del biodigestor tipo laguna es la más conveniente. A partir de esto se plantean las metodologías para el dimensionamiento del biodigestor, análisis económico y estimación de la reducción en las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) al ambiente.

### **4.1. Diseño del tipo de biodigestor a implementar:**

El diseño de un biodigestor se determina a partir de la disponibilidad de la materia prima (estiércoles), condiciones topográficas y materiales disponibles en la zona de se implementará el sistema.

Uno de los puntos críticos para determinar el potencial de generación de biogás es la disponibilidad de estiércol, en este caso de ganado lechero el cual puede determinarse a partir de los siguientes factores:

- Edad
- Etapa
- Peso
- Número de animales por etapa

### **Calculo de la densidad del estiércol.**

A partir de diferentes muestras tomadas dentro de un recipiente cilíndrico cuyas dimensiones son de 0.16 m de diámetro y 0.18 m de alto, junto a una balanza colgante con una capacidad máxima de 22 kg.

| Masa de la muestra (kg) | Volumen del recipiente (m <sup>3</sup> ) | Densidad (kg /m <sup>3</sup> ) |
|-------------------------|------------------------------------------|--------------------------------|
| 5.49                    | 0.0036                                   | 1516.95                        |
| 4.09                    | 0.0036                                   | 1130.11                        |
| 3.65                    | 0.0036                                   | 1008.53                        |
| 4.77                    | 0.0036                                   | 1318.00                        |
| <b>Densidad Prom =</b>  |                                          | <b>1243.40</b>                 |

**Tabla: 4.1. Calculo de la densidad promedio de la muestra de estiércol.**

Para realizar los cálculos, se utilizará la siguiente tabla:

| Categoría           | N° anim. | Peso prom. (kg.) | Peso total (kg.) | Estiércol por cabeza (kg.) | Densidad [kg/m <sup>3</sup> ] | Estiércol l por cabeza (m <sup>3</sup> ) | Total estiércol producido (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------|----------|------------------|------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Vacas ordeño        |          |                  |                  |                            |                               |                                          |                                             |
| Vacas horras        |          |                  |                  |                            |                               |                                          |                                             |
| Novillas cargadas   |          |                  |                  |                            |                               |                                          |                                             |
| Novillas por cargar |          |                  |                  |                            |                               |                                          |                                             |
| Terneras            |          |                  |                  |                            |                               |                                          |                                             |
| Terneras cuna       |          |                  |                  |                            |                               |                                          |                                             |
| Terneros            |          |                  |                  |                            |                               |                                          |                                             |
| <b>Total</b>        |          |                  |                  |                            |                               |                                          |                                             |

**Tabla: 4.2. Estimación de volumen de estiércol fresco diario**

De acuerdo al Manual de Construcción y Operación Planta de Biogás del Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial, el estiércol fresco tiene por lo general entre 18 y 20 % de sólidos totales, por lo que en general se mezcla con agua en una relación 1:1. Por lo tanto el volumen de la carga diaria está compuesto por volúmenes iguales de estiércol y agua.

$$V_e V_a = 1 \quad (\text{Ec.4. 1})$$

Por lo tanto se puede expresar la siguiente ecuación para determinar el volumen de la carga:

$$V_c = V_e + V_a \quad (\text{Ec.4. 2})$$

Pero:

$$V_e = V_a \quad (\text{Ec.4. 3})$$

Por lo que:

$$V_c = 2V_e \quad (\text{Ec.4. 4})$$

En donde:

**V<sub>c</sub>**: Volumen de la carga

**V<sub>e</sub>**: Volumen de estiércol diario

**V<sub>a</sub>**: Volumen a agua necesario diaria

Una vez obtenido el volumen total en metros cúbicos se procederá a efectuar el cálculo del volumen neto del biodigestor a través de la siguiente ecuación:

$$V_D = V_c * 30 \quad (\text{Ec.4.5})$$

**VD:** Volumen neto del digestor

**V<sub>c</sub>:** Volumen de la carga

Nota: El factor a multiplicar por V<sub>c</sub> es asumiendo un periodo de retención de 30 días, esto debido al clima cálido imperante en la región centroamericana.

Una vez conocido el valor de VD se procederá a determinar las dimensiones del biodigestor. Para ello se evaluarán como opciones el biodigestor tipo laguna y el biodigestor del tipo flujo pistón.

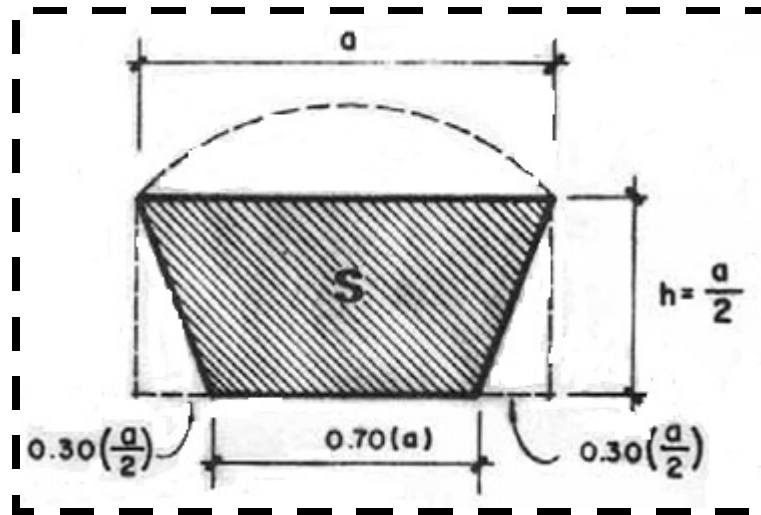
Para ambos tipos de biodigestores es necesario construir una pileta, el volumen de la pileta deberá ser dimensionada debido al valor de la carga por medio de la siguiente ecuación:

$$V_{pp} = 1.10 V_c \text{ (Ec.4.6)}$$

**V<sub>pp</sub>:** Volumen de la pileta.

#### 4.1.1. Diseño de biodigestor tipo laguna.

De acuerdo al Manual de Construcción y Operación Planta de Biogás, Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial, el biodigestor de laguna deberá ser construido con una pendiente de 10% en el piso y de 30% para las paredes de ésta. Todo lo anterior, con la única finalidad de evitar la adherencia de los desechos. La siguiente figura presenta el esquema de diseño:



**Figura.4.1. Vista de corte transversal de un biodigestor tipo laguna**

Fuente: "Manual de Construcción y Operación de Plantas de Biogás", Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial"

Donde:

**a:** ancho superior del biodigestor.

**L:** Longitud media.

**h:** profundidad media.

**S:** Área de sección media.

A través de las siguientes ecuaciones, se determinarán las dimensiones de la laguna.

$$L=3a \quad (\text{Ec.4. 7})$$

$$h=a^2 \quad (\text{Ec.4. 8})$$

$$S=0.425 a^2 \quad (\text{Ec.4. 9})$$

$$VD=1.275a^3 \quad (\text{Ec.4. 10})$$

El valor del ancho superior del biodigestor se determina a partir ecuación anterior. Despejando el valor de a obtenemos:

$$a=3VD1.275 \quad (\text{Ec. 4.11})$$

#### 4.2. Cálculo de los índices económicos/financieros.

Para hacer el estudio de factibilidad económica de las distintas alternativas que serán propuestas en el capítulo VI, se hará uso de una tabla de flujo de fondo proyectada para cinco años, como la que se observa a continuación.

| Flujo de Fondos Alternativa uno |                 |      |      |      |      |      |
|---------------------------------|-----------------|------|------|------|------|------|
| Concepto                        | 2010<br>(año 0) | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
| Ahorro proyectado               |                 |      |      |      |      |      |
| Costos de operación             |                 |      |      |      |      |      |
| Utilidad de operación           |                 |      |      |      |      |      |
| (-) Depreciación                |                 |      |      |      |      |      |
| Utilidad antes de impuesto      |                 |      |      |      |      |      |
| Impuesto del 25%                |                 |      |      |      |      |      |
| Utilidad después de impuesto    |                 |      |      |      |      |      |
| (+) Depreciación.               |                 |      |      |      |      |      |
| Inversión                       |                 |      |      |      |      |      |
| Valor de rescate.               |                 |      |      |      |      |      |
| Flujo de Fondos                 |                 |      |      |      |      |      |

**Tabla4.3: Flujo de Fondo**

La evaluación del flujo de caja proyectado para cinco años, se llevara a cabo aplicando las siguientes técnicas de evaluación.

#### V.A.N (Valor Actual Neto)

Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. De acuerdo a Blank y Tarquin (2004), la metodología consiste en trasladar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa de descuento) todos los ~~flujos de caja~~ flujos de caja futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto.

La fórmula que permite calcular el Valor Actual Neto es:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (\text{Ec.4. 13})$$

En donde:

**V<sub>t</sub>**: representa los flujos de caja en cada periodo t.

**I<sub>0</sub>**: es el valor del desembolso inicial de la inversión.

**n**: es el número de períodos considerado.

**K**: es la tasa de interés.

La tasa de interés en este caso, es conocida como Tasa de Rentabilidad Mínima Aceptable (TREMA), la cual está compuesta por la tasa libre de riesgo (predicción de la inflación) y la tasa de premio al riesgo.

$$TREMA = \text{Inflación} + \text{Premio al riesgo}$$

No existe una metodología exacta o regla para calcular la inflación, solamente predicciones. En cuanto al premio al riesgo, este queda a criterio del inversionista en aunque en general, mientras más grande sea la inversión, mayor es el premio al riesgo.

Si un proyecto de inversión tiene un VAN positivo, el proyecto es rentable. Entre dos o más proyectos, el más rentable es el que presente un valor de VAN más alto.

## **T.I.R. (Tasa Interna de Retorno)**

Se denomina Tasa Interna de Rentabilidad (T.I.R.) a la tasa de descuento que hace que el Valor Actual Neto (V.A.N.) de una inversión sea igual a cero. (V.A.N. =0).

$$\mathbf{VAN= \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0=0} \quad (\text{Ec.4. 14})$$

Este método considera que una inversión es aconsejable si la T.I.R. resultante es igual o superior a la tasa exigida por el inversor, y entre varias alternativas, la más conveniente será aquella que ofrezca una T.I.R. mayor.

Según Baca Urbina (2003), la T.I.R. es un indicador de rentabilidad relativa del proyecto, por lo cual cuando se hace una comparación de tasas de rentabilidad interna de dos proyectos no tiene en cuenta la posible diferencia en las dimensiones de los mismos. Una gran inversión con una T.I.R. baja puede tener un V.A.N. superior a un proyecto con una inversión pequeña con una T.I.R. elevada.

## **Análisis de Sensibilidad**

Un análisis de sensibilidad toma en cuenta los cambios que se producen en el VAN o la TIR ante cambios en una variable del proyecto asumiendo que el resto de variables permanece constante. Un ejemplo puede ser las variaciones en los precios del gas propano, la variación en los precios de los concentrados para las vacas, etc.

## **Depreciación**

Para la evaluación económica se utilizará la depreciación en línea recta, en la cual, se supone que el activo se desgasta por igual durante cada periodo contable.

El modelo en línea recta es un método de depreciación utilizado como el estándar de comparación para la mayoría de los demás métodos. Según White y Case (2001), obtiene su nombre del hecho de que el valor en libros se reduce linealmente en el tiempo debido a que la tasa de depreciación es la misma cada año, es 1 sobre el periodo de recuperación. La depreciación anual se determina multiplicando el costo inicial menos el valor de salvamento estimado por la tasa de depreciación  $d$ , que equivale a dividir por el periodo de recuperación  $n$ , en forma de ecuación:

$$D = P - VSd = (P - VS)/n \quad (\text{Ec.4.16})$$

Donde:

**D:** cargo anual de depreciación

**P:** costo inicial o base no ajustada

**VS:** valor de salvamento estimado

**D:** tasa de depreciación (igual para todos los años)

**n:** periodo de recuperación o vida depreciable estimada

#### 4.3. Estimación de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>:

Para el análisis de la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector pecuario se determinará a partir de la ecuación tomada del Panel Intergubernamental del cambio climático, (por sus siglas en inglés, IPPC).

$$CH_4 = S.V.x Hx 365 \text{ días/año}x(Bo \quad x 0.67\text{kgCH}_4\text{m}^3\text{CH}_4\text{x MCF}) \quad (\text{Ec.4.17})$$

Donde:

**CH<sub>4</sub>:** Emisiones de metano estimadas, tomadas del estiércol de la ganadería, en Kg de CH<sub>4</sub> por año.

**S.V.:** Promedio diario de la tasa de excreción de sólidos volátiles en la ganadería, en Kg de sólidos volátiles por animal / día. Por categoría.

**H:** Número de animales en la ganadería por categoría

**Bo. :** Capacidad máxima de producción de CH<sub>4</sub>, en Kg de CH<sub>4</sub> por Kg de S.V.

**MCF:** Factor de conversión de metano para el sistema de estiércol para un clima específico.

**0.67:** factor de conversión de m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> a kilos de CH<sub>4</sub>

Las emisiones de Metano dependerán mucho de la cantidad de estiércol generada así como su composición. Para esto, distintas partes del mundo se han hecho estudios para sacar valores promedio de sólidos totales, sólidos volátiles (S.V.), Demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), total de estiércol y porcentaje de humedad (% de humedad). En la siguiente tabla se muestran valores para las distintas categorías de ganado vacuno según la Asociación Americana de Ingenieros Agrónomos (ASAE por sus siglas en ingles).

| Tipo de animal y producción por grupo | Sólidos totales           | Sólidos volátiles | DQO | DBO   | Total de estiércol |              | Humedad |
|---------------------------------------|---------------------------|-------------------|-----|-------|--------------------|--------------|---------|
|                                       | Kg / animal por día (d-a) |                   |     |       | Kg / d-a           | litros / d-a | % peso  |
| Vaca lactante                         | 8.9                       | 7.5               | 8.1 | 1.3   | 68                 | 68           | 87      |
| Vaca horra                            | 4.9                       | 4.2               | 4.4 | 0.626 | 38                 | 38           | 87      |
| Ternero lactante                      |                           |                   |     |       |                    |              |         |
| Ternero                               | 1.4                       |                   |     |       | 8.5                | 8.5          | 83      |
| Novilla                               | 3.7                       | 3.2               | 3.4 | 0.54  | 22                 | 22           | 83      |
| Ternera                               | 0.12                      |                   |     |       | 3.5                | 3.5          | 96      |

**Tabla: 4.4. Propiedades típicas del estiércol de ganado vacuno para propósitos de estimación**

Fuente: Asociación Americana de Ingenieros Agrónomos, por sus siglas en inglés (ASAE)

La estimación de CH<sub>4</sub> se efectuará para cada una de las etapas, así como el valor de SV, los datos de Bo y CFM los obtenemos de las siguientes tablas. (Ver anexo B4)

Una vez obtenido el valor de CH<sub>4</sub> para cada etapa de producción, se procederá a determinar las toneladas equivalentes de CH<sub>4</sub> a CO<sub>2</sub>, a través de la siguiente ecuación de las directrices del IPCC.

$$\text{TonCO2 eq} = [\text{Produccion de CH4[kg/año]} * 21 \text{ TonCO2/TonCH4}] 1000 \text{ [kgton]} \quad (\text{Ec.4.18})$$

Donde:

**21:** Factor de conversión Ton CH<sub>4</sub> a CO<sub>2</sub>

**1000:** Factor de conversión de kgs a tonelada métrica.

#### 4.3.1 Producción de CO<sub>2</sub> por quema de CH<sub>4</sub>.

$$\text{TonCO2} = \text{PCH4} \times \text{PCCH4} \times \text{Factor de Emision de CO2} \times 1.0\text{E-9} \quad (\text{Ec.4.19})$$

Donde:

**P<sub>CH4</sub>:** Producción de total de metano.

**PC<sub>CH4</sub>:** Poder calorífico del metano (50, 050 Kj / Kg es el poder calorífico inferior del metano; Zengel y Boles, 2006)

**1.0E<sup>-9</sup>:** Factor para conversión de Tj a Kj.

Según la IPCC, el factor de emisión de CO<sub>2</sub> por la quema de gas natural cuya composición es del 96 % metano es de **55.5 Ton CO<sub>2</sub> / TJ**

Para calcular la disminución en las emisiones de CO<sub>2</sub>, se realiza a través de la resta de las toneladas equivalentes de CH<sub>4</sub> a CO<sub>2</sub>, menos producción de CO<sub>2</sub> por quema de CH<sub>4</sub>:

$$\text{TonCO}_2 \text{ eq} - \text{TonCO}_2 = \text{Disminucion de emisiones} \quad (\text{Ec.4.20})$$

## **CAPÍTULO V: EVALUACIÓN ENERGÉTICA**

### **5.1. Estimación de producción de biogás en la ganadería lechera:**

Con base en la cantidad y etapa de animales presentes en la ganadería, se presenta en la tabla 5.1 el calcula la cantidad diaria en peso y volumen de biogás y su respectiva composición de metano. Para esto, se tomaron las siguientes condiciones:

- Total de estiércol diario: 8% del peso corporal (Ávila Téllez, s.f.)
- Sólidos Totales = 16% del estiércol total (asumiendo un 84% de humedad, promedio de tablas de la Sociedad Americana de Ingenieros Agrónomos por sus siglas en inglés - ASAE, ver Anexo B.13)
- Sólidos volátiles (S.V.):80% de sólidos totales (ASAE, 2005)
- Relación de producción de biogás: 0.1 kg de CH<sub>4</sub> por kg de S.V. (Latinoamérica según IPCC, 2006)
- 0.67 kg de biogás = 1m<sup>3</sup> de biogás
- Los valores de DBO y DQO fueron aproximaciones de acuerdo a los valores en encontrados en las tablas del ASAE (Ver Anexo B.13)
- Composición de CH<sub>4</sub> en el biogás = 65% (Textoscientíficos, 2005)

| Tipo de animal      | # animales | Sólidos totales (kg/animal-día) | Sólidos volátiles (kg/animal-día) | DQO (kg/animal-día) | DBO (kg/animal-día) | Total Estiércol | B <sub>o</sub> | Producción de metano [kg] | Producción de CH <sub>4</sub> [m <sup>3</sup> ] | Producción de Biogás [m <sup>3</sup> ] |
|---------------------|------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------|----------------|---------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Vacas ordeño        | 77         | 6.5                             | 5.2                               | 5.616               | 0.95472             | 40              | 0.1            | 24.02                     | 35.86                                           | 55.16                                  |
| Vacas horras        | 3          | 6.5                             | 5.2                               | 5.616               | 0.95472             | 40              | 0.1            | 0.94                      | 1.4                                             | 2.15                                   |
| Novillas cargadas   | 19         | 4.1375                          | 3.31                              | 3.5748              | 0.607716            | 25.45           | 0.1            | 3.77                      | 5.63                                            | 8.66                                   |
| Novillas por cargar | 12         | 1.75                            | 1.4                               | 1.512               | 0.25704             | 10.91           | 0.1            | 1.01                      | 1.5                                             | 2.31                                   |
| Terneras            | 9          | 0.8875                          | 0.71                              | 0.7668              | 0.130356            | 5.45            | 0.1            | 0.38                      | 0.57                                            | 0.88                                   |
| Terneras cuna       | 6          | 0.475                           | 0.38                              | 0.4104              | 0.069768            | 2.91            | 0.1            | 0.14                      | 0.2                                             | 0.31                                   |
| Terneros            | 1          | 0.8875                          | 0.71                              | 0.7668              | 0.130356            | 5.45            | 0.1            | 0.04                      | 0.06                                            | 0.1                                    |
| <b>Total</b>        | <b>128</b> |                                 |                                   |                     |                     |                 |                | 30.3                      | 45.23                                           | 69.58                                  |

**B<sub>o</sub>**: Relación de producción de biogás.

**Tabla 5.1 Estimación de la producción de biogás en la ganadería lechera.**

El poder calorífico del biogás varía de acuerdo a su composición de metano, este último tiene las siguientes propiedades caloríficas:

- Poder calorífico Inferior: 55,050 kJ/kg (Metano)
- Poder calorífico superior: 55,530 kJ/kg (Metano).

De acuerdo a lo anterior, se puede estimar la cantidad de energía disponible en la ganadería a través de los 69.6 m<sup>3</sup> de biogás diarios (ver tabla 5.1), considerando los factores siguientes:

Un m<sup>3</sup> de biogás, tiene 65% de metano:

$$\text{TotalCH}_4 \text{ en m}^3 = 69.6 \text{ m}^3 \text{ biogas} * 65\% = 45.24 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Sabiendo que un m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> tiene 0.67 kg CH<sub>4</sub>

$$\text{TotalCH}_4 \text{ en Kg} = 45.24 * 0.67 = 30.31 \text{ Kg/dia}$$

Considerando el valor del poder calorífico inferior de CH<sub>4</sub>: 55,050 kJ / Kg.  
Tenemos:

$$55,050 \text{ kJ/kg} * 30.31 \text{ Kg de CH}_4 = 1,668,609.54 \text{ kJ/día}$$

De acuerdo a sus factores de conversión, una kilocaloría equivale a 4.184 kJ, por lo que se tiene:

1,668,609.54 kJ/día  $4.184 \text{ kJ/kcal}=398,807.24 \text{ kcal/día}$ .

Multiplicando el valor obtenido por  $1.198 \cdot 10^{-3} \text{ kWh/Kcal}$ , se tiene:

$398,807.24 \text{ kcal/día} \cdot 1.198 \cdot 10^{-3} \text{ kWh/Kcal}=477.77 \text{ kWh/día}$

Se calcular que se contaría con  $398,807.24 \text{ kcal / día}$  ó  $477.77 \text{ kWh / día}$ .

## 5.2. Consumo energético de la ganadería.

A continuación se presenta en la siguiente tabla, un resumen del equipo instalado dentro del área de la ganadería y la demanda máxima de potencia consumida.

| Maquinaria                | No Unidades | Demanda por equipo (kW)                 | Demanda total de equipos (kW) |
|---------------------------|-------------|-----------------------------------------|-------------------------------|
| Molino de martillo        | 1           | 5.60                                    | 5.6                           |
| Mezcladora.               | 1           | 5.60                                    | 5.6                           |
| Tanque refrigerado        | 1           | 2.98                                    | 2.98                          |
| Ordenadora                | 1           | 3.73                                    | 3.73                          |
| Picadora de Pasto.        | 1           | 5.60                                    | 5.6                           |
| Ventiladores              | 4           | 0.56                                    | 2.24                          |
| Bomba de agua (cisterna). | 1           | 0.75                                    | 0.746                         |
| Bomba de agua (Pozo).     | 3           | 1.49                                    | 4.47                          |
| Luminaria (110 V)         | 5           | 0.02                                    | 0.11                          |
| Luminaria (220 V)         | 6           | 0.18                                    | 1.05                          |
|                           |             | <b>Total demanda máxima De potencia</b> | <b>32.13</b>                  |

**Tabla 5.2 Demanda máxima de potencia de la ganadería**

En la tabla 5.3 se observa el consumo energético diario demandado dentro de la ganadería, a partir de la potencia consumida por el número de horas de trabajo de cada uno de los equipos instalados.

| <b>Maquinaria</b>         | <b>No Unidades</b> | <b>Demanda por equipo (kW)</b> | <b>Horas de trabajos (Día)</b> | <b>Consumo diario (kW-h)</b> |
|---------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Molino de martillo        | 1                  | 5.60                           | 1                              | 5.60                         |
| Mezcladora.               | 1                  | 5.60                           | 1                              | 5.60                         |
| Tanque refrigerado        | 1                  | 2.98                           | 5                              | 14.90                        |
| Ordenadora                | 1                  | 3.73                           | 3                              | 11.19                        |
| Picadora de Pasto.        | 1                  | 5.60                           | 1                              | 5.60                         |
| Ventiladores              | 4                  | 0.56                           | 6                              | 13.44                        |
| Bomba de agua (cisterna). | 1                  | 0.75                           | 8                              | 5.97                         |
| Bomba de agua (Pozo).     | 3                  | 1.49                           | 6                              | 26.82                        |
| Luminaria (110 V)         | 5                  | 0.02                           | 12                             | 1.32                         |
| Luminaria (220 V)         | 6                  | 0.18                           | 12                             | 12.60                        |
| <b>TOTAL</b>              | <b>24</b>          | <b>26.50</b>                   | <b>55</b>                      | <b>103.04</b>                |

**Tabla 5.3 Consumo energético diario de la ganadería**

### 5.2.1. Propuesta de mejora para la ganadería:

Con el objetivo de mejorar el desempeño ambiental de la ganadería, en función de la recuperación de materiales a través del manejo de desechos, se propone la instalación de un proceso de digestión anaeróbica, en este caso por medio de la construcción de un biodigestor tipo laguna.

A continuación se presenta el dimensionamiento del biodigestor de acuerdo a las necesidades de la ganadería:

| <b>Categoría</b>    | <b>N° anim.</b> | <b>Peso prom. (kgs.)</b> | <b>Peso total (kgs.)</b> | <b>Estiércol por cabeza [ kg]</b> | <b>Estiércol por cabeza(m³)</b> | <b>Total estiércol producido (m³)</b> |
|---------------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| Vacas ordeño        | 77              | 499                      | 38,420                   | 40                                | 0.0321024<br>3                  | 2.47                                  |
| Vacas horras        | 3               | 499                      | 1,497                    | 40                                | 0.0321024<br>3                  | 0.1                                   |
| Novillas cargadas   | 19              | 318                      | 6,033                    | 25                                | 0.0204288<br>2                  | 0.39                                  |
| Novillas por cargar | 12              | 136                      | 1,633                    | 11                                | 0.0087552<br>1                  | 0.11                                  |
| Terneras            | 9               | 68                       | 612                      | 5                                 | 0.0043776                       | 0.04                                  |
| Terneras cuna       | 6               | 36                       | 218                      | 3                                 | 0.0023347<br>2                  | 0.01                                  |
| Terneros            | 1               | 68                       | 68                       | 5                                 | 0.0043776                       | 0                                     |
| <b>Total</b>        | <b>128</b>      |                          | <b>48,481</b>            |                                   |                                 | <b>3.12</b>                           |

**Tabla 5.4 Cálculo del volumen de estiércol diario producido**

Con una mezcla 50% agua y 50% estiércol y con un período de retención de 30 días se puede estimar el dimensionamiento del biodigestor:

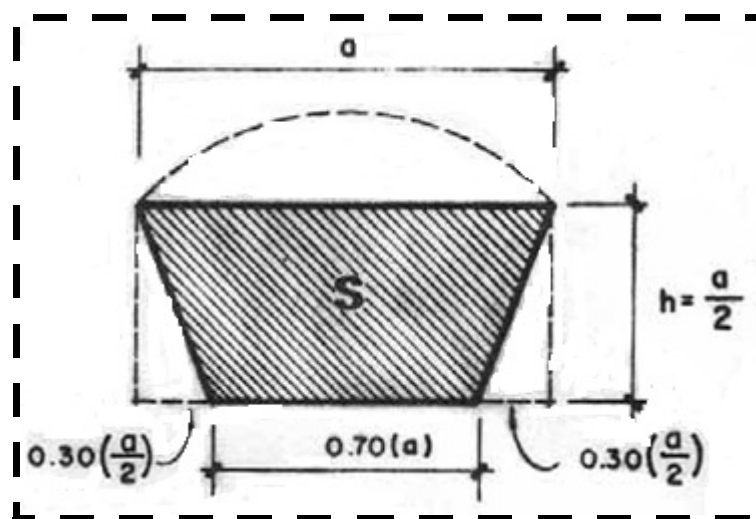
|             | <b>Volumen de la carga en (m³)</b> |
|-------------|------------------------------------|
| <b>Vc =</b> | 6.24                               |

|             | <b>Volumen neto (m³ 30 días)</b> |
|-------------|----------------------------------|
| <b>VD =</b> | 187.15                           |

|                         |                                            |
|-------------------------|--------------------------------------------|
|                         | <b>Volumen de a pileta (m<sup>3</sup>)</b> |
| <b>V<sub>pp</sub> =</b> | 6.86                                       |

De acuerdo a las ecuaciones 4.7- 4.11, las dimensiones del biodigestor tipo laguna son:

| <b>Dimensiones</b> | <b>a</b> | <b>L</b> | <b>h</b> | <b>S</b> |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|
| <b>metros (m)</b>  | 5.27     | 15.81    | 2.64     | 11.80    |



### **Alternativa 1:**

Para procurar el máximo ahorro, se propone la instalación de 1 generador que funcionan a partir de biogás. El generador es de origen chino del fabricante Weifang Chaoran Generator Equipment modelo CGE-40GF (ver anexo A.8). Este equipo incluye los filtros de humedad y para ácido sulf-hídrico.

A continuación se presenta la tabla 5.5 que cuenta con las especificaciones técnicas del generador propuesto.

|                                 |                                               |
|---------------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>Motor</b>                    | Cummins                                       |
| <b>Sistema de refrigeración</b> | Líquida                                       |
| <b>Capacidad</b>                | 40 Kw                                         |
| <b>Voltaje</b>                  | 400 V Trifásico , 60 HZ                       |
| <b>Rotación</b>                 | 1500 rpm; 1800 máx. rpm                       |
| <b>Sistema de encendido</b>     | Eléctrico, incluye batería de 24 V            |
| <b>Consumo de biogás</b>        | 12.8 m <sup>3</sup> / hora (máxima capacidad) |

**Tabla 5.5 Especificaciones técnicas del generador.**

Fuente: Weifang Chaoran Generator Equipment, 2010.

### 5.3. Consumo energético de la planta procesadora de lácteos:

La potencia demanda por la planta procesadora de lácteos se resume en el siguiente cuadro:

| <b>Maquinaria</b>        | <b>No Unidades</b> | <b>Demanda por equipo (kW)</b> | <b>Demanda total de equipos (kW)</b> |
|--------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Tanque de Almacenamiento | 1                  | 5.59                           | 5.59                                 |
| Pasteurizador            | 1                  | 24.10                          | 24.10                                |
| Descremadora.            | 2                  | 2.24                           | 4.48                                 |
| Cuarto Frio.             | 1                  | 0.70                           | 0.70                                 |

|                      |    |                             |              |
|----------------------|----|-----------------------------|--------------|
| Compresor de aire.   | 2  | 11.00                       | 22.00        |
| Extractores de aire. | 6  | 0.75                        | 4.48         |
| Luminaria            | 20 | 0.04                        | 0.80         |
|                      |    | <b>Demanda total máxima</b> | <b>62.15</b> |

**Tabla 5.6 Demanda máxima de la ganadería de la planta procesadora de lácteos.**

En la tabla 5.7 se resume el consumo energético diario demandado dentro de la planta procesadora de lácteos, a partir de la potencia consumida por el número de horas de trabaja por cada uno de los equipos instalados.

| <b>Maquinaria</b>         | <b>No Unidades</b> | <b>Demanda por equipo (kW)</b> | <b>Horas de trabajos ( Día)</b> | <b>Consumo diario (kWh)</b> |
|---------------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Tanque de Almacenamiento. | 1                  | 5.59                           | 2                               | 11.18                       |
| Pausterizador             | 1                  | 24.10                          | 5                               | 120.50                      |
| Descremadora.             | 2                  | 2.24                           | 5                               | 22.40                       |
| Cuarto Frio.              | 1                  | 0.70                           | 12                              | 8.40                        |
| Compresor de aire.        | 2                  | 11.00                          | 4                               | 88.00                       |
| Extractores de aire.      | 6                  | 0.75                           | 12                              | 53.71                       |
| Luminaria                 | 20                 | 0.04                           | 12                              | 9.60                        |
| <b>TOTAL</b>              | <b>33</b>          | <b>44.42</b>                   | <b>52</b>                       | <b>313.79</b>               |

**Tabla 5.7 Consumo energético de la planta procesadora de lácteos**

Cabe destacar que el generador seleccionado a instalar como alternativa 1, tiene la capacidad de suplir la demanda parcial de la hacienda, por tanto dicha alternativa es aplicable tanto en el establo como en la planta procesadora de lácteos.

### 5.3.1. Propuesta de mejora para la planta procesadora de lácteos:

Para la generación de vapor demandado por el pasteurizador, la planta posee una caldera de 20 HP marca Fulton (ver anexo A.5), la cual consume aproximadamente 7 cilindros de gas propano de 20 lbs/ día, lo cual equivale a: 140 libras / día.

Debido a la alta demanda en el consumo de gas propano se presenta la siguiente alternativa.

### **Alternativa 2:**

Esta opción consiste en reemplazar aproximadamente la mitad del gas propano consumido en la caldera por su equivalente en biogás debidamente filtrado. Teniendo en cuenta que se consumen diariamente aprox. 140 Lbs o 63.504 kgs de gas propano, cuyo poder calorífico es de 46,340 kj/kg, (Cengel y Boles, 2005). La energía que la caldera consume diariamente equivale a 2.943 GJ. Dividiendo el resultado anterior entre el poder calorífico inferior del metano puro que es de 55,050 Kj/Kg, (Cengel y Boles, 2005) se determina que se necesitan 58.8 kg diarios de metano puro para sustituir el propano.

Sin embargo, según la tabla 5.1, la ganadería puede producir un máximo de 30.3 kg de Metano ( $CH_4$ ), por lo que se puede reemplazar aproximadamente la mitad del propano por biogás. Esto quiere decir que únicamente se consumirán 3 tambos y medio de propano diarios o 70 lbs.

Para esto deberá efectuarse una modificación en la caldera, la cual consiste en implantar un sistema de inyección de biogás por medio de un cuerpo valvular compuesto por un sistema de electroválvulas y un sistema de seguridad. Con esta modificación la caldera tendrá la capacidad de trabajar con ambos combustible, en periodos diferentes.

## **CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.**

El presente capítulo, consiste en realizar una evaluación económica y ambiental de las dos alternativas propuestas en el capítulo anterior. El objetivo primordial, es el de realizar una propuesta objetiva que sea factible y viable de implementar a la empresa.

Se han determinado dos alternativas que la empresa podría implementar las cuales son: la instalación de un generador que funciona a partir de biogás y El reemplazo aproximadamente del 50 % del gas propano consumido en la caldera por su equivalente en biogás y que en ahora en adelante se identificarán como Alternativa 1 y Alternativa 2 respectivamente.

### **6.1. Evaluación económica:**

Para la evaluación económica de cada una de las opciones, antes de construir una tabla de flujo de fondos, es necesario detallar los siguientes aspectos: Inversión inicial, costos fijos, ahorro proyectado y costos fijos.

#### **6.1.1 Inversión inicial:**

La inversión inicial estará compuesta por la obra civil para la construcción del biodigestor y la instalación de sus distintos componentes como geomembrana, tubería y demás componentes que la conforma.

Para ello se generaron dos tipos de alternativas en la cual se detallan cada uno de los elementos que se requieren para su ejecución y funcionamiento (ver anexo B8 y B11).

En la siguiente tabla resumen se detalla el costo del equipo de aprovechamiento y el biodigestor con todos sus elementos.

| <b>Inversiones</b> |                        |                              |                        |
|--------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|
| <b>Alternativa</b> | <b>Costo de Equipo</b> | <b>Costo del Biod y Acc.</b> | <b>Inversión total</b> |
| 1                  | \$10,518.00            | \$10,669.00                  | \$21,187.00            |
| 2                  | \$250.00               | \$8,987.14                   | \$9,237.14             |

**Tabla 6.1 Inversión inicial.**

### 6.1.2 Costos anuales fijos:

Los costos fijos básicamente estarán compuestos por el sueldo del operador y mantenimientos necesarios para los distintos componentes del sistema de biogás según la opción.

| <b>Costos Fijos</b> |                     |                |                           |              |
|---------------------|---------------------|----------------|---------------------------|--------------|
| <b>Alternativa</b>  | <b>Gastos MTTO.</b> | <b>Sueldo.</b> | <b>Limpieza de lodos.</b> | <b>Total</b> |
| 1                   | \$1,440.00          | \$1,875.00     | \$100.00                  | \$3,415.00   |
| 2                   | \$74.50             | \$1,875.00     | \$100.00                  | \$2,049.50   |

**Tabla 6.2: Costos fijos.**

**6.1.3 Ahorro proyectado:**

El ahorro proyectado consiste en lo que se dejaría de consumir en energía eléctrica o gas propano según sea el caso de cada una de las alternativas propuestas (ver anexo B10 y B14).

Los precios de la electricidad provienen de las tarifas publicadas por la Superintendencia General de Electricidad y Comunicaciones (SIGET) y vigentes a partir de enero de 2010 en el caso de la planta procesadora, la empresa distribuidora es CLESA que ya que supe casi toda la zona occidental (ver Anexo B5). En los anexos B7, se detalla el costo del consumo eléctrico de los elementos que componen la ganadería y la planta procesadora de lácteos basados en el promedio ponderado del costo del kWh.

Los precios del propano se basan en los precios máximos permitidos por el Ministerio de Economía para tambos de 20 libras. El precio del gas propano es subsidiado en aproximadamente 70% de su verdadero costo para mantener su precio fijo.

De llevarse a cabo la implementación de cualquiera de las alternativas y con base al análisis económico realizado de las propuestas, se obtiene una compensación de un ahorro anual reflejado en la siguiente tabla:

| Alternativa          | Potencia [kW] | Horas operación | Ahorro. | Costo  | Ahorro  |          |            |
|----------------------|---------------|-----------------|---------|--------|---------|----------|------------|
|                      |               |                 |         |        | Diario  | Mensual  | Anual      |
| 1                    | 40            | 5.44            | 217.50  | \$0.12 | \$27.06 | \$811.83 | \$9,741.93 |
| 2<br>( Con Subsidio) | N/A           | 8.00            | 3.50    | \$4.10 | \$14.35 | \$430.50 | \$5,166.00 |

|                                          |  |  |  |  |  |  |  |
|------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
|                                          |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Ahorro y Costo.</b>                   |  |  |  |  |  |  |  |
| Alternativa 1 = kWh.                     |  |  |  |  |  |  |  |
| Alternativa 2 = Cilindros de gas de 20lb |  |  |  |  |  |  |  |

**Tabla 6.3. Ahorro proyectado.**

Sin embargo, el subsidio al gas propano pudiera eliminarse en los próximos años por lo que la determinación del ahorro potencial, se evaluará tomado el valor real sin subsidio (ver anexo B14).

Por tanto el ahorro anual implementando la alternativa 2 se refleja en la siguiente tabla:

| Alternativa         | Horas operación | Ahorro (Cilindros) | Costo   | Ahorro  |            |             |
|---------------------|-----------------|--------------------|---------|---------|------------|-------------|
|                     |                 |                    |         | Diario  | Mensual    | Anual       |
| 2<br>(Sin Subsidio) | 8.00            | 3.5                | \$13.70 | \$47.95 | \$1,438.50 | \$17,262.00 |

**Ahorro y Costo.**

Alternativa 2 = Cilindros de gas de 20 lb.

**Tabla 6.4. Ahorro proyectado alternativa dos sin subsidio.**

**6.1.4 Flujo de fondos y evaluación económica:**

Las distintas opciones se evaluarán para 5 años por lo que para cada una se elabora un flujo neto de efectivo que incluye la inversión inicial, ahorros proyectados, depreciación y valor en libros. Las opciones se evaluarán por medio del VAN y la TIR. Para calcular el VAN se utilizo una TREMA de 10% tomando en cuenta la inflación proyectada en el país y el riesgo asumido.

El resultado que se genera a partir de las tablas de flujo de fondo para la evaluación de la alternativa uno y dos (Ver anexos B9, B12 y B13).

A continuación se presenta la siguiente tabla resumen de la evaluación económica:

| <b>Alternativa</b>  | <b>Inversión</b> | <b>Costos Fijos.</b> | <b>Ahorro</b> | <b>VAN</b> | <b>TIR</b> | <b>PSRI (años)</b> |
|---------------------|------------------|----------------------|---------------|------------|------------|--------------------|
| 1                   | \$21,187.00      | \$3,415.00           | \$9,739.06    | \$999.61   | 12%        | 2.18               |
| 2<br>(Con Subsidio) | \$8,919.00       | \$2,049.50           | \$5,166.00    | \$112.47   | 10%        | 1.73               |
| 2<br>(Sin Subsidio) | \$8,919.00       | \$2,049.50           | \$17,262.00   | \$491.20   | 122%       | 0.52               |

**Tabla 6.5 Evaluación Económica**

En el caso del adaptador para la caldera para biogás, se consideran los dos posibles escenarios, que el subsidio al gas propano continúe o que se elimine en su totalidad.

## 6.2. Análisis de impacto ambiental:

El sistema climático de la Tierra, en el cual se integran la atmósfera, la hidrosfera (océanos, lagos, ríos), la criosfera (glaciares y campos de hielo) y la biosfera (terrestre y marítima) ha experimentado cambios significativos desde la era pre-industrial, tanto a nivel global como regional. Algunos de estos cambios son atribuibles, al menos en forma parcial, a actividades humanas.

La temperatura en la Tierra está condicionada por la presencia de gases naturales de efecto invernadero, que absorben parcialmente la emisión de radiación infrarroja que emite la superficie, re-emitiendo radiación del mismo tipo (infrarroja), tanto al espacio exterior como hacia la superficie. Estos gases, entre los cuales están el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el vapor de agua y el ozono ( $\text{O}_3$ ), regulan la temperatura del planeta, contribuyendo que a nivel del mar ésta sea considerablemente mayor que la que se observaría si la atmósfera no tuviera estos componentes. El efecto invernadero ha estado siempre presente desde el momento que se formó la atmósfera, contribuyendo en forma determinante al desarrollo de la vida sobre la Tierra. Sin embargo, la acción del hombre ha intensificado este proceso.

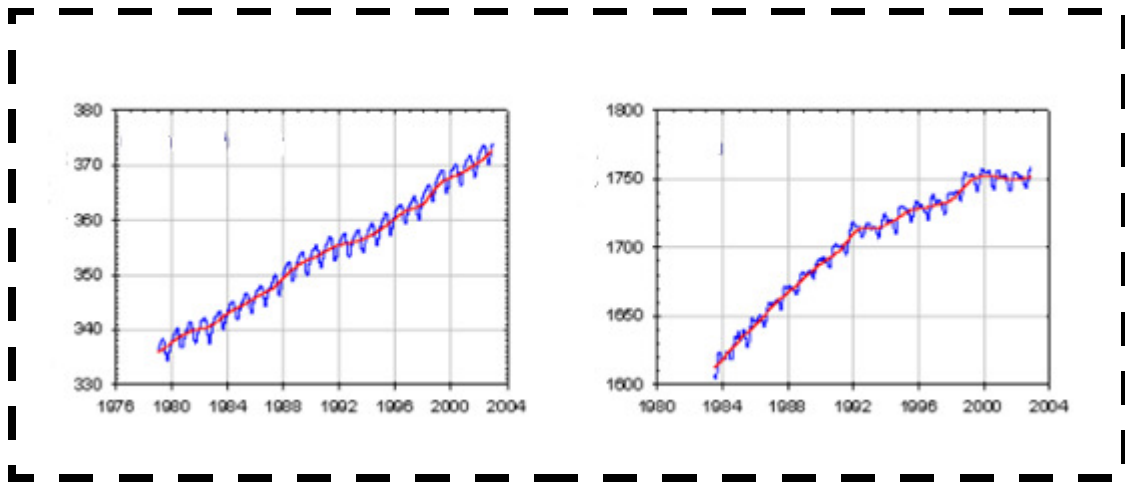
La actividad industrial, ha producido una significativa emisión a la atmósfera de gases de efecto invernadero, que no estaban presentes en la era pre-industrial. Su capacidad de influir sobre el clima global se explica por la larga vida media de muchos de ellos, que a pesar de una emisión localizada, terminan distribuyéndose en toda la atmósfera.

Según la IPCC, los gases de efecto invernadero (GEI) son los siguientes: Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), Metano ( $\text{CH}_4$ ), Oxido Nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), Monóxido de Carbono ( $\text{CO}$ ) y Oxido de Nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ). Sin embargo, son solamente tres los principales GEI que provocan en la actualidad el calentamiento global: el Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), el Metano ( $\text{CH}_4$ ) y el Oxido Nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). El biogás está compuesto en gran parte por Metano, (60-80%) aunque también tiene una significativa proporción de Dióxido de Carbono (30-40%)

### **Emisiones de Metano ( $\text{CH}_4$ ):**

El Gas Metano, es el segundo gas de efecto invernadero en importancia después del  $\text{CO}_2$ , y esto se debe a que su concentración en la atmósfera es

mucho menor. Sin embargo su potencial de calentamiento global (PCG) ronda entre 20 y 23 veces el efecto del CO<sub>2</sub>. Al igual que el CO<sub>2</sub>, su concentración en la atmósfera ha aumentado significativamente en las últimas décadas (ver Fig. 6.1)



**Figura. 6.1 Tendencia mundial de los 2 principales gases de efecto invernadero**

Fuente: NOAA (2005)

| <b>Gas</b>             | <b>PCG</b> |
|------------------------|------------|
| Dióxido de carbono     | 1          |
| Metano                 | 21         |
| Oxido Nitroso          | 296        |
| Flouorcarburos         | 120-12000  |
| Cloroflouorcarbonos    | 5700-11700 |
| Hexafluoruro de azufre | 22200      |

### Tabla 6.6. Potencial de Calentamiento Global de los gases de Efecto Invernadero.

Fuente: IPCC (2001)

Desde la era preindustrial, la concentración atmosférica de metano (CH<sub>4</sub>) se ha incrementado en un 150%. En 2000, las emisiones totales de CH<sub>4</sub>, en el mundo, se calcularon en 6 000 millones de CO<sub>2</sub> equivalentes. En Latinoamérica, las emisiones de CH<sub>4</sub> per cápita casi duplican el promedio mundial, mientras que las emisiones en América Central y el Caribe resultan similares al promedio mundial.

En Latinoamérica las emisiones de metano se generan sobretodo en el sector ganadero. Como puede apreciarse en la figura, Brasil, país ganadero de primera línea, presenta el mayor nivel de emisión de metano de la región y es uno de los mayores emisores de metano (CH<sub>4</sub>) del mundo.

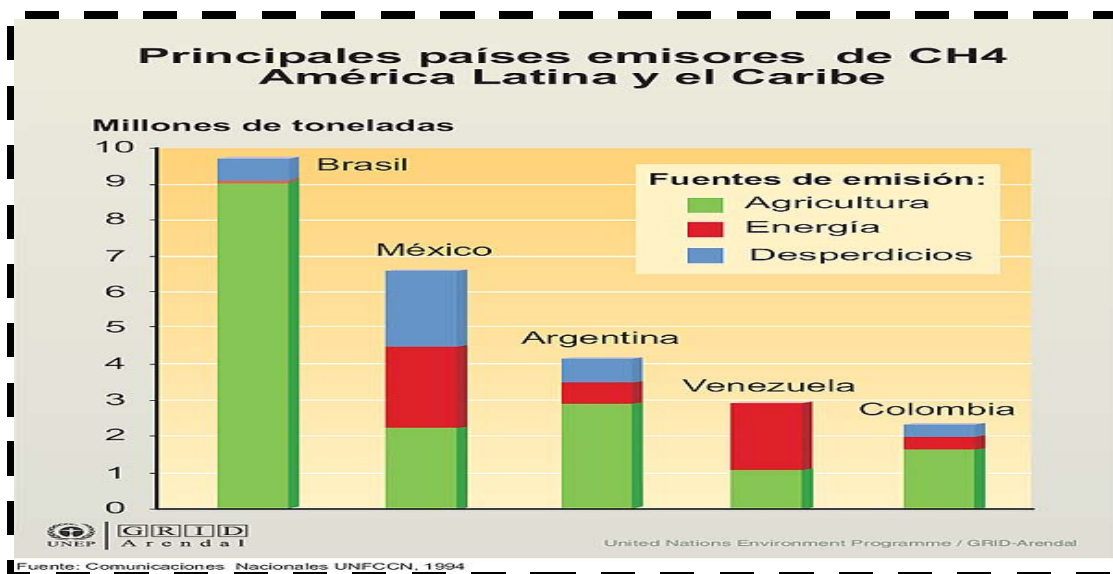
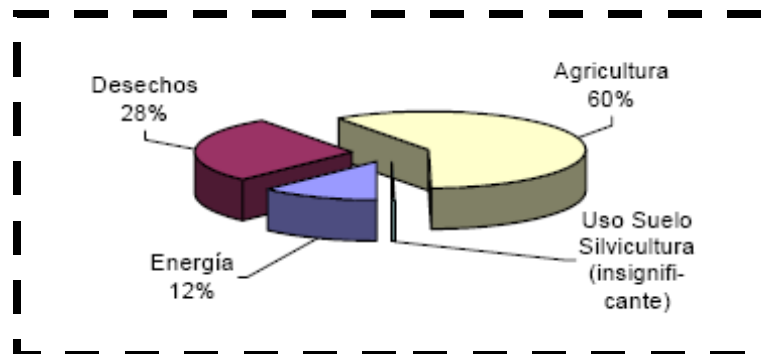


Figura. 6.2 Principales emisores de metano en Latinoamérica

Fuente: Programa Ambiental de las Naciones Unidas (1994)

### Emisión de Metano (CH<sub>4</sub>) en El Salvador:

En nuestro país no existe un dato reciente o actualizado de los niveles de GEI. La última medición realizada fue en 1994, año en el que también se plantearon proyecciones. En 1994, la emisión total de metano calculada fue de 148.5 Gigagramos (Gg), cuyos principales generadores fueron los sectores agropecuario, con 88.14 Gg (60%); desechos, con 41.75 Gg (28%); energía, con 18.09 Gg (12%), y una contribución insignificante del sector cambio del uso del suelo con 0.52 Gg. (ver figura A6.1)



**Figura. 6.3 Proporción sectorial de emisiones de Gas metano**

Fuente: Primera Comunicación Nacional sobre el Cambio Climático en El Salvador

El sector agropecuario es el mayor aportador a las emisiones de CO<sub>2</sub>, (60%) y se compone básicamente de lo siguiente:

### Emisiones de CH<sub>4</sub> del sector agrícola en El Salvador (1994) (Gg)

|                                         |       |      |
|-----------------------------------------|-------|------|
| Proceso digestivo y desechos del ganado | 83.24 | 94 % |
| Cultivo de arroz                        | 1.63  | 2%   |
| Quema de sabanas y residuos agrícolas   | 3.27  | 4%   |
| Total                                   | 88.14 | 100% |

### Tabla 6.7. Emisiones de Metano del sector agropecuario en El Salvador.

Fuente: Primera Comunicación Nacional sobre el Cambio Climático en El Salvador

En el caso de la ganadería lechera de la Hacienda el Sunza, y usando la metodología del IPCC, se estima la reducción de metano en kgs/año por medio de la siguiente tabla en donde:

**Categoría y peso promedio:** Dato brindado por propietario de la ganadería.

**Producción de estiércol:** Se tomó como referencia un valor del 8% de su peso corporal, (Etgen y Reaves, 1978) en lugar de los valores del ASAE, ya que estos rondan el 12 % siendo basados en ganado vacuno de Estados Unidos, con una alimentación basada en una dieta diferente.

| <b>Categoría</b>    | <b>Peso promedio [kgs]</b> | <b>Producción de estiércol [kgs/animal x día]</b> | <b>S. V. [kg/animal x día]</b> | <b>H [Animales]</b> | <b>Bo [m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg S.V.]</b> | <b>MCF</b> | <b>Emisiones de Metano [kg CH<sub>4</sub> /años]</b> |
|---------------------|----------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------|------------|------------------------------------------------------|
| Vacas ordeño        | 500.00                     | 40                                                | 5.2                            | 77                  | 0.1                                              | 4%         | 391.671                                              |
| Vacas horras        | 500.00                     | 40                                                | 5.2                            | 3                   | 0.1                                              | 4%         | 15.260                                               |
| Novillas cargadas   | 318.18                     | 25.45                                             | 3.31                           | 19                  | 0.1                                              | 4%         | 61.519                                               |
| Novillas por cargar | 136.36                     | 10.91                                             | 1.4                            | 12                  | 0.1                                              | 4%         | 16.434                                               |
| Terneras            | 68.18                      | 5.45                                              | 0.71                           | 9                   | 0.1                                              | 4%         | 6.251                                                |
| Terneras cuna       | 36.36                      | 2.91                                              | 0.38                           | 6                   | 0.1                                              | 4%         | 2.230                                                |
| Terneros            | 68.18                      | 5.45                                              | 0.71                           | 1                   | 0.1                                              | 4%         | 0.695                                                |
| <b>Total</b>        | <b>1627.27</b>             |                                                   |                                | <b>128</b>          |                                                  |            | <b>494.059</b>                                       |

**Tabla 6.8. Producción de estiércol.**

**S. V.:** Los sólidos volátiles corresponden aproximadamente al 85% de los sólidos totales, los cuales a su vez constituyen en 15 % de la cantidad excretada, por lo que los sólidos volátiles son un aproximadamente 13% de la producción de estiércol.

**H:** Número de animales proporcionado por el propietario de la ganadería.

**Bo:** Capacidad máxima de producción de CH<sub>4</sub>, cuyo valor fue obtenido de la Tabla resumen de la IPCC en el anexo B4 (Latinoamérica).

**MCF:** El MCF (Factor de Conversión de Metano) fue calculado de la Tabla del IPCC del Anexo A1 de acuerdo a la temperatura anual promedio del lugar (25 grados Celsius) y el Sistema de gestión actual (Almacenaje de sólidos).

De acuerdo, al valor de FCG del Metano, el CO<sub>2</sub> equivalente que se dejaría de emitir será de 10.4 ton CO<sub>2</sub>/ año (ver Ecuación 4.18).

Luego, la producción de CO<sub>2</sub> por quema de CH<sub>4</sub> se calcula por medio de la ecuación 4.19, utilizando el poder calorífico inferior del CH<sub>4</sub> de aproximadamente 50, 050 Kj /Kg (Zengel-Boles, 2005).

Por lo tanto:

Ton CO<sub>2</sub> = 1.37 Ton por quema de CH<sub>4</sub>

TonCO<sub>2</sub> = PCH<sub>4</sub> x PCCH<sub>4</sub> x Factor deEmision de CO<sub>2</sub> x 1.0E-9

Finalmente, la reducción neta de CO<sub>2</sub> al año sería de acuerdo a la ecuación 4.20:

(10.4-1.37) = 9.03 Ton CO<sub>2</sub> /año

## CONCLUSIONES

- La implementación de biodigestores en el sector pecuario permite recuperar gas metano el cual es uno de los causantes del efecto invernadero pero a la vez tiene la característica de tener un valor desde el punto de vista energético. Por otro lado, esta tecnología no solo previene emisiones a la atmósfera sino que también permite dar a los efluentes biodegradables un tratamiento y transformar residuos en subproductos como el mismo metano, y el bioabono.
- El potencial de generación de biogás en la Hacienda El Sunza por medio de un biodigestor anaeróbico y con base en los cálculos realizados en esta investigación, es de aproximadamente de 69.58 m<sup>3</sup> por día. Con este volumen es posible sustituir una buena parte de la energía que la ganadería y planta procesadora de lácteos demanda. Esto se traduce en un significativo ahorro económico para los propietarios y un beneficio ambiental para la zona en donde está localizada las instalaciones, debido a la reducción de emisiones de dióxido de carbono al ambiente y la reducción de la carga orgánica de los efluentes.
- Con base al análisis realizado de los procesos internos dentro de la planta procesadora de lácteos y a la evaluación de las alternativas planteadas para el aprovechamiento del biogás generado, se pudo constatar que este puede ser utilizado en la generación de energía para suplir parte de la demanda de energía eléctrica requerida por la hacienda. De igual forma puede ser aprovechado como combustible en la caldera instalada en la

planta procesadora de lácteos, consiguiendo reducir en un cincuenta por ciento el consumo actual de gas propano.

- De acuerdo a los datos analizados en el presente trabajo, resulta una opción económicamente más rentable, utilizar el biogás para transformarlo en energía eléctrica por medio de un generador que utilizarlo directamente como fuente de calor, sin embargo, si no existiera el subsidio gubernamental hacia el gas propano, su uso como sustituto de este combustible representaría un rentabilidad mayor.

## **RECOMENDACIONES.**

- En la actualidad, los precios del petróleo han ido incrementando y afectando el valor de la energía eléctrica en El Salvador, de aquí la necesidad de que el gobierno salvadoreño cree mecanismos para la promoción e implementación de biodigestores en el sector agropecuario haciendo énfasis los sistemas de producción que generan residuos biodegradables.
- Para garantizar el diseño y construcción de biodigestor más adecuado a las necesidades de cada instalación productiva, es necesario un completo estudio o análisis químico de muestras de estiércol, composición de la alimentación, determinación del DQO y DBO de la mezcla, entre otros. Lo anterior se debe a que las condiciones climáticas y procesos de producción tienen una gran influencia en la calidad y volumen del biogás que se puede llegar a producir.
- Las ferias ganaderas y agropecuarias que se desarrollan en el país, son una excelente oportunidad para que empresas que se especializan en biodigestores como Durman Esquivel y Mapreco presenten a los empresarios del sector, los beneficios de aplicar tecnologías limpias.
- El gobierno cuenta con incentivos de reconocimiento como el Sello Verde y el Premio Nacional de Producción Más Limpia, Ley de Incentivos para las Energías Renovables, entre otros. A partir de estos incentivos, las

empresas podrían motivarse para implementar sistemas de biodigestores y poder así posicionarse en mercados más selectivos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alianza en Energía y Ambiente con Centroamérica (AEA); 2009. Lista de proyectos (en línea), San Salvador, ES. Consultado 12 Nov. 2009. Disponible en <http://appext.sica.int/copp/WEB/>
- ASAE (Asociación Americana de Ingenieros Agrónomos), 2005. Producción y Características del Estiércol (en línea). St. Joseph, Mi, USA. Consultado 16 Feb. 2010. Disponible en <http://www.das.psu.edu/dairy-alliance/pdf/ManureprodcharD384.2.pdf>
- Asociación de Porcicultores de Argentina. 2008. Universo Porcino: Artículos (en línea). B. Aires, AR. Consultado 15 nov. 2009. Disponible en [http://www.aaporcinos.com.ar/articulos/que\\_es\\_un\\_biodigestor.html](http://www.aaporcinos.com.ar/articulos/que_es_un_biodigestor.html).
- Baca Urbina, G. 2003. Fundamentos de Ingeniería Económica. 3 ed.s.l. McGraw Hill. 4p
- Blank, LT y Tarquin, AJ; 2002. Ingeniería Económica. 5 ed s.l.. McGraw Hill, 5p
- Cengel, Y y Boles, M. 2005. Termodinámica. 5 ed.D.F Mex, McGraw Hill. 5p
- Colegio Alpaymayo de Bioagricultura Casa Blanca, PRU. S.f. Los Beneficios del Biogás (en línea).. Casa Blanca, Perú. Consultado en 18 nov. 2009. Disponible en [www.gasdecuyisea.files.wordpress.com/2009/08/esqu](http://www.gasdecuyisea.files.wordpress.com/2009/08/esqu)

- Cuesta, MJ et al. 2008. Colección de Informes de Vigilancia Tecnológica "Madri+d: Situación actual de la producción de biogás y de su aprovechamiento. Madrid, ESP. Fundación Madri+d para el Conocimiento. 15p
- Escuela Agro-técnica Los Pioneros de Argentina. S.f. Historia del biogás: Usos y aplicaciones (en línea). San Juan, AR. Consultado 18 sept. 2009. Disponible en: ~~[http://www.oni.esuelas.edu.ar/2004/SAN\\_JUAN/712/biogas\\_historia\\_usos\\_y\\_aplicaciones.htm](http://www.oni.esuelas.edu.ar/2004/SAN_JUAN/712/biogas_historia_usos_y_aplicaciones.htm)~~
- Franco, M y Sánchez, I; 2009. Estudio para el Manejo de Residuos Agropecuarios y Agroindustriales en Centroamérica (diapositivas). San Salvador, ES. PA Consulting. 96 diapositivas, muda.
- Guardado Chacón, J; 2006. Tecnología del biogás Manual del usuario. La Habana, CU. Editorial Cuba Solar. 6 p.
  - Guevara, A. 1996. Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales: Producción de gas y saneamiento de efluentes. Lima, Perú. 80 p.
- Grupo Eurociencia; s.f. Procesamiento de productos lácteos (en línea). Barcelona, ESP. Consultado el 25-Feb-2010. Disponible en <http://www.eurociencia.com/ext/pdf/lacteos.pdf>
- IPCC (Panel Intergubernamental del Cambio Climático, por sus siglas en inglés, SZ.) 2006. Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol, s.l. vol. 4, 30 p.

- Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI, GT). 1983. Manual de construcción y operación de plantas de biogás. Cd. De Guatemala, GT. 30 p.
- Lugones López, B s.f. Análisis de biodigestores (en línea). Cu. Cubaenergía. Consultado en 12 nov. 2009. Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/ENERGIA22/HTML/articulo04.htm>
- Ministerio de economía, ES. Consultado el 01 Marzo. 2010. Disponible en: [http://www.minec.gob.sv/index.php?option=com\\_content&view=article&id=94:primerproyectohym&catid=101:proyectoshym&Itemid=116](http://www.minec.gob.sv/index.php?option=com_content&view=article&id=94:primerproyectohym&catid=101:proyectoshym&Itemid=116).
- Superintendencia general de electricidad y telecomunicaciones, ES. Consultado el 01 Marzo. 2010. Disponible en: [http://www.siget.gob.sv/attachments/1357\\_PLIEGOS%202010.pdf](http://www.siget.gob.sv/attachments/1357_PLIEGOS%202010.pdf).
- Tornaria (Empresa constructora), ESP. S.f. Gestión de Residuos por digestión anaeróbica (en línea). Navarra, ESP. Consultada en 20 nov. 2009. Disponible en: [http://www.tornaria.com/3col.php?id\\_apartado=47](http://www.tornaria.com/3col.php?id_apartado=47)
- Universidad de Granada, ESP. S.f. Ciclo Celular y Crecimiento (en línea). Granada, ESP. Consultado en 20 nov. 2009. Disponible en: <http://www.ugr.es/~cienez/Microbiologia/12crecimiento.htm>
- Universidad del Valle de Guatemala, GT. S.f. Biodigestores y otras soluciones energéticas (en línea). Cd. De Guatemala, GT. Consultado en 14 oct. 2009. Disponible en: <http://biodigestores.org/hello-world/>

- Urbaez Ruiz, CL et al. s.f. Biomasa: Alternativa sustentable para la producción de biogás (en línea). Pinar del Rio, CB. Consultado 17 nov. 2009. Disponible en:  
<http://www.monografias.com/trabajos48/biomasa/biomasa2.html>
- White, J et al. 2001. Ingeniería Económica. 2 ed. s.l. Limusa. 7p

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Acero inoxidable:** Acero que presenta una gran resistencia a la acción de la oxidación, característica que se consigue aleándolo con el cromo y el níquel.
- **Azolvamiento:** Deposición de suelo (sedimentos) transportados por el agua y depositado en lagos, lagunas, ríos y océanos, formando grandes zonas inundadas.
- **Biodigestor:** su forma más simple es un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales-no se incluyen cítricos ya que acidifican-, etcétera) en

determinada dilución de agua para que se descomponga, produciendo gas ~~metano~~ y ~~fertilizantes~~ orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio.

- **Biogás:** El biogás es un ~~gas~~ combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la ~~materia orgánica~~, mediante la acción de ~~microorganismos~~ (~~bacterias~~ metanogénicas, etc.), y otros factores, en ausencia de aire (esto es, en un ambiente ~~anaeróbico~~). El gas resultante está formado por ~~metano~~ ( $\text{CH}_4$ ), ~~dióxido de carbono~~ ( $\text{CO}_2$ ), ~~monóxido de carbono~~ ( $\text{CO}$ ) y otros gases en mucha menos medida que los anteriores.
- **Caseína:** Es una proteína de la leche del tipo fosfoproteína que se separa de la leche por acidificación y forma una masa blanca (con lo que se hace el queso). Esta representa cerca del 77 al 82 por ciento de las proteínas presentes en la leche y el 2.7 por ciento en la composición de la leche líquida.
- **Cemento:** Es un conglomerado que une o da cohesión, se presenta en forma de polvo que se tiene de pulverizar de duras rocas (caliza) y arcilla y luego quemarlas en un horno rotatorio y agregar yeso de nuevo molerlas. Tiene la peculiaridad de endurecerse con el agua y producir compuestos mecánicamente resistente.
- **Costo Inicial:** Es el ~~costo~~ instalado del activo que incluye el ~~precio~~ de compra, las comisiones de entrega e instalación y otros ~~costos~~ directos depreciables en los cuales se incurre a fin de preparar el activo para su uso.
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** medida indirecta del contenido de materia orgánica biodegradable, expresada mediante la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar biológicamente la materia orgánica en una muestra de agua, a una temperatura estandarizada de 20° C. Si la medición se realiza al quinto día, el valor se conoce como DBO5. Sus unidades son miligramos de oxígeno disuelto por litro (mg /lt).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua residual bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo.
- **Depreciación:** Es la reducción en el valor de un activo a través del tiempo.
- **Digestión Anaeróbica:** es el proceso en el cual ~~microorganismos~~ descomponen material ~~biodegradable~~ en ausencia de ~~oxígeno~~. Este proceso genera diversos gases, entre los cuales el ~~dióxido de carbono~~ y el ~~metano~~ son los más abundantes (dependiendo del material degradado).
- **Fosfoproteínas:** son un grupo de proteínas que están químicamente unidas a una sustancia que contiene ácido fosfórico por lo tanto sus moléculas contiene un elemento fósforo.
- **Geomembranas:** son láminas flexibles fabricadas con resina de cloruro de polivinilo 100% vírgenes, aditivos y plastificante, que la hacen recomendable en impermeabilizaciones convencionales como pozas de lixiviación, reservorios para agua, y cuya elongación es de 300 %, a su vez le permite adaptarse con facilidad a la forma del terreno.
  - **Hender:** Producir en la cuajada una abertura o hueco estrecho, largo y poco profundo.
  - **Mastitis:** es el nombre técnico que se le da al proceso de inflamación de la glándula mamaria y la ubre.
- **Metano:** La más pequeña de las moléculas de los hidrocarburos, con un átomo de ~~carbono~~ y cuatro átomos de hidrógeno. Es el componente principal del gas natural, pero también está presente en las capas de carbón, y es producido por animales y por la ~~descomposición~~ de los vegetales. Es un gas ligero, sin color, sin olor y flamable bajo ~~condiciones~~ normales. El metano es el ~~primer~~ miembro en la ~~serie~~ de alcanos (parafinas). A ~~presión~~ atmosférica se licúa a  $-162^{\circ}\text{C}$

- **Paracaseína:** Caseína coagulada o requesón de la leche.
- **Periodo de recuperación:** Es la vida depreciable, del activo en años para fines de depreciación ( del impuesto sobre la renta ).
- **Salmuera:** Disolución de sal en agua, dentro de proporciones o concentraciones variables, que nunca excederán de los límites fijados por las propias posibilidades de saturación, ya que como máximo se puede disolver alrededor de un 26% de sal, formándose un sedimento en el fondo del recipiente, cuando se agrega en cantidad superior.
- **Sedimento:** Material (minerales, ~~materia~~ materia orgánica, etc.) que habiendo estado suspendido en un líquido, se deposita en el fondo.
- **Sólidos volátiles:** constituyen el material orgánico del estiércol animal y consisten en fracciones tanto bio-degradables como no bio-degradables.
- **Tasa de depreciación o tasa de recuperación:** Es la fracción del costo inicial que se elimina por depreciación cada año.
- **Valor de ~~mercado~~ mercado:** Es la cantidad estimada posible si un activo fuera vendido en el mercado abierto.
- **Valor de salvamento:** Es el valor estimado de intercambio o de mercado al final de la vida útil del activo.
- **Valor en ~~libros~~ libros:** Representa la ~~inversión~~ inversión restante, no depreciada en los libros después de que el monto total de cargos de depreciación a la ~~fecha~~ fecha han sido restados de la base

## ANEXOS

### Parte A: Fotos/Imágenes



**A1: Zona de almacenamiento temporal del estiércol en la ganadería**



**A2: Estiércol acumulado en las afueras del establo**



**A3: Corrales de la ganadería lechera**



**A4: Comederos de la ganadería lechera**



**A5: Caldera de la Planta Procesadora de lácteos marca Fulton de 20 HP**



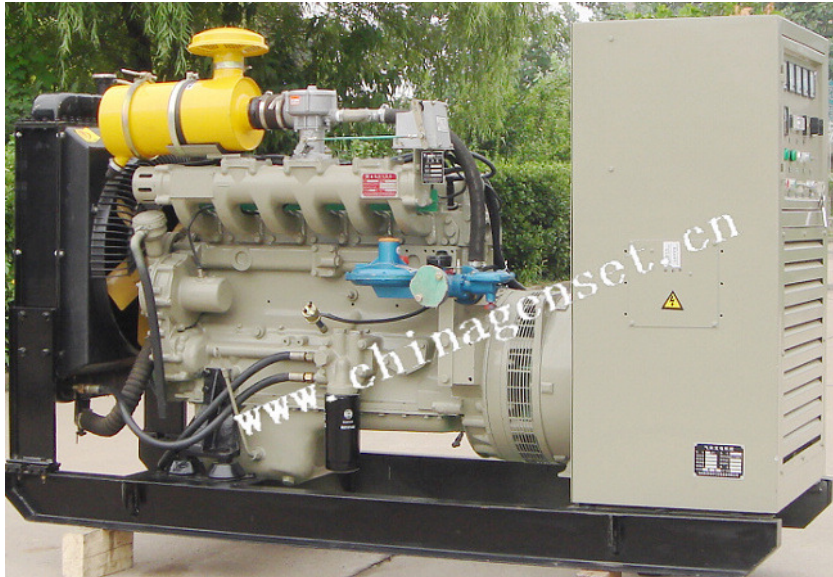
**A6: Motor eléctrico de la máquina ordeñadora**



**A7: Picadora de pasto.**



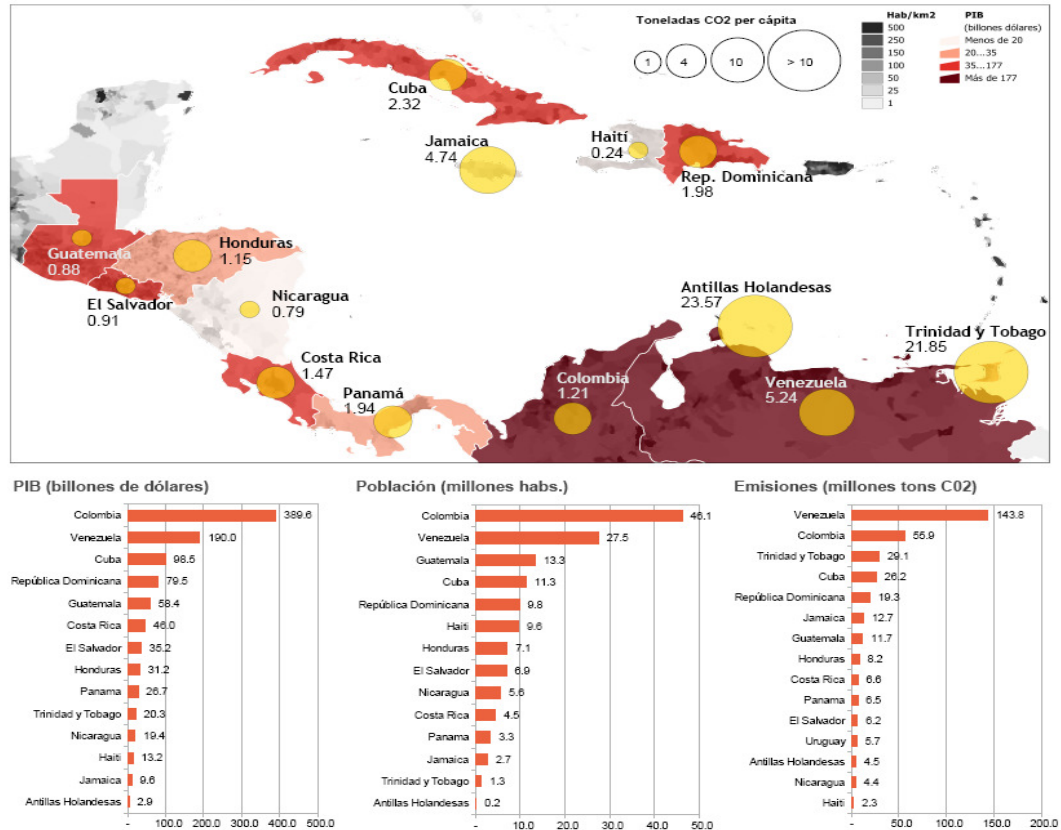
**A8. Proceso para el cálculo de densidad del estiércol.**



## A8: Generador Weifang Chaoran CGE-40GF

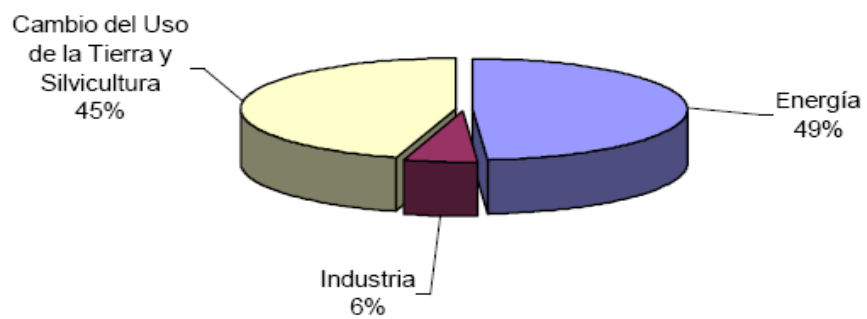
(Fuente: Weifang Chaoran Generator Equipment Co. LTD.)

### Emisiones de CO<sub>2</sub> en Centroamérica y el Caribe. 2007 Desarrollo económico, población y contaminación



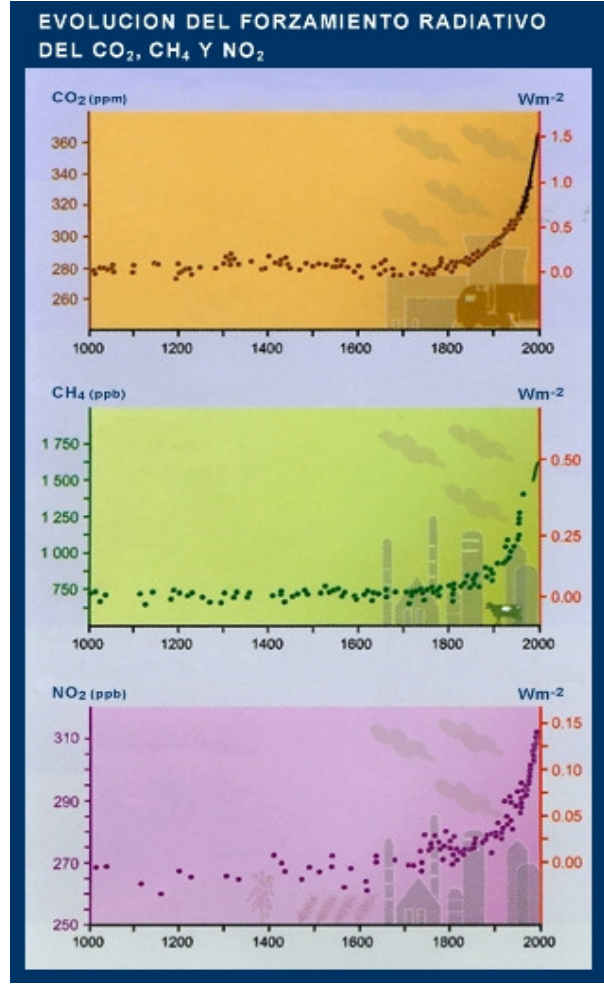
## A9: Emisiones de CO<sub>2</sub> en Centroamérica y el Caribe (2007)

(Fuente: International Energy Agency).



**A9: Proporción de emisiones totales netas en El salvador**

**Fuente: Primera Comunicación Nacional sobre el Cambio Climático en El Salvador**



**A10: Evolución de los tres principales GEI**

Fuente: IPCC



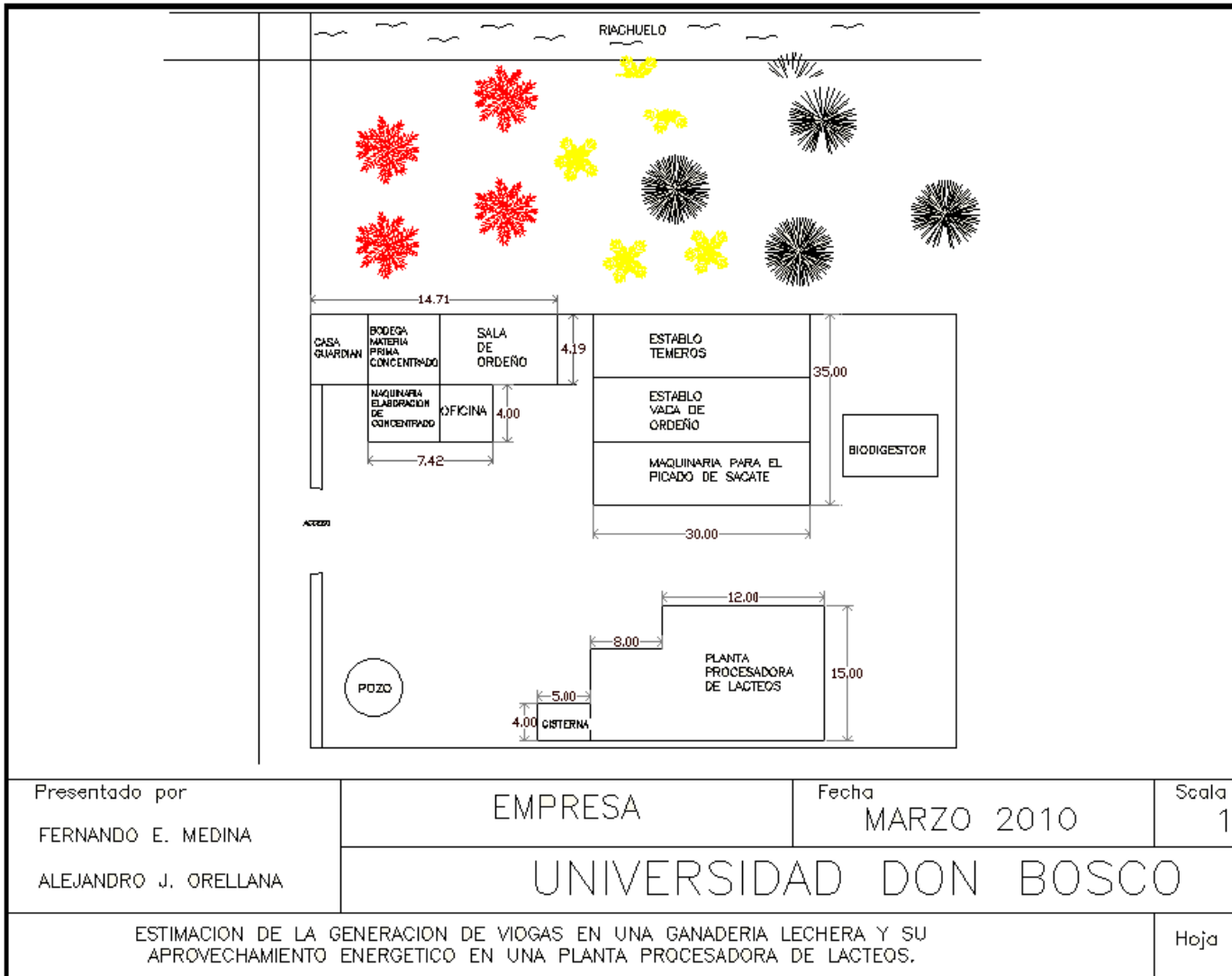
**A11: Flujómetro Rootmeter 8C175**

**Fuente: PV E-Store**

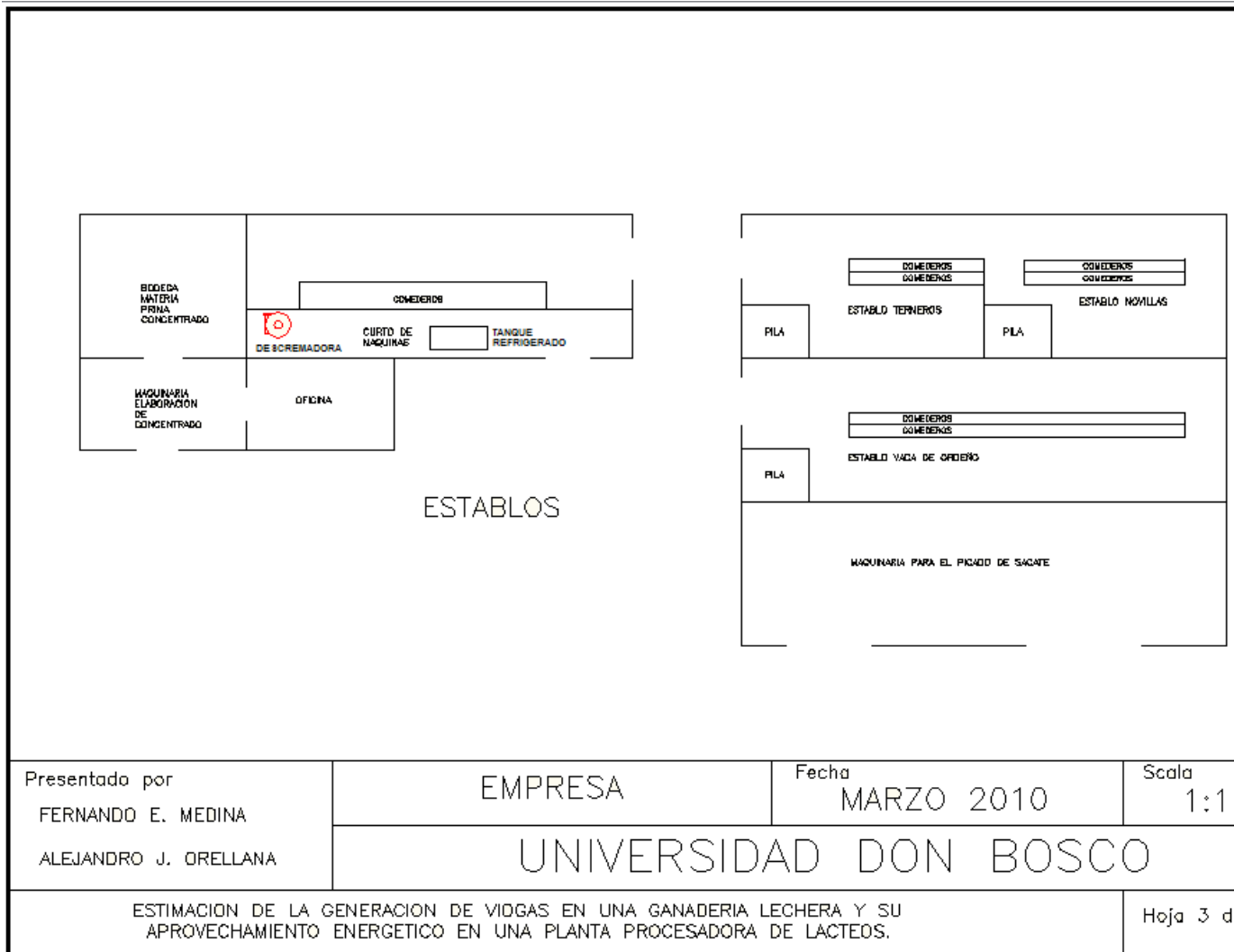


**A12: Antorcha para biogás**

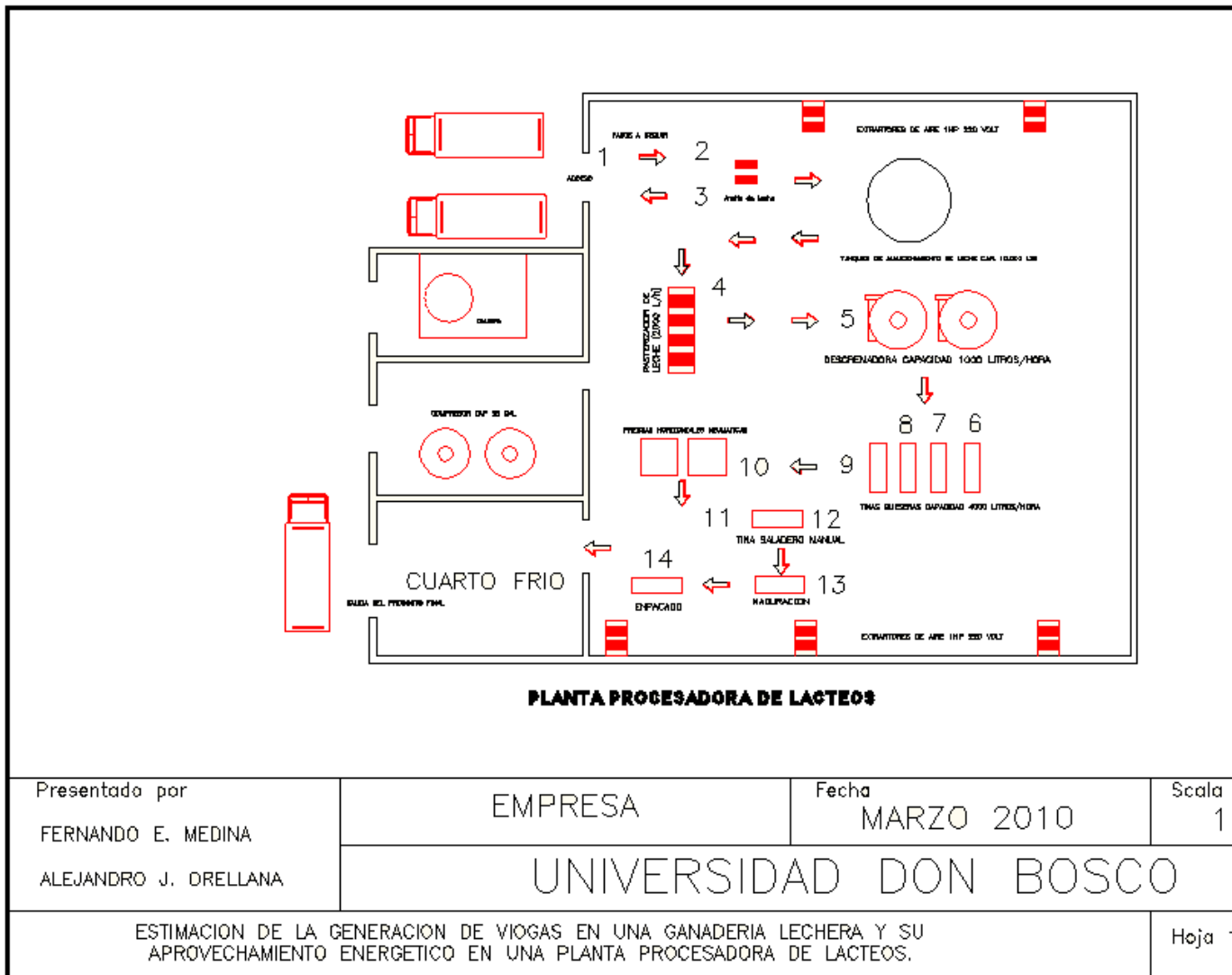
**Fuente: Grupo Emison**



**A13. Vista de planta de la Hacienda El Sunza**



**A14. Vista de planta del área de la ganadería**



**A15. Vista de planta de la planta procesadora de lácteos**

Parte B: Tablas.

| Sistema <sup>a</sup>  |                                          | MCF según la temperatura promedio anual (°C) |     |     |     |     |          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |        |     |     |      |                                                                                                                            |
|-----------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|-----|-----|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                       |                                          | Frio                                         |     |     |     |     | Templado |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Cálido |     |     |      |                                                                                                                            |
|                       |                                          | ≤ 10                                         | 11  | 12  | 13  | 14  | 15       | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  | 21  | 22  | 23  | 24  | 25     | 26  | 27  | ≥ 28 |                                                                                                                            |
| Pastura/Prado/Pradera |                                          | 1,0%                                         |     |     |     |     | 1,5%     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 2,0%   |     |     |      | Dictam<br>en con<br>(1994).                                                                                                |
| Distribución diaria   |                                          | 0,1%                                         |     |     |     |     | 0,5%     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 1,0%   |     |     |      | Hashim                                                                                                                     |
| Almacenaje de sólidos |                                          | 2,0%                                         |     |     |     |     | 4,0%     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 5,0%   |     |     |      | Dictam<br>en con<br>que<br>aproxim<br>verano<br>dictam<br>y Amos                                                           |
| Corral de engorde     |                                          | 1,0%                                         |     |     |     |     | 1,5%     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 2,0%   |     |     |      | Dictam<br>en con<br>(1994).                                                                                                |
| Líquido/Fango         | Con<br>cobertura<br>de costia<br>natural | 10%                                          | 11% | 13% | 14% | 15% | 17%      | 18% | 20% | 22% | 24% | 26% | 29% | 31% | 34% | 37% | 41%    | 44% | 48% | 50%  | Dictam<br>en com<br>y Som<br>por col<br>promec<br>limitad<br>signific<br>las prec<br>Cuand<br>semipa<br>batch/d<br>según l |
|                       | Sin<br>cobertura<br>de costia<br>natural | 17%                                          | 19% | 20% | 22% | 25% | 27%      | 29% | 32% | 35% | 39% | 42% | 46% | 50% | 55% | 60% | 65%    | 71% | 78% | 80%  | Dictam<br>en co<br>(2001).<br>Cuand<br>semipa<br>batch/d<br>según l                                                        |

**B1: Tabla MCF según tratamiento del estiércol y clima, primera parte (fuente IPCC)**

| Sistema <sup>a</sup>                                                  |         | MCF según la temperatura promedio anual (°C) |     |     |     |     |          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |        |     |     |                                                                   |                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------|---------|----------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|-----|-----|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
|                                                                       |         | Frio                                         |     |     |     |     | Templado |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Cálido |     |     |                                                                   |                                                                     |
|                                                                       |         | ≤ 10                                         | 11  | 12  | 13  | 14  | 15       | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  | 21  | 22  | 23  | 24  | 25     | 26  | 27  | ≥ 28                                                              |                                                                     |
| Laguna anaeróbica no cubierta                                         |         | 66%                                          | 68% | 70% | 71% | 73% | 74%      | 75% | 76% | 77% | 77% | 78% | 78% | 78% | 79% | 79% | 79%    | 80% | 80% | Diet<br>en<br>(200<br>Los<br>por<br>temp<br>pérd<br>(por<br>de la |                                                                     |
| Almacenamiento en pozos por debajo de lugares de confinamiento animal | < 1 mes | 3%                                           |     |     |     |     | 3%       |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 30%    |     |     |                                                                   | Diet<br>en c<br>Zeer<br>Nóte<br>amb<br>las<br>utili<br>bate<br>segú |
|                                                                       | > 1 mes | 17%                                          | 19% | 20% | 22% | 25% | 27%      | 29% | 32% | 35% | 39% | 42% | 46% | 50% | 55% | 60% | 65%    | 71% | 78% | 80%                                                               | Diet<br>en<br>(200<br>Nóte<br>amb<br>las<br>utili<br>bate<br>segú   |

**B2: Tabla MCF según tratamiento del estiércol y clima, segunda parte (fuente: IPCC)**

VALORES DE MCF POR TEMPERATURA PARA SISTEMAS DE GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL

| Sistema <sup>a</sup>                                                               | MCF según la temperatura promedio anual (°C) |     |     |     |     |          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |        |     |      |                                  |                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|-----|------|----------------------------------|--------------------------------------------|
|                                                                                    | Frio                                         |     |     |     |     | Templado |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Cálido |     |      |                                  |                                            |
|                                                                                    | ≤ 10                                         | 11  | 12  | 13  | 14  | 15       | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  | 21  | 22  | 23  | 24  | 25  | 26     | 27  | ≥ 28 |                                  |                                            |
| Digestor anaeróbico                                                                | 0-100%                                       |     |     |     |     | 0-100%   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 0-100% |     |      | Debi<br>cons<br>de<br>alm<br>con |                                            |
| Quemado para combustible                                                           | 10%                                          |     |     |     |     | 10%      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 10%    |     |      | Dicta<br>en c                    |                                            |
| Camas profundas para vacunos y porcinos                                            | < 1 mes                                      | 3%  |     |     |     |          | 3%  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |        | 30% |      |                                  | Dicta<br>en c<br>Es<br>simi<br>del<br>cont |
| Camas profundas para vacunos y porcinos (cont.)                                    | > 1 mes                                      | 17% | 19% | 20% | 22% | 25%      | 27% | 29% | 32% | 35% | 39% | 42% | 46% | 50% | 55% | 60% | 65%    | 71% | 78%  | 80%                              | Dicta<br>combl                             |
| Fabricación de abono orgánico ( <i>compost</i> ) – en tambor                       | 0,5%                                         |     |     |     |     | 0,5%     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 0,5%   |     |      | Dicta<br>Amo<br>mita<br>depe     |                                            |
| Fabricación de abono orgánico ( <i>compost</i> ) – Pila estática <sup>b</sup>      | 0,5%                                         |     |     |     |     | 0,5%     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 0,5%   |     |      | Dicta<br>Amo<br>mita<br>depe     |                                            |
| Fabricación de abono orgánico ( <i>compost</i> ) – intensivo en filas <sup>b</sup> | 0,5%                                         |     |     |     |     | 1,0%     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 1,5%   |     |      | Dicta<br>Amo<br>que<br>depe      |                                            |
| Fabricación de abono orgánico ( <i>compost</i> ) – pasivo en filas <sup>b</sup>    | 0,5%                                         |     |     |     |     | 1,0%     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 1,5%   |     |      | Dicta<br>Amo<br>que<br>depe      |                                            |

**B3: Tabla MCF según tratamiento del estiércol y clima, tercera parte (Fuente: IPCC)**

Derivación de factores de emisión de metano por gestión del estiércol para otros vacunos

| Temperatura promedio anual (°C) |                                      | MCF del sistema de gestión del estiércol                             |                                |                                                  |                   |                               |                    |       |       |
|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------|--------------------|-------|-------|
|                                 |                                      | Laguna <sup>1</sup>                                                  | Líquido/<br>Fango <sup>1</sup> | Almac.<br>sólidos                                | Corral<br>engorde | Pastura/<br>prado/<br>pradera | Distrib.<br>diaria | Dige  |       |
| Frio                            | 10                                   | 66%                                                                  | 17%                            | 2,0%                                             | 1,0%              | 1,0%                          | 0,1%               | 1     |       |
|                                 | 11                                   | 68%                                                                  | 19%                            | 2,0%                                             | 1,0%              | 1,0%                          | 0,1%               | 1     |       |
|                                 | 12                                   | 70%                                                                  | 20%                            | 2,0%                                             | 1,0%              | 1,0%                          | 0,1%               | 1     |       |
|                                 | 13                                   | 71%                                                                  | 22%                            | 2,0%                                             | 1,0%              | 1,0%                          | 0,1%               | 1     |       |
|                                 | 14                                   | 73%                                                                  | 25%                            | 2,0%                                             | 1,0%              | 1,0%                          | 0,1%               | 1     |       |
| Templado                        | 15                                   | 74%                                                                  | 27%                            | 4,0%                                             | 1,5%              | 1,5%                          | 0,5%               | 1     |       |
|                                 | 16                                   | 75%                                                                  | 29%                            | 4,0%                                             | 1,5%              | 1,5%                          | 0,5%               | 1     |       |
|                                 | 17                                   | 76%                                                                  | 32%                            | 4,0%                                             | 1,5%              | 1,5%                          | 0,5%               | 1     |       |
|                                 | 18                                   | 77%                                                                  | 35%                            | 4,0%                                             | 1,5%              | 1,5%                          | 0,5%               | 1     |       |
|                                 | 19                                   | 77%                                                                  | 39%                            | 4,0%                                             | 1,5%              | 1,5%                          | 0,5%               | 1     |       |
|                                 | 20                                   | 78%                                                                  | 42%                            | 4,0%                                             | 1,5%              | 1,5%                          | 0,5%               | 1     |       |
|                                 | 21                                   | 78%                                                                  | 46%                            | 4,0%                                             | 1,5%              | 1,5%                          | 0,5%               | 1     |       |
|                                 | 22                                   | 78%                                                                  | 50%                            | 4,0%                                             | 1,5%              | 1,5%                          | 0,5%               | 1     |       |
|                                 | 23                                   | 79%                                                                  | 55%                            | 4,0%                                             | 1,5%              | 1,5%                          | 0,5%               | 1     |       |
|                                 | 24                                   | 79%                                                                  | 60%                            | 4,0%                                             | 1,5%              | 1,5%                          | 0,5%               | 1     |       |
|                                 | 25                                   | 79%                                                                  | 65%                            | 4,0%                                             | 1,5%              | 1,5%                          | 0,5%               | 1     |       |
| Cálido                          | 26                                   | 79%                                                                  | 71%                            | 5,0%                                             | 2,0%              | 2,0%                          | 1,0%               | 1     |       |
|                                 | 27                                   | 80%                                                                  | 78%                            | 5,0%                                             | 2,0%              | 2,0%                          | 1,0%               | 1     |       |
|                                 | 28                                   | 80%                                                                  | 80%                            | 5,0%                                             | 2,0%              | 2,0%                          | 1,0%               | 1     |       |
| Región                          | Características de los otros vacunos |                                                                      |                                | Utilización del sistema de gestión del estiércol |                   |                               |                    |       |       |
|                                 | Mas <sup>d</sup><br>kg               | B <sub>0</sub> <sup>b</sup><br>m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg VS | VS <sup>c</sup><br>kg/hd/día   |                                                  |                   |                               |                    |       |       |
| América del Norte <sup>4</sup>  | 389                                  | 0,19                                                                 | 2,4                            | 0,0%                                             | 0,2%              | 0,0%                          | 18,4%              | 81,5% | 0,0%  |
| Europa Occidental               | 420                                  | 0,18                                                                 | 2,6                            | 0,0%                                             | 25,2%             | 39,0%                         | 0,0%               | 32,0% | 1,8%  |
| Europa Oriental                 | 391                                  | 0,17                                                                 | 2,7                            | 0,0%                                             | 22,5%             | 44,0%                         | 0,0%               | 20,0% | 0,0%  |
| Oceania                         | 330                                  | 0,17                                                                 | 3,0                            | 0,0%                                             | 0,0%              | 0,0%                          | 9,0%               | 91,0% | 0,0%  |
| América Latina                  | 305                                  | 0,1                                                                  | 2,5                            | 0,0%                                             | 0,0%              | 0,0%                          | 0,0%               | 99,0% | 0,0%  |
| África                          | 173                                  | 0,1                                                                  | 1,5                            | 0,0%                                             | 0,0%              | 0,0%                          | 1,0%               | 95,0% | 1,0%  |
| Oriente Medio                   | 173                                  | 0,1                                                                  | 1,5                            | 0,0%                                             | 0,0%              | 0,0%                          | 1,0%               | 79,0% | 2,0%  |
| Asia                            | 319                                  | 0,1                                                                  | 2,3                            | 0,0%                                             | 0,0%              | 0,0%                          | 46,0%              | 50,0% | 2,0%  |
| Subcontinente Indio             | 110                                  | 0,1                                                                  | 1,4                            | 0,0%                                             | 1,0%              | 0,0%                          | 4,0%               | 22,0% | 20,0% |

B4: Tabla resumen de M.C.F., B<sub>0</sub> y S.V.(VS) del sector vacuno según clima y región (excluyendo búfalos) (Fuente: IPCC)

**III. GRANDES DEMANDAS ( >50 kW )**

**BAJA TENSION CON MEDIDOR HORARIO**

|                                  | CAESS     | DEL SUR   | CLESA     | EEO       | DEUSEM    | EDESAL    |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Cargo de Comercialización:       |           |           |           |           |           |           |
| Cargo Fijo      US\$/Usuario-mes | 10.260164 | 9.455051  | 9.726489  | 7.474456  | 8.036268  | 10.345668 |
| Cargo de Energía:                |           |           |           |           |           |           |
| Energía en Punta      US\$/kWh   | 0.147543  | 0.151867  | 0.146665  | 0.149100  | 0.142278  | 0.148088  |
| Energía en Resto      US\$/kWh   | 0.140055  | 0.143204  | 0.137986  | 0.140110  | 0.133376  | 0.142584  |
| Energía en Valle      US\$/kWh   | 0.111565  | 0.114545  | 0.110617  | 0.112833  | 0.107201  | 0.113583  |
| Cargo de Distribución:           |           |           |           |           |           |           |
| Potencia:      US\$/kW-mes       | 12.117055 | 19.832720 | 19.820635 | 25.008169 | 25.645990 | 18.543678 |

**MEDIA TENSION CON MEDIDOR HORARIO**

|                                  | CAESS     | DEL SUR  | CLESA    | EEO       | DEUSEM    | EDESAL    |
|----------------------------------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Cargo de Comercialización:       |           |          |          |           |           |           |
| Cargo Fijo      US\$/Usuario-mes | 10.260164 | 9.455051 | 9.726489 | 7.474456  | 8.036268  | 10.345668 |
| Cargo de Energía:                |           |          |          |           |           |           |
| Energía en Punta      US\$/kWh   | 0.135651  | 0.139730 | 0.136878 | 0.137136  | 0.132875  | 0.137722  |
| Energía en Resto      US\$/kWh   | 0.128767  | 0.131759 | 0.128779 | 0.128867  | 0.124562  | 0.132603  |
| Energía en Valle      US\$/kWh   | 0.102573  | 0.105391 | 0.103236 | 0.103779  | 0.100116  | 0.105632  |
| Cargo de Distribución:           |           |          |          |           |           |           |
| Potencia:      US\$/kW-mes       | 3.338026  | 5.115078 | 8.864170 | 13.341124 | 13.795586 | 8.719707  |

**B5: Tarifas eléctricas de la superintendencia general de electricidad y telecomunicaciones válidas a partir de 1 de enero de 2010 (Fuente: SIGET, 2010)**

| Presentación | Precio en US\$ |
|--------------|----------------|
| 10 libras    | 2.05           |

|           |      |
|-----------|------|
| 20 libras | 4.10 |
| 25 libras | 5.10 |
| 35 libras | 7.15 |

**B6: Precios máximos al consumidor de presentaciones de propano para  
2010**

(Fuente: Ministerio de Economía, 2010)

| Equipo                   | # Equipos | Potencia unitaria [kW] | Potencia total [kW] | Horas Operación | Consumo kWh | Costo kWh |
|--------------------------|-----------|------------------------|---------------------|-----------------|-------------|-----------|
| Tanque de Almacenamiento | 1         | 5.59                   | 5.59                | 2               | 11.18       | 0.124418  |
| Pasteurizador            | 1         | 24.10                  | 24.10               | 5               | 120.5       | 0.124418  |
| Descremadora.            | 2         | 2.24                   | 4.48                | 5               | 22.4        | 0.124418  |
| Cuarto Frio.             | 1         | 0.70                   | 0.70                | 12              | 8.4         | 0.124418  |
| Compresor de aire.       | 2         | 11.00                  | 22.00               | 4               | 88          | 0.124418  |
| Extractores de aire.     | 6         | 0.75                   | 4.48                | 12              | 53.712      | 0.124418  |
| Luminaria                | 20        | 0.04                   | 0.80                | 12              | 9.6         | 0.124418  |
| Molino de martillo       | 1         | 5.60                   | 5.60                | 1               | 5.6         | 0.124418  |
| Mezcladora.              | 1         | 5.60                   | 5.60                | 1               | 5.6         | 0.124418  |
| Tanque refrigerado       | 1         | 2.98                   | 2.98                | 5               | 14.9        | 0.124418  |
| Ordeñadora               | 1         | 3.73                   | 3.73                | 3               | 11.19       | 0.124418  |
| Picadora de Pasto.       | 1         | 5.60                   | 5.60                | 1               | 5.6         | 0.124418  |
| Ventiladores             | 4         | 0.56                   | 2.24                | 6               | 13.44       | 0.124418  |

| Equipo                    | # Equipos | Potencia unitaria [kW] | Potencia total [kW] | Horas Operación | Consumo kWh | Costo kWh |
|---------------------------|-----------|------------------------|---------------------|-----------------|-------------|-----------|
| Bomba de agua (cisterna). | 1         | 0.75                   | 0.75                | 8               | 5.968       | 0.124418  |
| Bomba de agua (Pozo).     | 3         | 1.49                   | 4.47                | 6               | 26.82       | 0.124418  |
| Luminaria (110V)          | 5         | 0.02                   | 0.11                | 12              | 1.32        | 0.124418  |
| Luminaria (220V)          | 6         | 0.18                   | 1.05                | 12              | 12.6        | 0.124418  |
| Total                     |           | 70.92                  | 94.27               |                 | 416.83      |           |

**B7. Detalle del costo de consumo eléctrico de la planta procesadora de lácteos**

**Alternativa uno: Implementación de generador a biogás en la ganadería**

La inversión inicial de la alternativa 1 se detalla en la siguiente tabla:

| Concepto                              | Precio unitario | Cantidad | Precio     |
|---------------------------------------|-----------------|----------|------------|
| Obra civil del biodigestor            | \$4,000.00      | 1        | \$4,000.00 |
| Geomembrana/Instalación               | \$3,274.74      | 1        | \$3,274.74 |
| Generador que trabaja con biogás      | \$9,518.00      | 1        | \$9,518.00 |
| Costo de envío del generador          | \$1,000.00      | 1        | \$1,000.00 |
| Sistema de Filtros.                   | \$2,000.00      | 1        | \$2,000.00 |
| Tubería (3/4 ")de captación de biogás | \$4.10          | 25       | \$102.50   |
| Válvulas de bola                      | \$15.99         | 3        | \$47.97    |
| Tubería de salida (4")                | \$16.44         | 4        | \$65.76    |
| Tubería de muestreo para biogás       | \$4.10          | 1        | \$4.10     |
| Medidor para gas                      | \$800.80        | 1        | \$800.80   |
| Sistema de quema                      | \$300.00        | 1        | \$300.00   |

|                                   |         |   |                    |
|-----------------------------------|---------|---|--------------------|
| Rejillas para basura, fibra, etc. | \$24.49 | 3 | \$73.47            |
| <b>Total</b>                      |         |   | <b>\$21,187.34</b> |

### B8: Inversión inicial alternativa 1

| <b>Flujo de Fondos Alternativa uno</b> |                     |                   |                   |                   |                   |
|----------------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Concepto</b>                        | <b>2010 (año 0)</b> | <b>2011</b>       | <b>2012</b>       | <b>2013</b>       | <b>2014</b>       |
| <b>Ahorro proyectado</b>               | \$0.00              | \$9,741.93        | \$9,741.93        | \$9,741.93        | \$9,741.93        |
| <b>Costos de operación</b>             | \$0.00              | -\$3,415.00       | -\$3,415.00       | -\$3,415.00       | -\$3,415.00       |
| <b>Utilidad de operación</b>           | <b>\$0.00</b>       | <b>\$6,326.93</b> | <b>\$6,326.93</b> | <b>\$6,326.93</b> | <b>\$6,326.93</b> |
| <b>(-) Depreciación</b>                | \$0.00              | \$1,394.26        | \$1,394.26        | \$1,394.26        | \$1,394.26        |
| <b>Utilidad antes de impuesto</b>      | <b>\$0.00</b>       | <b>\$4,932.67</b> | <b>\$4,932.67</b> | <b>\$4,932.67</b> | <b>\$4,932.67</b> |
| <b>Impuesto del 25%</b>                | \$0.00              | \$1,233.17        | \$1,233.17        | \$1,233.17        | \$1,233.17        |
| <b>Utilidad después de impuesto</b>    | <b>\$0.00</b>       | <b>\$3,699.50</b> | <b>\$3,699.50</b> | <b>\$3,699.50</b> | <b>\$3,699.50</b> |
| <b>(+) Depreciación.</b>               | \$0.00              | \$1,394.26        | \$1,394.26        | \$1,394.26        | \$1,394.26        |
| <b>Inversión</b>                       | -\$21,187.34        | \$0.00            | \$0.00            | \$0.00            | \$0.00            |
| <b>Valor de rescate.</b>               | \$0.00              | \$0.00            | \$0.00            | \$0.00            | \$0.00            |
| <b>Flujo de Fondos</b>                 | <b>-\$21,187.34</b> | <b>\$5,093.76</b> | <b>\$5,093.76</b> | <b>\$5,093.76</b> | <b>\$5,093.76</b> |
| <b>VAN=</b>                            | \$1,007.77          |                   |                   |                   |                   |
| <b>TIR=</b>                            | 12%                 |                   |                   |                   |                   |

### B9: Cuadro de flujo de fondo alternativa uno.

El ahorro proyecta para la alternativa 1 se detalla en la siguiente tabla.

| <b>Alternativa Uno</b>                      |                    |
|---------------------------------------------|--------------------|
| Biogas Generado (m3 / dia).                 | 69.60              |
| Consumo de biogas del generador (m3/hora).  | 12.80              |
| Capacidad de trabajo del generador (horas). | 5.4375             |
| Generador de 40 kWh.                        | 40                 |
| kWh Generado.                               | 217.50             |
| Costo por kWh                               | \$ 0.12            |
| <b>Ahorro Diario.</b>                       | <b>\$ 27.06</b>    |
| <b>Ahorro mensual.</b>                      | <b>\$ 811.83</b>   |
| <b>Ahorro Anual.</b>                        | <b>\$ 9,741.93</b> |

#### **B10. Cuadro de ahorro proyectado para la alternativa 1.**

#### **Alternativa dos: Alimentación de biogás a la caldera**

La inversión inicial de la alternativa dos se detalla en la siguiente tabla:

| <b>Concepto</b>            | <b>Precio unitario</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio</b> |
|----------------------------|------------------------|-----------------|---------------|
| Obra civil del biodigestor | \$4,000.00             | 1               | \$4,000.00    |

| <b>Concepto</b>                       | <b>Precio unitario</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio</b>     |
|---------------------------------------|------------------------|-----------------|-------------------|
| Geomembrana/Instalación               | \$3,274.74             | 1               | \$3,274.74        |
| Tubería (3/4 ")de captación de biogás | \$4.10                 | 25              | \$102.50          |
| Trampa de humedad                     | \$50.00                | 3               | \$150.00          |
| Filtro de ácido sulfhídrico           | \$167.80               | 1               | \$167.80          |
| Válvulas de bola                      | \$15.99                | 3               | \$47.97           |
| Tubería de salida (4")                | \$16.44                | 4               | \$65.76           |
| Tubería de muestreo para biogás       | \$4.10                 | 1               | \$4.10            |
| Medidor para gas                      | \$800.80               | 1               | \$800.80          |
| Sistema de quema                      | \$300.00               | 1               | \$300.00          |
| Rejillas para basura, fibra, etc.     | \$24.49                | 3               | \$73.47           |
| Modificación de la caldera            | \$250.00               | 1               | \$250.00          |
| <b>Total</b>                          |                        |                 | <b>\$9,237.14</b> |

**B11: Inversión inicial alternativa dos.**

| <b>Flujo de Fondos Alternativa Dos.</b> |                     |               |               |               |               |
|-----------------------------------------|---------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>Concepto</b>                         | <b>2010 (año 0)</b> | <b>2011</b>   | <b>2012</b>   | <b>2013</b>   | <b>2014</b>   |
| <b>Ahorro proyectado</b>                | \$ -                | \$ 5,166.00   | \$ 5,166.00   | \$ 5,166.00   | \$ 5,166.00   |
| <b>Costos de operación</b>              | \$ -                | \$ (2,049.50) | \$ (2,049.50) | \$ (2,049.50) | \$ (2,049.50) |
| <b>Utilidad de operación</b>            | \$ -                | \$ 3,116.50   | \$ 3,116.50   | \$ 3,116.50   | \$ 3,116.50   |
| <b>(-) Depreciación</b>                 | \$ -                | \$ 162.10     | \$ 162.10     | \$ 162.10     | \$ 162.10     |
| <b>Utilidad antes de impuesto</b>       | \$ -                | \$ 2,954.40   | \$ 2,954.40   | \$ 2,954.40   | \$ 2,954.40   |
| <b>Impuesto del 25%</b>                 | \$ -                | \$ 738.60     | \$ 738.60     | \$ 738.60     | \$ 738.60     |
| <b>Utilidad después de impuesto</b>     | \$ -                | \$ 2,215.80   | \$ 2,215.80   | \$ 2,215.80   | \$ 2,215.80   |

|                   |               |             |             |             |             |
|-------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                   |               |             |             |             | 2,215.80    |
| (+) Depreciación. | \$ -          | \$ 162.10   | \$ 162.10   | \$ 162.10   | \$ 162.10   |
| Inversión         | \$ (9,237.14) | \$ -        | \$ -        | \$ -        | \$ -        |
| Valor de rescate. |               |             |             |             |             |
| Flujo de Fondos   | \$ (9,237.14) | \$ 2,377.90 | \$ 2,377.90 | \$ 2,377.90 | \$ 2,377.90 |

|      |          |
|------|----------|
| VAN= | \$112.47 |
| TIR= | 10%      |

## B12. Evaluación de flujo de fondo alternativa dos

| Flujo de Fondos Alternativa dos sin subsidio |              |             |             |             |             |
|----------------------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Concepto                                     | 2010 (año 0) | 2011        | 2012        | 2013        | 2014        |
| Ahorro proyectado                            | \$0.00       | \$17,262.00 | \$17,262.00 | \$17,262.00 | \$17,262.00 |
| Costos de operación                          | \$0.00       | -\$2,049.50 | -\$2,049.50 | -\$2,049.50 | -\$2,049.50 |

|                                     |                    |                    |                    |                    |                    |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Utilidad de operación</b>        | <b>\$0.00</b>      | <b>\$15,212.50</b> | <b>\$15,212.50</b> | <b>\$15,212.50</b> | <b>\$15,212.50</b> |
| <b>(-) Depreciación</b>             | <b>\$0.00</b>      | <b>\$162.10</b>    | <b>\$162.10</b>    | <b>\$162.10</b>    | <b>\$162.10</b>    |
| <b>Utilidad antes de impuesto</b>   | <b>\$0.00</b>      | <b>\$15,050.40</b> | <b>\$15,050.40</b> | <b>\$15,050.40</b> | <b>\$15,050.40</b> |
| <b>Impuesto del 25%</b>             | <b>\$0.00</b>      | <b>\$3,762.60</b>  | <b>\$3,762.60</b>  | <b>\$3,762.60</b>  | <b>\$3,762.60</b>  |
| <b>Utilidad después de impuesto</b> | <b>\$0.00</b>      | <b>\$11,287.80</b> | <b>\$11,287.80</b> | <b>\$11,287.80</b> | <b>\$11,287.80</b> |
| <b>(+) Depreciación.</b>            | <b>\$0.00</b>      | <b>\$162.10</b>    | <b>\$162.10</b>    | <b>\$162.10</b>    | <b>\$162.10</b>    |
| <b>Inversión</b>                    | <b>-\$9,237.14</b> | <b>\$0.00</b>      | <b>\$0.00</b>      | <b>\$0.00</b>      | <b>\$0.00</b>      |
| <b>Valor de rescate.</b>            |                    |                    |                    |                    |                    |
| <b>Flujo de Fondos</b>              | <b>-\$9,237.14</b> | <b>\$11,449.90</b> | <b>\$11,449.90</b> | <b>\$11,449.90</b> | <b>\$11,449.90</b> |

|             |                 |
|-------------|-----------------|
| <b>VAN=</b> | <b>\$491.20</b> |
| <b>TIR=</b> | <b>122%</b>     |

### **B13. Evaluación de flujo de fondo alternativa dos: gas propano sin subsidio.**

El ahorro proyecta para la alternativa 2 se detalla en la siguiente tabla.

| <b>Alternativa Dos</b>             |                   |                                    |                    |
|------------------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------|
| <b>Gas Propano con subsidio</b>    |                   | <b>Gas Propano sin subsidio</b>    |                    |
| Precio de cilindro de gas de 20lb. | \$4.10            | Precio de cilindro de gas de 20lb. | \$13.70            |
| Consumo de cilindro de gas diario. | 7                 | Consumo de cilindro de gas diario. | 7                  |
| Gasto diario                       | \$28.70           | Gasto diario                       | \$95.90            |
| Gasto anual                        | \$10,475.50       | Gasto anual                        | \$35,003.50        |
| <b>Consumiendo el 50%:</b>         |                   | <b>Consumiendo el 50%:</b>         |                    |
| Ahorro diario                      | <b>\$14.35</b>    | Ahorro diario                      | <b>\$47.95</b>     |
| Ahorro anual:                      | <b>\$5,166.00</b> | Ahorro anual:                      | <b>\$17,262.00</b> |

**B14. Cuadro de ahorro proyectado para la alternativa 2.**

| Tipo de animal y producción por grupo | Sólidos totales | Sólidos volátiles | DCO | DBO   | Nitrógeno | P      | K      | Total d                   |
|---------------------------------------|-----------------|-------------------|-----|-------|-----------|--------|--------|---------------------------|
|                                       |                 |                   |     |       |           |        |        | Kg / animal por día (d-a) |
| Vaca lactante                         | 8.9             | 7.5               | 8.1 | 1.3   | 0.45      | 0.078  | 0.103  | 68                        |
| vaca horra                            | 4.9             | 4.2               | 4.4 | 0.626 | 0.23      | 0.03   | 0.148  | 38                        |
| Ternero lactante                      |                 |                   |     |       | 0.0079    |        |        |                           |
| Ternero                               | 1.4             |                   |     |       | 0.063     |        |        | 8.5                       |
| Novilla                               | 3.7             | 3.2               | 3.4 | 0.54  | 0.12      | 0.02   |        | 22                        |
| Ternera                               | 0.12            |                   |     |       | 0.015     | 0.0045 | 0.0199 | 3.5                       |

**B15: Tabla de propiedades de estiércol de ganado vacuno del ASAE  
(Asociación Americana de Ingenieros Agricultores, por sus siglas en inglés)  
(Fuente: ASAE, 2005)**