



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**UNIDAD DE POSGRADOS**

**TESIS EN OPCIÓN AL GRADO ACADÉMICO DE**  
**MAGISTER EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**Título:**

---

**“DETERMINACIÓN DE LA POTENCIALIDAD DE LA BIOMASA GENERADA EN LA HACIENDA ESPINOZA SECTOR CUMBIJÍN CANTÓN SALCEDO-2013 PARA CUBRIR LA DEMANDA DEL GLP. DISEÑO TECNOLÓGICO DE UN BIODIGESTOR”.**

---

**Autor: Ing. Bonilla Jiménez William Moisés**

**Tutor: Msc. Terrero Matos Eduardo.**

LATACUNGA – ECUADOR

Diciembre – 2013



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD DE POSGRADO

Latacunga – Ecuador

---

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe en consideración de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el maestrante: Bonilla Jiménez William Moisés, con el título de tesis: **“Determinación de la potencialidad de la biomasa generada en la hacienda Espinoza sector Cumbijín cantón Salcedo-2013 para cubrir la demanda del GLP, diseño tecnológico de un biodigestor”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Tesis.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga diciembre 2013

Para constancia firman:

.....  
Lic. MSc. Rosa Terán  
PRESIDENTE

.....  
PhD. Secundino Marreno  
MIEMBRO

.....  
MSc. Edison Yépez  
MIEMBRO

.....  
Ing. MSc. Gabriel Hernández  
OPOSITOR

## **AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS**

Latacunga, Diciembre del 2013

En mi calidad de Director de Tesis presentada por el Ing. Bonilla Jiménez William Moisés, Egresado de la Maestría en Gestión de Energías, previa a la obtención del mencionado grado académico, cuyo título es **“Determinación de la potencialidad de la biomasa generada en la hacienda Espinoza sector Cumbijín cantón Salcedo-2013 para cubrir la demanda del GLP, diseño tecnológico de un biodigestor”**.

Considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador.

Atentamente

Msc. Eduardo Terrero Matos.

**DIRECTOR DE TESIS**

## **AUTORÍA**

Yo, William Moisés Bonilla Jiménez, portador del número de cédula 0502375421, declaro que la presente Tesis de Grado, es fruto de mi esfuerzo, responsabilidad y disciplina, logrando que los objetivos propuestos se culminen con éxito.

Atentamente

William Moisés Bonilla Jiménez.

C. I. 0502375421

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, porque en sus aulas, recibimos el conocimiento intelectual y humano de cada uno de los docentes de posgrados.

Quiero agradecer a mi tutor, Msc. Eduardo Terrero Matos, a mi amigo Msc. Gabriel Hernández por sus consejos, amistad, paciencia y dedicación para culminar con éxito este trabajo.

William

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a **Dios**, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi hijo **Esteban** por cederme el tiempo que a él le pertenecía, además por compartir conmigo los momentos más felices de mi vida y los más tristes.

A mis familiares, viejos amigos y a quienes recién se sumaron a mi vida para hacerme compañía con sus sonrisas de ánimo.

William

**CERTIFICACIÓN DE CÉDITOS QUE AVALAN LA TESIS  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSGRADOS**

**PROGRAMA: “MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS”**

“Determinación de la potencialidad de la biomasa generada en la hacienda Espinoza sector Cumbijín cantón Salcedo-2013 para cubrir la demanda del GLP, diseño tecnológico de un biodigestor.”

Autor: William Moisés Bonilla Jiménez.

Fecha: Diciembre del 2013

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**UNIDAD DE POSGRADOS**  
**MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**TÍTULO: “Determinación de la potencialidad de la biomasa generada en la hacienda Espinoza sector Cumbijín cantón Salcedo-2013 para cubrir la demanda del GLP, diseño tecnológico de un biodigestor”.**

**AUTOR:** BONILLA JIMÉNEZ William Moisés.

**TUTOR:** Msc. TERRERO MATOS Eduardo.

**RESUMEN.**

El presente proyecto nace de la necesidad de determinar la potencialidad de la biomasa generada en la hacienda Espinoza para cubrir la demanda del GLP y de esta manera, encontrar una forma alternativa de producción de energía que sea capaz de disminuir la actual dependencia de los derivados del petróleo y a su vez la generación de biofertilizante. Por la preocupación mundial actual de brindar a las personas un modelo donde se puede observar la obtención de biogás a base de aprovechar los recursos naturales y desechos orgánicos que se producen en gran cantidad dentro y más aún fuera de la ciudad.

Se realizó un estudio de biodigestores con la finalidad de encontrar el más adecuado para cubrir necesidades de rendimiento y tiempos de producción de biogás. El diseño de este biodigestor da como resultado la obtención de gas metano que sirve como un combustible de similares características al gas licuado de petróleo. El presente trabajo servirá como una referencia para la construcción de biodigestores a gran escala en las comunidades.

**Descriptores.**

Biomasa, biogás, biodigestor.



## **SCHOOLMASTER IN ENERGY MANAGEMENT**

### **TOPIC:**

**"Determination of biomass potential generated at Espinoza Farm Cumbijín, Salcedo Canton, 2013 period in order to meet the liquid petroleum gas (LPG demand), technological design of a bio-composter."**

**AUTHOR: BONILLA JIMENEZ William Moisés**

**TUTOR: MSc. TERRERO MATOS Eduardo**

### **ABSTRACT**

This research calculates the potential for the biomass generated at Espinoza Farm to fulfill local demand for liquid petroleum gas (LPG), to reduce national dependence on petroleum, and to generate bio-fertilizer. Currently, there is a global concern to bring to the public a model of waste management that utilizes natural resources and organic waste in and around cities to generate energy. This study examines different composters in order to determine the most efficient in terms of time and biogas production. The ideal composter design produces methane gas, which has similar properties and uses to liquid petroleum gas. This research will inform the construction of large-scale composters in Ecuadorian communities.

**Key Words:** Biomass, biogas, compost, composting.

## ÍNDICE

| <b>Contenido</b>                                    | <b>Páginas</b> |
|---|----------------|
| PORTADA .....                                       | 1              |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....               | ii             |
| AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS.....                     | iii            |
| AUTORÍA.....  | iv             |
| AGRADECIMIENTO .....                                | v              |
| DEDICATORIA .....                                   | vi             |
| <b>ABSTRACT</b> .....                               | ix             |
| ÍNDICE .....  | x              |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                              | xiv            |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                              | xv             |
| ÍNDICE DE ECUACIONES.....                           | xvi            |
| INTRODUCCIÓN.....                                   | 1              |
| <b>CAPITULO I – EL PROBLEMA.</b> .....              | 3              |
| <b>1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.</b> .....        | 3              |
| <b>1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.</b> .....          | 4              |
| <b>1.3 OBJETO DE ESTUDIO.</b> .....                 | 4              |
| <b>1.4 OBJETIVOS.</b> .....                         | 4              |
| <b>1.4.1 OBJETIVOS GENERALES.</b> .....             | 4              |
| <b>1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.</b> .....           | 4              |
| <b>1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.</b> ..... | 5              |
| <b>1.6 HIPÓTESIS.</b> .....                         | 5              |
| <b>1.7 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.</b> .....         | 5              |
| <b>2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.</b> .....  | 6              |
| <b>2.2 EL BIOGÁS.</b> .....                         | 7              |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.2.1 COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS.....   | 7         |
| 2.2.2 PRINCIPIOS DE LA COMBUSTION. ....  | 8         |
| 2.2.3 EQUIPOS DONDE EL BIOGÁS PUEDE SER UTILIZADO. ....  | 9         |
| 2.2.4 USOS DEL BIOGAS. ....  | 10        |
| <b>2.3 PROCESOS DE DESCOMPOSICION DE MATERIA ORGANICA.</b>   | <b>11</b> |
| 2.3.1 DESCOMPOSICIÓN AEROBICA.....   | 11        |
| 2.3.2 DESCOMPOSICION ANAERÓBICA. ....  | 11        |
| <b>2.4 CONDICIONES BÁSICAS PARA LA PRODUCCIÓN DE METANO.</b>   | <b>15</b> |
| 2.4.1 AMBIENTE ESTRICTAMENTE ANAERÓBICO. ....  | 16        |
| 2.4.2 TEMPERATURA APROPIADA.....   | 16        |
| 2.4.3 PH APROPIADO Y ALCALINIDAD. ....   | 17        |
| 2.4.4 AGITACIÓN.....   | 17        |
| 2.4.5 ÁCIDOS VOLÁTILES.....  | 18        |
| 2.4.6 SÓLIDOS TOTALES Y SÓLIDOS VOLÁTILES.....   | 18        |
| 2.4.7 TIPO DE MATERIA PRIMA.....   | 18        |
| <b>2.5 BIODIGESTOR. ....</b>   | <b>20</b> |
| 2.5.1 Sistemas de biodigestión.....  | 20        |
| <b>2.6 PROBLEMAS LOCALES QUE SE ENFRENTAN. ....</b>  | <b>23</b> |
| <b>2.7 PROBLEMAS GLOBALES QUE SE REFLEXIONAN. ....</b>   | <b>23</b> |
| <b>2.8 DETERMINACIÓN DE LA POTENCIALIDAD DE LA BIOMASA<br/>GENERADA EN LA HACIENDA ESPINOZA SECTOR CUMBIJÍN<br/>CANTÓN SALCEDO. ....</b> | <b>24</b> |
| 2.8.1 Ecuación de Estado de los Gases .....  | 24        |
| 2.8.2 Cálculo del volumen líquido. ....  | 25        |
| 2.8.3 La densidad. ....  | 25        |
| <b>2.9 MARCO LEGAL VIGENTE.....</b>  | <b>25</b> |
| <b>2.10 CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO .....</b>  | <b>27</b> |
| <b>CAPÍTULO III – METODOLOGÍA .....</b>  | <b>28</b> |
| <b>3.1. INTRODUCCIÓN.....</b>  | <b>28</b> |
| <b>3.2- DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN. ....</b>   | <b>29</b> |
| 3.2.1-Modalidad de la investigación .....  | 29        |
| 3.2.2. Tipo de Investigación.....  | 31        |
| <b>3.3. UNIDAD DE ESTUDIO (población y muestra).....</b>   | <b>34</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>3.4.- EQUIPO UTILIZADO.</b> .....   | <b>35</b> |
| 3.4.1 Biodigestor realizado para la Investigación. ....  | 35        |
| 3.4.2 Instrumentos utilizados para determinar la potencialidad de la biomasa generada en la hacienda Espinoza sector Cumbijín Cantón Salcedo. .... | 36        |
| <b>3.6 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO</b> .....   | <b>39</b> |
| <b>CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....  | <b>40</b> |
| <b>4.1.- CÁLCULO PARA DETERMINAR LA POTENCIALIDAD DE LA BIOMASA GENERADA EN LA HACIENDA ESPINOZA SECTOR CUMBIJÍN CANTÓN SALCEDO.</b> .....         | <b>40</b> |
| 4.1.1 Descripción del ensayo. ....   | 40        |
| 4.1.2 Determinación de la constante particular del biogás (Rp). ....   | 41        |
| 4.1.3 Cálculo de la masa de Biogás generada. ....  | 42        |
| <b>4.2 DETERMINACIÓN DE LA BIOMASA</b> .....   | <b>45</b> |
| <b>4.3 ANÁLISIS DEL pH DURANTE EL ENSAYO DE DIGESTIÓN.</b> .....   | <b>46</b> |
| <b>4.4 ANÁLISIS DE LA MASA GENERADA DE BIOGÁS DURANTE EL ENSAYO DE DIGESTIÓN.</b> .....  | <b>48</b> |
| <b>4.8 CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO</b> .....   | <b>49</b> |
| <b>CAPITULO V: LA PROPUESTA</b> .....  | <b>50</b> |
| <b>5.1 TÍTULO DE LA PROPUESTA</b> .....  | <b>50</b> |
| <b>5.2 JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA</b> .....   | <b>50</b> |
| <b>5.3 OBJETIVOS DE LA PROPUESTA</b> .....   | <b>50</b> |
| <b>5.4 ESTRUCTURA DE LA PROPUESTA</b> .....  | <b>51</b> |
| 5.4.1 Selección del biodigestor. ....  | 51        |
| 5.4.2 Dimensionamiento del biodigestor.....  | 55        |
| 5.4.3 Diseño del biodigestor en Inventor.....  | 57        |
| <b>5.5 DESARROLLO DE LA PROPUESTA</b> .....  | <b>60</b> |
| <b>5.6 EVALUACIÓN SOCIO-ECONÓMICO-CULTURAL-AMBIENTAL DE LA PROPUESTA.</b> .....  | <b>65</b> |
| 5.6.1 Resultados de la valoración cultural y socioeconómica de la propuesta del diseño tecnológico del biodigestor.....                            | 66        |
| <b>5.6.2 Análisis de impacto ambiental.</b> .....  | <b>66</b> |
| <b>5.6.3 Causas ambientales en la zona.</b> .....  | <b>67</b> |

|  |    |
|--|----|
| <b>5.6.4 Afectación al aire.</b> ..... | 67 |
| CONCLUSIONES.....                      | 68 |
| RECOMENDACIONES .....                  | 69 |
| BIBLIOGRAFÍA .....                     | 70 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 2.1</b> Alternativas de utilización de un metro cúbico de biogás.....                  | 10 |
| <b>Figura 2.2</b> Usos del biogás. ....  | 11 |
| <b>Figura 2.3</b> Esquema del proceso de digestión anaeróbica.....                               | 15 |
| <b>Figura 2.4</b> Productos finales de la descomposición orgánica.....                           | 20 |
| <b>Figura 2.5</b> Esquema general de un biodigestor de flujo continuo. ....                      | 21 |
| <b>Figura 2.6</b> Esquema de un biodigestor de flujo discontinuo (Tipo Batch) .....              | 22 |
| <b>Figura 2.7</b> Esquema de un sistema de biodigestión de dos etapas .....                      | 23 |
|  |    |
| <b>Figura 3. 1</b> Ubicación del sector.....   | 30 |
| <b>Figura 3. 2</b> Metodología de diseño de un biodigestor .....                                 | 31 |
| <b>Figura 3. 3</b> Materiales para ser acoplados en el biodigestor. ....                         | 35 |
| <b>Figura 3. 4</b> Biodigestor terminado .....   | 36 |
| <b>Figura 3. 5</b> Instrumento HANNA HI9813-6 utilizado para medición de temperaturas y PH. .... | 37 |
| <b>Figura 3. 6</b> Instrumento HANNA HI9813-6.....   | 38 |
| <b>Figura 3. 7</b> Especificaciones instrumento HANNA HI9813-6.....                              | 38 |
| <b>Figura 3. 8</b> Preparación del gasómetro (Laboratorio de Química ESPE-EL).....               | 39 |
|  |    |
| <b>Figura 4. 1</b> Obtención de las muestras para mediciones .....                               | 44 |
| <b>Figura 4. 2</b> Mediciones de Temperaturas.....   | 44 |
| <b>Figura 4. 3</b> Variación del PH desde el día 0 al día 65.....                                | 47 |
| <b>Figura 4. 4</b> Mediciones del PH en el campo .....   | 47 |
| <b>Figura 4. 5</b> Masa genera de biogás durante el ensayo desde el día 0 al día 65 .....        | 48 |
|  |    |
| <b>Figura 5. 1</b> Alternativa A. ....   | 52 |
| <b>Figura 5. 2</b> Alternativa B.....  | 53 |
| <b>Figura 5. 3</b> Alternativa C.....  | 54 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 5. 4</b> Dimensiones del biodigestor terminado..... | 57 |
| <b>Figura 5. 5</b> Resultados obtenidos en el inventor.....   | 60 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 2.1</b> Características del biogás.....  | 8  |
| <b>Tabla 2.2</b> Aplicaciones del biogás .....  | 9  |
| <b>Tabla 2.3</b> Marco Legal respecto a la gestión de los residuos sólidos en Ecuador.....            | 26 |
| <br>  |    |
| <b>Tabla 3. 1</b> Potencialidad de la Biomasa. ....   | 33 |
| <b>Tabla 3. 2</b> Biogás .....  | 33 |
| <br>  |    |
| <b>Tabla 4. 1</b> Mediciones de presión, temperatura, volumen, masa obtenida .....                    | 43 |
| <b>Tabla 4. 2</b> Cantidad de biomasa generada en la hacienda .....                                   | 45 |
| <b>Tabla 4. 3</b> Variación del PH. ....  | 46 |
| <br>  |    |
| <b>Tabla 5. 1</b> Medidas del Biodigestor .....   | 56 |
| <b>Tabla 5. 2</b> Desglose de los materiales directos para la construcción del .....                  | 60 |
| <b>Tabla 5. 3</b> Costo de mano de obra para la construcción del biodigestor.....                     | 61 |
| <b>Tabla 5. 4</b> Costos Indirectos. ....   | 61 |
| <b>Tabla 5. 5</b> Costos Varios. ....   | 62 |
| <b>Tabla 5. 6</b> Costo Total. ....   | 62 |
| <b>Tabla 5. 7</b> Costos de producción de biogás .....  | 63 |
| <b>Tabla 5. 8</b> Costo unitario del m <sup>3</sup> de biogás.....                                    | 63 |
| <b>Tabla 5. 9</b> Variación inflación anual. ....   | 63 |
| <b>Tabla 5. 10</b> Tasa pasiva .....  | 64 |
| <b>Tabla 5. 11</b> Beneficios económicos totales (US\$) de 1,069 m <sup>3</sup> de biogás diarios. .. | 64 |

## ÍNDICE DE ECUACIONES

|   |    |
|---|----|
| <b>Ecuación 2.1</b> Energía .....                       | 11 |
| <b>Ecuación 2.2</b> Variación de Energía.....           | 12 |
| <b>Ecuación 2.3</b> Estado de los Gases Perfectos ..... | 24 |
| <b>Ecuación 2.4</b> Volumen liquido .....               | 25 |
| <b>Ecuación 2.5</b> Densidad.....                       | 25 |



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la humanidad se enfrenta a diversos problemas, quizás dos de los más impactantes son el cambio climático y el agotamiento de los combustibles fósiles.

La acumulación de residuos agropecuarios, principalmente de origen animal, representa una fuente significativa de contaminación; además durante su reincorporación al medio, se liberan gran cantidad de gases de efecto invernadero, entre ellos CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y otros que incrementan de manera considerable el calentamiento global del planeta. Por otro lado, la amenaza de que las reservas de petróleo, principal combustible para vehículos y máquinas, se agotará en las siguientes décadas obliga a buscar nuevas alternativas que en un futuro lo sustituyan como el principal combustible.

En este sentido, diversas alternativas se han dado para resolver los problemas planteados anteriormente, de manera individual y conjunta. En especial los sistemas de digestión anaeróbica de residuos orgánicos (residuos animales entre ellos) representan una alternativa viable debido a que aplican un tratamiento a los desechos, reduciendo con esto la contaminación.

A pesar del avance en el desarrollo de esta tecnología, todavía se requiere optimizar aspectos del proceso que permitan su incorporación a un nivel más industrial. En los últimos años, el modelado matemático de los sistemas biológicos, ha llegado a ser una herramienta importante de soporte para el diseño, operación y control de los sistemas de digestión anaeróbica.

Dado lo anterior, el objetivo de este trabajo es la de incluir fuentes alternativas de energía determinando la potencialidad de la biomasa generada en la hacienda Espinoza en el sector Cumbijín del Cantón Salcedo para

cubrir la demanda del GLP. La mayor dedicación de la hacienda está dirigida a la producción de leche de ganado vacuno y al cultivo de papas, habas, etc. Cuenta con un número de 200 cabezas de ganado vacuno, con un total de 25 trabajadores.

La energía que se consume en el proceso productivo de la leche en la hacienda se deriva de la Leña, GLP y energía eléctrica. Sin embargo existe potencialidad de generación de energía de fuente alternativa la cual no se aprovecha. Para esto se propone el análisis de selección y diseño tecnológico de un biodigestor que aproveche la biomasa animal como parte del sustrato para la obtención de biogás para cubrir un porcentaje de la demanda del GLP

## **CAPITULO I – EL PROBLEMA.**

En el presente capítulo se analiza el problema de Investigación, se realiza la contextualización a niveles macro, meso y micro; se determina el objeto y campo de la investigación, la justificación y se plantean los respectivos objetivos.

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

La adopción de biodigestores ha sido muy alta entre agricultores de áreas donde la biomasa local escasea fundamentalmente la leña, el GLP o el acceso a electricidad u otras fuentes de energía es limitado. En sentido general, la crisis climática y ambiental de nuestro planeta se debe, entre otros, al uso indiscriminado de combustibles fósiles que son la base de la generación de energías no renovables, a la incesante deforestación y drástica pérdida de la diversidad de especies de plantas y animales, que consecuentemente ocasionan una serie de problemas que de una u otra manera se expresan en el calentamiento global y el cambio climático, que actualmente se vuelve cada vez más crítico a nivel del planeta. (Hilbert, 2003)

La problemática de las zonas rurales es compleja como es el caso de la hacienda. En lo relacionado al uso de combustibles fósiles para cocinar, la preocupación comienza con el costo y la dificultad de conseguir el gas licuado de petróleo GLP por la distancia hacia su lugar de expendio. Por otra parte la escasez de leña o la distancia desde las viviendas hasta donde se consigue son también hechos que se toma en cuenta, así como también las consecuencias que puede tener el usar y cocinar con leña, especialmente en la salud de las mujeres, niñas y niños, quienes suelen permanecer más en la cocina. Por tal motivo se realizará una eficiente evaluación de la potencialidad de la biomasa en la hacienda Espinoza sector Cumbijín Cantón Salcedo, que permitirá seleccionar y diseñar un biodigestor capaz de cubrir una determinada demanda de GLP. (Bonilla, 2013)

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

Desconocimiento de la Potencialidad de la biomasa generada en la hacienda Espinoza sector Cumbijín Cantón Salcedo para cubrir determinada demanda del GLP.

## **1.3 OBJETO DE ESTUDIO.**

Potencialidad de la biomasa generada en la hacienda Espinoza.

## **1.4 OBJETIVOS.**

### **1.4.1 OBJETIVOS GENERALES.**

- Determinar la Potencialidad de la biomasa generada en la hacienda Espinoza sector Cumbijín Cantón Salcedo.
- Diseñar tecnológicamente un Biodigestor de acuerdo a las características diagnosticadas.

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Establecer la información científica técnica para realizar la investigación.
- Determinar el volumen de biomasa generada en la hacienda.
- Determinar la demanda de Gas licuado de petróleo.
- Fundamentar científica y tecnológicamente la investigación propuesta.
- Seleccionar y diseñar el prototipo del biodigestor.
- Determinar la pre factibilidad del prototipo a diseñar.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.**

Muchas zonas marginales del país en la actualidad no cuentan con la facilidad de conseguir fuentes de energía, GLP y energía eléctrica para realizar las actividades normales que hace todo individuo, por lo que se han visto en la triste obligación de vivir como hace siglos atrás, en la oscuridad. Con este trabajo se pretende dar una guía para que la población rural pueda contar con una fuente de energía inagotable de bajo costo y muy segura; para que de esta manera puedan ahorrar o sustituir la energía utilizada en la actualidad como la energía eléctrica y el gas licuado de petróleo, además de contribuir con el medio ambiente y de obtener un bioabono de alta calidad que será utilizado en los sembríos de la hacienda. (Hilbert, 2003)

Es por eso que se pretende la producción de biogás generado en un biodigestor, que se empleará para la generación de energía calorífica de uso doméstico en la preparación de alimentos o el uso que sea necesario; además de aprovechar materia considerada como desperdicio. (Bonilla, 2013)

## **1.6 HIPÓTESIS.**

Una eficiente evaluación de la potencialidad de la biomasa en la hacienda Espinoza sector Cumbijín Cantón Salcedo, permitirá seleccionar y diseñar un biodigestor capaz de cubrir una determinada demanda de GLP del caso de estudio.

## **1.7 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.**

Se plantea los objetivos necesarios para el análisis y se determinaron los principales elementos estructurales del diseño de la investigación, permitiendo con ello centrar las líneas primordiales de trabajo para el desarrollo de la tesis.

## **CAPITULO II - MARCO TEÓRICO.**

En el presente capítulo se analiza el marco teórico, antecedentes macro, meso y micro acerca de la investigación así como también la conceptualización y las fundamentaciones respectivas en las que se especifican las orientaciones teóricas necesarias para la elaboración de la tesis.

### **2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.**

El hombre se ha visto en la necesidad de buscar nuevas fuentes de energías renovables que permitan la mantención del equilibrio de los ecosistemas. Un claro ejemplo de éstas es la Bioenergética. La base de este tipo de energía es la llamada Biomasa, término que se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas, desechos de animales y humanos. (Biomásica, 1985)

La producción de biogás generado en el reactor se empleará para la generación de energía calorífica de uso doméstico en la preparación de alimentos o el uso que sea necesario. Además de aprovechar materia considerada como desperdicio, origina como subproducto un fertilizante de calidad excelente. Es un combustible económico y renovable. (Biomásica, 1985)

En el mundo se han construido varios biodigestores como en el noroeste de Hungría la firma alemana Franz Eisele und Soehne, Pumpen und Maschinenfabrik ha construido una de las mayores instalaciones de biodigestores dedicada las actividades agropecuarias del mundo. En Nicaragua, Jinotega, se realizó el diseño e implementación de biodigestores en comunidades rurales de la parte alta de la subcuenca del Río Viejo. En México se desarrolló un biodigestor a Gas para uso Doméstico Sustentable. (Morales, 2011)

Se conoce que en la actualidad el alto índice de consumo de recursos no renovables es un tema preocupante en el País, debido a la explotación y consumo de los combustibles fósiles, y el alto nivel de contaminación e impacto ambiental que estos

generan.

Los datos revelan que de los desechos de 5 vacas, o 10 cerdos, se obtiene el biogás necesario para generar 3 kilovatios hora (kWh) de electricidad. La utilización de estas fuentes está vinculada al uso de tecnologías eficientes en el consumo de energía, que permitan que esta producción sea competitiva frente al uso de los combustibles derivados del petróleo. (Morales, 2011)

En el Ecuador se han desarrollado varias proyectos como el Diseño de un biodigestor para generar biogás y abono a partir de desechos orgánicos de animales aplicable en las zonas agrarias del Litoral en la Ciudad de Guayaquil. Diseño de un biodigestor para una Finca del Recinto San Luís de las Mercedes del Cantón las Naves de la Provincia de Bolívar. Diseño y construcción de un biodigestor plástico de flujo continuo (Monar, 2009), Diseño y construcción de un biodigestor plástico de flujo continuo, a partir de desechos orgánicos para la hacienda San Antonio del IASA II, perteneciente a la ESPE (Díaz, 2007). En el sector de Cumbijín Cantón Salcedo lugar donde se realizará la investigación no se ha realizado ningún proyecto relacionado.

## **2.2 EL 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 microorganismo y otros factores, en ausencia de oxígeno (esto es, en un ambiente anaeróbico). (Hilbert, 2003)

### **2.2.1 COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS**

Se llama biogás a la mezcla constituida por metano (CH<sub>4</sub>), en una proporción que oscila entre un 60% a un 65% y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), conteniendo pequeñas

proporciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno. Sus características han sido resumidas en la **Tabla 2.1**. (Franco, 2010)

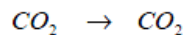
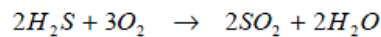
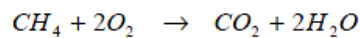
**Tabla 2.1** Características del biogás.

Fuente: (Franco, 2010)

| CARACTERISTICAS           | CH <sub>4</sub> | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> S | OTROS | BIOGAS<br>60/40 |
|---------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-------|-----------------|
| Proporciones              |                 |                 |                                  |       |                 |
| % Volumen                 | 55-70           | 27- 44          | 1                                | 3     | 100             |
| Valor Calórico            |                 |                 |                                  |       |                 |
| MJ/m <sup>3</sup>         | 35.8            | --              | 10.8                             | 22    | 21.5            |
| kCal/m <sup>3</sup>       | 8600            | --              | 2581                             | 5258  | 5140            |
| Ignición                  |                 |                 |                                  |       |                 |
| % en aire                 | 5-15            | --              | --                               | --    | 6-12            |
| Temp. Ignición (°C)       | 650-750         | --              | --                               | --    | 650-750         |
| Presión crítica (Mpa)     | 4.7             | 7.5             | 1.2                              | 8.9   | 7.5-8.9         |
| Densidad nominal<br>(g/l) | 0.7             | 1.9             | 0.08                             | --    | 1.2             |
| Densidad relativa         | 0.55            | 2.5             | 0.07                             | 1.2   | 0.83            |
| Inflamabilidad Vol.       |                 |                 |                                  |       |                 |
| % en aire                 | 5-15            | --              | --                               | --    | 6-12            |

### 2.2.2 PRINCIPIOS DE LA COMBUSTION.

El biogás mezclado con aire puede ser quemado en un amplio espectro de artefactos descomponiéndose principalmente en CO<sub>2</sub> y agua, H<sub>2</sub>O. La combustión completa sin el exceso de aire y con oxígeno puro, puede ser representada por las siguientes ecuaciones químicas. (Franco, 2010)





### 2.2.3 EQUIPOS DONDE EL BIOGÁS PUEDE SER UTILIZADO.

En la **Tabla 2.2** se han listado los principales artefactos que utilizan biogás, su consumo medio y su eficiencia. (Franco, 2010)

**Tabla 2.2** Aplicaciones del biogás

Fuente: (Franco, 2010)

| ARTEFACTO            | CONSUMO MEDIO                        | RENDIMIENTO (%) |
|----------------------|--------------------------------------|-----------------|
| Quemador de cocina   | 300-600 l/h                          | 50-60           |
| Lámpara (60 W)       | 120/170 l/h                          | 30-50           |
| Heladera de 100 L.   | 30/75 l/h                            | 20-30           |
| Motor a gas          | 0,5 m <sup>3</sup> /Kwh o Hph        | 25-30           |
| Quemador de 10 Kw    | 2 m <sup>3</sup> /h                  | 80-90           |
| Infrarrojo de 2000 W | 30 l/h      1 Kw elect.              | 95-99           |
| Cogenerador          | 0,5 m <sup>3</sup> /Kwh<br>2Kw térm. | hasta 90        |

Las cocinas y calentadores son fácilmente modificables, agrandando o disminuyendo el paso del gas de los quemadores. La amplia disponibilidad de este tipo de equipos hace promisorio e interesante su utilización a gran escala, en especial en nuestro país.

Las lámparas a gas tienen una muy baja eficiencia y el ambiente donde se las utilice debe estar adecuadamente ventilado para disipar el calor que generan. Las heladeras domésticas constituyen un interesante campo de aplicación directo del biogás debido a que tienen un consumo parejo y distribuido a lo largo de las 24 horas del día, lo cual minimiza la necesidad de almacenaje del gas.

Recientemente se han desarrollado equipos para el enfriamiento de leche y/u otros productos agrícolas lo que abre un importante campo de aplicación directa y rentable del mismo.

Los quemadores infrarrojos comúnmente utilizados en la calefacción de ambientes (especialmente en criaderos y parideras) presentan como ventaja su alta eficiencia, lo cual minimiza el consumo de gas para un determinado requerimiento térmico.

El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto nafteros como diésel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, por otro lado una desventaja es su baja velocidad de encendido (Franco, 2010). En la **Figura 2.1**, se muestran distintas alternativas de utilización de un metro cúbico de biogás, con sus respectivos consumos. (Samayoa, 2012)

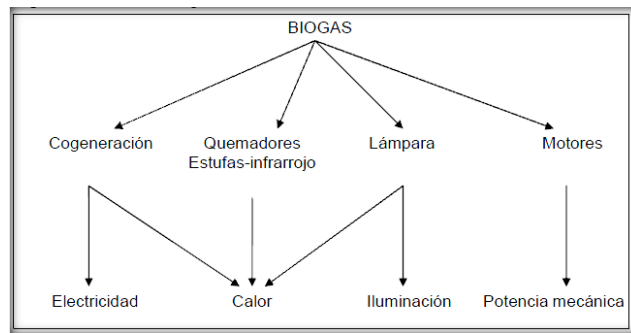


Fuente: (Samayoa, 2012)

**Figura 2.1** Alternativas de utilización de un metro cúbico de biogás.

#### 2.2.4 USOS DEL BIOGAS.

En principio, el biogás puede ser utilizado en cualquier tipo de equipo comercial para uso como gas natural, la **Figura 2.2** resume estos posibles usos.



**Figura 2.2** Usos del biogás.

Fuente: Fuente: (Franco, 2010)

### **2.3 PROCESOS DE DESCOMPOSICION DE MATERIA ORGANICA.**

El biogás es producido por bacterias durante el proceso de biodegradación de materia orgánica en condiciones anaeróbicas, que artificialmente se obtiene en biodigestores. Este proceso de biodegradación de materia orgánica se da por dos vías: (Franco, 2010)

#### **2.3.1 DESCOMPOSICIÓN AEROBICA.**

El oxígeno es el receptor de los electrones desprendidos en la descomposición biológica o degradación. Los organismos aerobios emplean la energía desprendida en el fenómeno de la descomposición para sus procesos de crecimiento y reproducción, y al mismo tiempo liberan una cantidad de calor. (Franco, 2010)

$$\Delta \text{Energía} = \text{Biomasa} + \text{Calor}$$

**Ecuación 2.1** Energía

#### **2.3.2 DESCOMPOSICION ANAERÓBICA.**

Es, en la que el agente receptor de los electrones desprendidos de la degradación es otro compuesto distinto al oxígeno. Para el caso de la digestión anaeróbica la energía

desprendida del proceso de descomposición es receptada por los enlaces de metano. La energía restante se emplea, al igual que en la descomposición aerobia, en los procesos metabólicos y en liberación de calor.

$$\Delta \text{Energía} = \text{Biomasa} + \text{Calor} + \text{CH}_4$$

### **Ecuación 2.2** Variación de Energía

El biodigestor a desarrollarse, empleará éste fenómeno de biodegradación. El proceso por el cual se obtiene el biogás es una fuente de energía renovable, que se obtiene a partir de sustratos de escaso valor económico y que, además, son una fuente de contaminación y enfermedades. (Franco, 2010)

#### **2.3.2.1 Principios de la descomposición anaeróbica.**

La generación de biogás, mezcla constituida fundamentalmente por metano (CH<sub>4</sub>) dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), pequeñas cantidades de hidrógeno (H), sulfuro de hidrógeno (SH<sub>2</sub>) y nitrógeno (N), constituye un proceso vital dentro del ciclo de la materia orgánica en la naturaleza. (Franco, 2010)

Las bacterias metanogénicas, en efecto constituyen el último eslabón de la cadena de microorganismos encargados de digerir la materia orgánica y devolver al medio los elementos básicos para reiniciar el ciclo. Se estima que anualmente la actividad microbiológica libera a la atmósfera entre 590 y 880 millones de toneladas de metano. (Franco, 2010)

#### **2.3.2.2 Prerrequisitos necesarios para iniciar el proceso.**

La fermentación anaeróbica involucra a un complejo número de microorganismos de distinto tipo, los cuales pueden ser divididos en tres grandes grupos principales. La real producción de metano es la última parte del proceso y no ocurre si no han

actuado los primeros dos grupos de microorganismos. Las bacterias productoras del biogás son estrictamente anaeróbicas y por lo tanto sólo podrán sobrevivir en ausencia total de oxígeno atmosférico. Otra característica que las identifica es la sensibilidad a los cambios ambientales debido a lo cual será necesario un mantenimiento casi constante de los parámetros básicos como la temperatura. Las dificultades en el manejo de estas delicadas bacterias explican que la investigación sistemática tanto de su morfología como de la bioquímica fisiológica sólo se halla iniciado hace cincuenta años. (Biomásica, 1985)

Hoy en día gracias a estudios muy recientes podemos conocer mejor el mecanismo y funcionamiento de este complejo sistema microbiológico involucrado en la descomposición de la materia orgánica que la reduce a sus componentes básicos CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>. (Biomásica, 1985)

### **2.3.2.3 Etapas intervinientes.**

Las diferentes etapas intervinientes y sus principales características son:

#### **2.3.2.3.1 Primera etapa llamada periodo de licuefacción.**

Enzimas extracelulares de ciertas bacterias tales como celulosa, lipasa, proteasa, etc., hidrolizan externamente la materia orgánica. Así por ejemplo, los polisacáridos son metabolizados a mono y disacáridos, las proteínas a polipéptidos y aminoácidos, las grasas a glicerol y ácidos grasos. En otras palabras, la materia orgánica sólida es transformada en materia soluble. (Biomásica, 1985)

#### **2.3.2.3.2 Segunda etapa llamada periodo de acidogénesis.**

Los productos de la primera fase penetran en las células bacterianas, donde por medio de endoenzimas son transformados a compuestos macromoleculares tales como

ácidos grasos, alcohol, etc. Las fases de licuefacción y acidogénesis son procesos consecutivos que juntos se conocen como período no productor de metano. En este período, debido a la acción conjunta de varios tipos de microorganismos, la materia prima se descompone bajo condiciones anaeróbicas, en compuestos micromoleculares simples: dióxido de carbono e hidrógeno. (Biomásica, 1985)

Ácidos de bajo peso molecular, alcohol, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> son todos sustratos para la síntesis de metano. Por lo tanto, el período no productor de metano puede verse como un proceso en el que la materia orgánica compleja es convertida en sustancias que pueden ser usadas por las bacterias productoras de metano y que son necesarias para su subsistencia y actividad normal. Los microorganismos que tienen importancia en la fase no productora de metano son especies muy diversas, dependiendo del tipo de materia prima que se desee fermentar.

Las bacterias estrictamente anaeróbicas tienen un papel muy importante en este período y su población puede ser 200 ó 300 veces mayor que la de las bacterias aeróbicas facultativas y aeróbicas. La presencia de microorganismos productores de H<sub>2</sub> en este período es fundamental, ya que el hidrógeno debe estar presente a la hora de la producción de metano por reducción de CO<sub>2</sub>. (Biomásica, 1985)

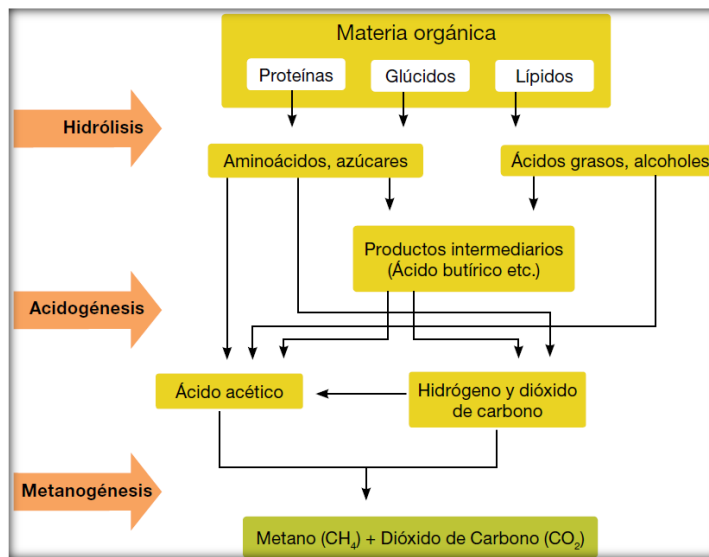
#### **2.3.2.3.3 Tercera etapa conocida como periodo productor de metano.**

En esta etapa los sustratos producidos son transformados a metano por la acción de un grupo particular de bacterias, que requieren de un ambiente estrictamente anaeróbico, son muy sensibles al oxígeno y a otros tipos de agentes oxidantes. Hasta la fecha se han identificado cuatro géneros y once especies de bacterias.

El producto final puede llegar a tener un 60% de metano y un 40% de CO<sub>2</sub> dependiendo estos valores de la calidad de la materia prima.

Dependientes uno de otro, los tres períodos de fermentación anaeróbica son procesos sucesivos y mantienen un balance dinámico. Cualquier desequilibrio puede incluso detener el proceso. (Biomásica, 1985)

En cada una de las etapas de descomposición anaeróbica actúan distintas bacterias, estas transforman la materia orgánica en diferentes compuestos como azúcares, ácidos grasos, ácido acético, hasta llegar a un producto final como el metano. A continuación se presenta un esquema del proceso. (Samayoa, 2012)



**Figura 2.3** Esquema del proceso de digestión anaeróbica.

Fuente: IDAE, 2007

## 2.4 CONDICIONES BÁSICAS PARA LA PRODUCCIÓN DE METANO.

Para obtener un proceso eficiente de fermentación y por consiguiente una buena producción de gas, es necesario asegurar las siguientes condiciones básicas requeridas por las bacterias productoras de metano para realizar su actividad vital normal (crecimiento, desarrollo, multiplicación, etc.). (Biomásica, 1985)

### **2.4.1 AMBIENTE ESTRICTAMENTE ANAERÓBICO.**

Los microorganismos principales para el proceso son estrictamente anaeróbicos. La descomposición de la materia orgánica en ambientes aeróbicos produce CO<sub>2</sub> mientras que en condiciones anaeróbicas resulta en metano (CH<sub>4</sub>). Por lo tanto, es esencial construir un digestor bien sellado para lograr un ambiente estrictamente anaeróbico y también para evitar escapes del gas que se produce. (Biomásica, 1985)

### **2.4.2 TEMPERATURA APROPIADA.**

La temperatura afecta directamente la tasa de producción de biogás. Este puede ser producido a cualquier temperatura entre los 5°C, y los 60°C. Dentro de este rango entre más alta la temperatura mayor será la producción de gas. Pueden ser identificados tres rangos de temperatura: alta, media y normal. (Biomásica, 1985)

#### **2.4.2.1 Fermentación a alta temperatura.**

En un rango de temperatura entre los 47 y 55°C la producción de gas puede llegar a ser de 2 a 2.5 m<sup>3</sup> de gas. Este proceso, llamado "termofílico", es de alta eficiencia pero no muy económico desde el punto de vista de energía requerida para calentar y mantener el digestor dentro del rango de temperatura antes mencionado. Además la materia prima sería digerida mucho más rápido por lo que se necesita mucha cantidad de desechos. (Biomásica, 1985)

#### **2.4.2.2 Fermentación a temperatura media (mesofílico).**

A temperaturas entre los 35 y 38°C la producción diaria de gas puede estar entre 1 y 1.5 m<sup>3</sup> de gas.



### **2.4.2.3 Fermentación a temperatura normal.**

Si la temperatura dentro del digestor se encuentra entre los 22 y 28°C, se puede obtener un promedio de 0.2 - 0.5 m<sup>3</sup> de gas. Si la temperatura es inferior a los 22°C la producción puede descender hasta 0.15 m<sup>3</sup> por volumen de digestor. De manera que, a estas temperaturas, se deben tomar medidas efectivas para calentar el digestor y obtener una mayor producción de metano. (Biomásica, 1985)

### **2.4.3 PH APROPIADO Y ALCALINIDAD.**

El pH dentro del digestor tiene un impacto muy importante en la actividad biológica de las bacterias productoras de gas. El proceso normal requiere un valor de pH constante, aproximadamente neutro (pH 7) o ligeramente mayor y esto se logra mediante la acción del bicarbonato. Si el pH desciende de valores inferiores a la producción de metano decrece notablemente. (Biomásica, 1985)

Una vez que se ha llenado el digestor, el tiempo que dura para obtenerse el pH adecuado depende de la temperatura, la clase y la cantidad de materia prima utilizada. Una mezcla inadecuada de materiales o métodos de manejo inapropiados harían que los ácidos volátiles se acumulen en gran cantidad, resultando en una caída del valor de pH. La operación normal del biodigestor se alteraría y por tanto la producción de gas se reduciría. En tales casos se debe reajustar el pH. (Biomásica, 1985)

### **2.4.4 AGITACIÓN.**

Un aumento en la producción de gas está relacionado con la agitación frecuente de la mezcla. Cuando la mezcla está en reposo se pueden diferenciar en ella tres capas:

- La capa superior o nata en donde hay todavía mucha materia prima pero pocas especies de bacterias para fermentación. Si esta nata es muy espesa el paso de gas se ve bloqueado.
- La capa intermedia está constituida por gran cantidad de agua y poca materia prima.
- La capa del fondo formada por los desechos de sedimentación, y en la que tanto la materia prima como las bacterias son abundantes.

#### **2.4.5 ÁCIDOS VOLÁTILES.**

La determinación de los ácidos volátiles indica cuánto alimento hay disponible para la formación de metano. Sin embargo una excesiva cantidad de ácidos pueden envenenar la mezcla y reducir el pH, disminuyendo así la producción de biogás. Si la razón, alcalinidad: ácidos volátiles, está sobre dos, el bicarbonato puede neutralizar los ácidos en el digestor previniendo una caída en el pH. (Biomásica, 1985)

#### **2.4.6 SÓLIDOS TOTALES Y SÓLIDOS VOLÁTILES.**

Los sólidos totales representan la porción seca de la materia prima. Los sólidos volátiles son la porción de materia orgánica volátil contenida en los sólidos totales.

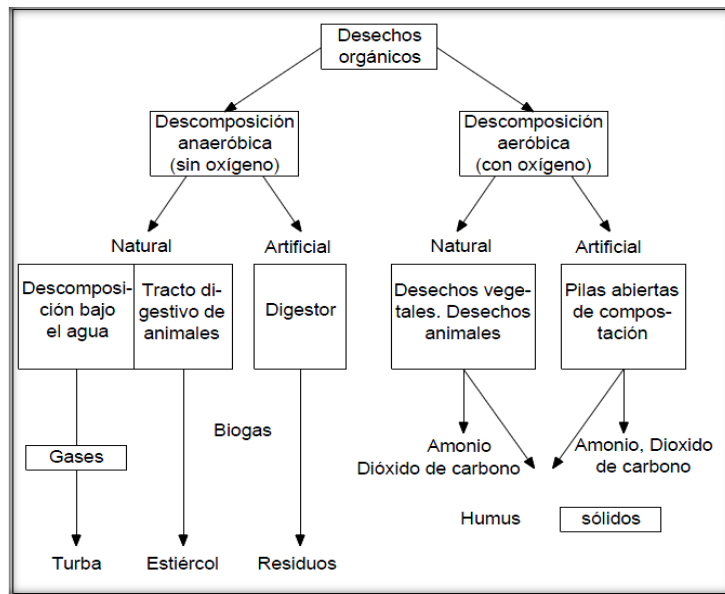
La determinación de estos dos factores es importante para obtener las materias primas apropiadas para el digestor porque de ello dependerá el potencial de producción de biogás. (Biomásica, 1985)

#### **2.4.7 TIPO DE MATERIA PRIMA.**

Las materias primas fermentables incluyen dentro de un amplio espectro a los excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas de las industrias (producción de alcohol, procesado de frutas, verduras, lácteos, carnes, alimenticias en general), restos de cosechas y basuras de diferentes tipos, como los efluentes de

determinadas industrias químicas. El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores). Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo en la digestión de ciertos desechos industriales puede presentarse el caso de ser necesaria la adición de los compuestos enumerados o bien un post tratamiento aeróbico. Las sustancias con alto contenido de lignina no son directamente aprovechables y por lo tanto deben someterse a tratamientos previos (cortado, macerado, compostado) a fin de liberar las sustancias factibles de ser transformadas de las incrustaciones de lignina. En cuanto a estiércoles animales la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que hayan recibido los mismos. Los valores tanto de producción como de rendimiento en gas de los estiércoles presentan grandes diferencias entre distintos autores. Esto es debido al sin número de factores intervinientes que hacen muy difícil la comparación de resultados. (Biomásica, 1985)

Como norma se deberá tomar en cuenta que a raíz de estar trabajando en un medio biológico sólo los promedios estadísticos de una serie prolongada de mediciones serán confiables siempre y cuando figuren las condiciones en las cuales fueron realizadas las pruebas. En cuanto al volumen de estiércol producido por las distintas especies animales son variables de acuerdo fundamentalmente al peso y al tipo de alimentación y manejo de los mismos. Cuando se encare un proyecto específico se recomienda realizar una serie de mediciones en el lugar donde se emplazará el digester. En la **figura 2.3** se muestra la producción de biogás desde los desechos orgánicos. (Biomásica, 1985)



**Figura 2.4** Productos finales de la descomposición orgánica.

Fuente: (Biomásica, 1985)

## 2.5 BIODIGESTOR.

Un **digestor** de desechos orgánicos o biodigestores, en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales, no se incluyen cítricos ya que acidifican) en determinada dilución de agua para que a través de la fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, y además, se disminuya el potencial contaminante de los excrementos. (wikipedia, 2013)

### 2.5.1 Sistemas de biodigestión.

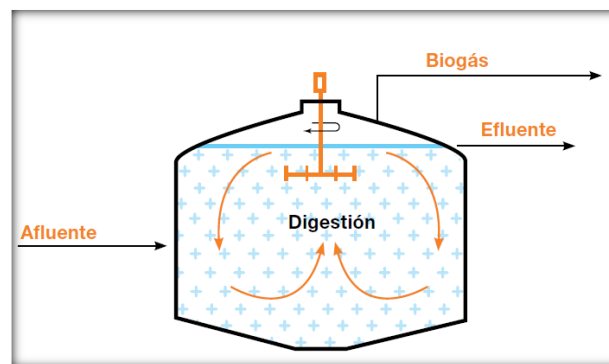
Los diferentes sistemas de biodigestión anaeróbica se clasifican en función del tipo de materia, el tiempo en que la degradan y el proceso de carga de la materia. Cada sistema posee características de funcionamiento distintas y su diseño, en la búsqueda de una mayor eficiencia, ha evolucionado con el tiempo. Existen diferentes clasificaciones de sistemas de biodigestión pero, de manera general, se pueden

clasificar según el proceso de carga de la materia (agua residual, excretas). (Samayoa, 2012)

### A. Sistemas continuos

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

En esta clasificación caben diferentes sistemas de biodigestión, como biodigestores de mezcla completa, filtro anaerobio, plantas de lecho fluidizado, lecho de lodos, Biodigestores tubulares (tipo salchicha) biodigestores de cúpula fija y móvil, entre otros. Algunos de estos sistemas son complejos, pero conocerlos es importante ya que estos sistemas de biodigestión son muy utilizados para tratar residuos en general. Los tiempos en que se retiene la materia orgánica y el agua residual dentro del biodigestor dependerán del diseño. (Samayoa, 2012)



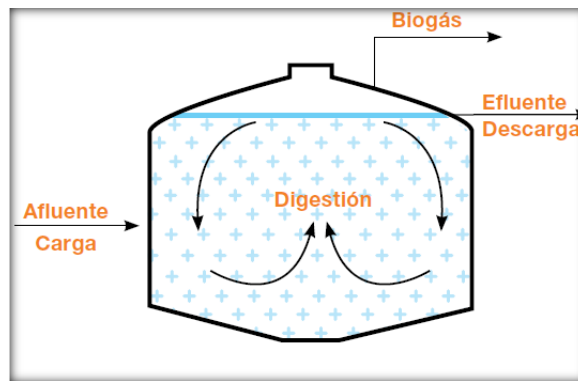
**Figura 2.5** Esquema general de un biodigestor de flujo continuo.

Fuente: IDEA,2007

### B. Sistemas discontinuos

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

Normalmente consiste en tanques herméticos con una salida de gas conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás. Este sistema es aplicable cuando la materia a procesar está disponible en forma intermitente. En este tipo de sistemas se pueden instalar varios biodigestores en serie que se llenan en diferentes tiempos o épocas, esto permite que la producción de biogás sea constante, ya que cada uno de los biodigestores estará operando en distinta etapa. (Samayoa, 2012).

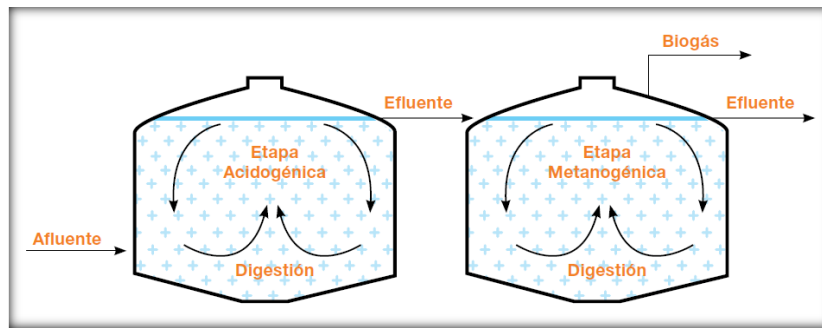


**Figura 2.6** Esquema de un biodigestor de flujo discontinuo (Tipo Batch)

Fuente: IDEA, 2007

### C. Sistemas de dos etapas

Este sistema consta de dos biodigestores en serie, en cada uno de ellos se realizan diferentes etapas de degradación. En el primer biodigestor se aplican elevados tiempos de retención y resultado de esto se desarrolla la hidrólisis y la etapa acidogénica de la materia orgánica. Una vez terminado este proceso, el efluente es trasladado a un segundo biodigestor con tiempos de retención bajos, este último se encarga de terminar el proceso de descomposición (etapa metano génica) y producir el biogás. Ha sido aplicado con éxito para tratar residuos sólidos cuya etapa limitante es la hidrólisis: frutas, verduras, residuos sólidos urbanos, de ganado vacuno, etc. (Samayoa, 2012)



**Figura 2.7** Esquema de un sistema de biodigestión de dos etapas

Fuente: IDEA, 2007

## 2.6 PROBLEMAS LOCALES QUE SE ENFRENTAN.

La problemática de las zonas rurales es compleja. En lo relacionado al uso de combustibles fósiles para cocinar, la preocupación comienza con el costo del gas licuado de petróleo GLP. Por otra parte la escasez de leña o la distancia desde las viviendas hasta donde se consigue la leña son también hechos que hay que tomar en cuenta, así como también las consecuencias que puede tener el usar y cocinar con leña, especialmente en la salud de las mujeres y niñas y niños, quienes suelen permanecer más en la cocina. (Hilbert, 2003)

## 2.7 PROBLEMAS GLOBALES QUE SE REFLEXIONAN.

En sentido general, la crisis climática y ambiental de nuestro planeta se debe, entre otros, al uso indiscriminado de combustibles fósiles que son la base de la generación de energías no renovables, a la incesante deforestación y drástica pérdida de la diversidad de especies de plantas y animales, que consecuentemente ocasionan una serie de problemas que de una o de otra manera se expresan en el calentamiento global y el cambio climático, que actualmente se vuelve cada vez más crítico a nivel del planeta. (Biomásica, 1985).

## **2.8 DETERMINACIÓN DE LA POTENCIALIDAD DE LA BIOMASA GENERADA EN LA HACIENDA ESPINOZA SECTOR CUMBIJÍN CANTÓN SALCEDO.**

### **2.8.1 Ecuación de Estado de los Gases**

En cuanto a la relación entre la cantidad de residuos colocados dentro del biodigestor y la masa de biogás producido, este dato es particularmente difícil de hallar en la bibliografía, y lo poco encontrado es muy genérico y varía entre márgenes muy amplios. Esto es debido a que el biogás producido depende de varios factores entre los que se pueden mencionar algunos ajenos a la medición como ser la temperatura media, el pH, el tiempo total de duración del ensayo (Stuckey, 1983), etc., y otros propios de la medición o intrínsecos, que tienen relación con la medición de la masa de gas producida, entre los que se encuentran principalmente la medición del volumen de los gases y la determinación de la constante particular del biogás ( $R_p$ ) utilizada en la ecuación de estado de los gases perfectos:

$$p \cdot V = M \cdot R_p \cdot T$$

#### **Ecuación 2.3 Estado de los Gases Perfectos**

Dónde:

M= Masa de gas producida (Kg de gas obtenida)

T= Temperatura absoluta del gas (°K)

$R_p$ = Constante particular del biogás.

p= presión absoluta ( $Kg/cm^2$ )

V= volumen del biogás producido ( $cm^3$ )



### 2.8.2 Cálculo del volumen líquido.

El volumen líquido y gaseoso se relacionan mediante (Avendaño, 2010):

$$V_G = \frac{V_L}{3}$$

**Ecuación 2.4** Volumen liquido

Dónde:

$V_G$  = Volumen del gas ( $cm^3, m^3$ )

$V_L$  = Volumen del líquido ( $cm^3, m^3$ )

### 2.8.3 La densidad.

Es una relación del volumen que ocupa una determinada cantidad de materia, se calcula mediante la relación de unidad de masa sobre unidad de volumen, expresada en forma de ecuación tenemos que (BuenasTareas.com, 2011):

$$\rho = \frac{m}{V}$$

**Ecuación 2.5** Densidad

Dónde:

$\rho$  =densidad

m=masa

V=volumen

Sus unidades serán: ( $\rho$ )=g/mL o kg/L o kg/m<sup>3</sup>

Densidad del estiércol de ganado de leche (Liliana, 2010) = 0.994 gr/cm<sup>3</sup>

## 2.9 MARCO LEGAL VIGENTE.

El marco legal que regula la gestión integral de los residuos sólidos en el Ecuador se detalla en la siguiente **Tabla 2.3**

**Tabla 2.3** Marco Legal respecto a la gestión de los residuos sólidos en Ecuador.

Fuente: Según la constitución de la República del Ecuador

| Leyes   | Artículos   |
|---|---|
| <b>CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR</b>                     | Art. 14 Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kawsay.<br>Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.  |
|   | Art. 66 Se reconoce y garantizará a las personas:<br>I27. El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza.  |
|   | Art. 83 Son deberes y responsabilidades de las ecuatorianas y los ecuatorianos, sin perjuicio de otros previstos en la Constitución y la ley:<br>I6. Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible.<br>I13. Conservar el patrimonio cultural y natural del país, y cuidar y mantener los bienes públicos  |
|   | Art. 250 El territorio de las provincias amazónicas forma parte de un ecosistema necesario para el equilibrio ambiental del planeta. Este territorio constituirá una circunscripción territorial especial para la que existirá una planificación integral recogida en una ley que incluirá aspectos sociales, económicos, ambientales y culturales, con un ordenamiento territorial que garantice la conservación y protección de sus ecosistemas y el principio del sumak kawsay.  |
| <b>CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR</b>                     | Art. 264 Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:<br>I4. Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley.<br>I9. Formar y administrar los catastros inmobiliarios urbanos y rurales.   |
|   | Art. 267 Los gobiernos parroquiales rurales ejercerán las siguientes competencias exclusivas, sin perjuicio de las adicionales que determine la ley:<br>11. Planificar el desarrollo parroquial y su correspondiente ordenamiento territorial, en coordinación con el gobierno cantonal y provincial.<br>I3. Planificar y mantener, en coordinación con los gobiernos provinciales, la vialidad parroquial rural.<br>I4. Incentivar el desarrollo de actividades productivas comunitarias, la preservación de la biodiversidad y la protección del ambiente.<br>I6. Promover la organización de los ciudadanos de las comunas, recintos y demás asentamientos rurales, con el carácter de organizaciones territoriales de base. |
|   | Art. 397 I2 Establecer mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios naturales degradados y de manejo sustentable de los recursos naturales.  |
| <b>LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL</b>                                     | Art. 2 La gestión ambiental se sujeta a los principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables y respecto a las culturas y prácticas tradicionales.   |
|   | Art. 9 Le corresponde al Ministerio del ramo:<br>j) Coordinar con los organismos competentes sistemas de control para la verificación del cumplimiento de las normas de calidad ambiental referentes al aire, agua, suelo, ruido, desechos y agentes contaminantes;   |
|   | Art. 11 Para los efectos de esta Ley, serán consideradas como fuentes potenciales de contaminación, las sustancias radioactivas y los desechos sólidos, líquidos o gaseosos de procedencia industrial, agropecuaria, municipal o doméstica.   |
| <b>LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN CAPÍTULO III</b> | Art. 13 Los Ministerios de Salud y del Ambiente, cada uno en el área de su competencia, en coordinación con las municipalidades, planificarán, regularán, normarán, limitarán y supervisarán los sistemas de recolección, transporte y disposición final de basuras en el medio urbano y rural.   |
|   | Art. 14 Las personas naturales o jurídicas que utilicen desechos sólidos o basuras, deberán hacerlo con sujeción a las regulaciones que al efecto se dictará. En caso de contar con sistemas de tratamiento privado o industrializado, requerirán la aprobación de los respectivos proyectos e instalaciones, por parte de los Ministerios de Salud y del Ambiente, en sus respectivas áreas de competencia.  |
|   | Art. 15 El Ministerio del Ambiente regulará la disposición de los desechos provenientes de productos industriales que, por su naturaleza, no sean biodegradables, tales como plásticos, vidrios, aluminio y otros.  |

## **2.10 CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO**

A partir del análisis de las bibliografías consultadas se pudo constatar la importancia del biogás, y se puede concluir que es un gas combustible que se genera por la descomposición microbiológica de la materia orgánica también llamada biomasa, en un proceso natural que tiene lugar en un entorno húmedo y anaeróbico. A este proceso de descomposición se le denomina digestión anaerobia, quedando con ello estructurada la base teórica de la investigación.

## **CAPÍTULO III – METODOLOGÍA**

En el presente capítulo se presenta la metodología para realizar la investigación: el enfoque metodológico, la modalidad, el tipo de investigación, el nivel y las técnicas e instrumentos a utilizar. Además, se declara la población o universo y se define la muestra para aplicar los instrumentos de recolección de información.

### **3.1. INTRODUCCIÓN.**

Los biodigestores han de ser diseñados de acuerdo a su finalidad, a la disposición de ganado, tipo, y a la temperatura a la que van a trabajar. Un biodigestor puede ser diseñado para eliminar todo el estiércol producido en una hacienda, o bien como herramientas de saneamiento básico en un colegio. El tipo de digestor seleccionado se construye con técnicas convencionales de albañilería, se utilizan para el aprovechamiento de los desechos orgánicos de animales y vegetales, como el estiércol bobino, porcino, aviar y otros, produciendo biogás y un residuo semisólido llamado bioabono, biol (líquido) o biosol (sólido), que es apropiado para fertilizar tierras de cultivo. La utilización de estos biodigestores es muy conveniente en granjas lecheras, avícolas, porcinas e instalaciones ganaderas, si el número de animales es suficiente para producir la cantidad necesaria de estiércol que genere las cantidades necesarias de combustible para cubrir las necesidades del establecimiento. Con los digestores se logra un cuádruple propósito: se dispone de desechos que son molestos contaminantes del medio ambiente, de difícil y costoso manejo, se reduce la deforestación para la obtención de leña, además se reducen los gases que producen el calentamiento global ya que el Biogás es un combustible, de bajo costo, que al utilizarse no causa contaminación como otros combustibles y por último se obtiene un fertilizante de óptima calidad.

El Biogás puede ser utilizado en motores de gasolina y diesel, en los motores de gasolina trabaja directamente sin inconvenientes y en los motores diesel en lugar de inyectar aire se comprime una mezcla de aire – Biogás, cuya ignición se lleva a cabo por inyección de diesel, puede trabajar con un mínimo de diesel del 10%.

Para diferentes necesidades se pueden construir unidades de distintos tamaño formas, con capacidades desde 1 a 35 metros cúbicos y aún mayores.

Las principales características operativas del modelo de digestor en que se basa esta investigación son: Desplazamiento horizontal, operación continua, carga y descarga diaria, periodo de retención de 25 a 60 días (Caceres, 2011).

Información inicial a considerar previo al diseño

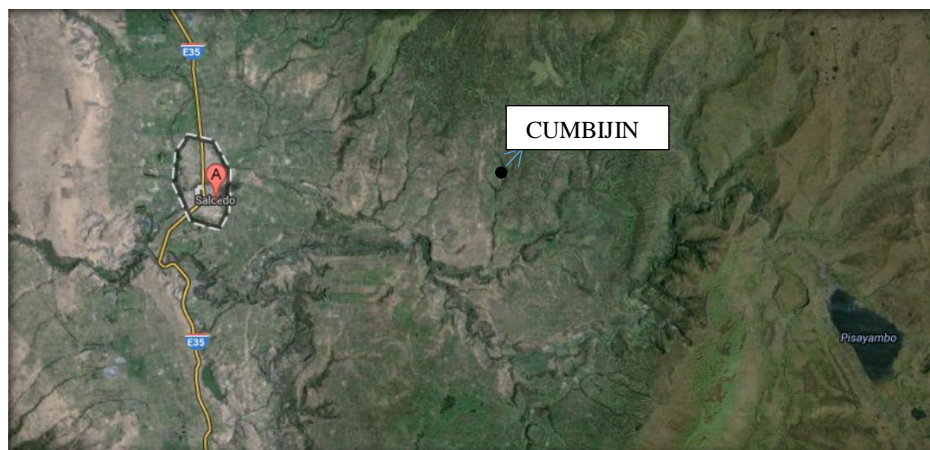
- Origen del desecho.
- Producción de desechos Diarios.
- Desechos sólidos utilizables.
- Clase de animales.
- Número de animales.
- Peso promedio por animal.
- Clima.

### **3.2- DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.**

Se refiere a los tipos de investigación que se adoptan en la tesis, se recogen estructuralmente los elementos metodológicos generales que describen las distintas etapas llevadas a cabo.

#### **3.2.1-Modalidad de la investigación**

Se trata de una modalidad de investigación de campo, tomando como referencia la hacienda Espinosa del sector de Cumbijín cantón Salcedo provincia de Cotopaxi, lugar donde se determinara la potencialidad de la biomasa local para reemplazar el GLP utilizado en los procesos de producción.



**Figura 3. 1** Ubicación del sector

Fuente: Google maps

### **3.2.1.1-De campo**

La modalidad de la investigación es de campo ya que se analizará sistemáticamente la producción del biogás por cantidad de biomasa local, de tal manera que se pueda llegar a determinar si es posible reemplazar o no al GLP utilizado en la hacienda. Para ello será necesaria la construcción de un biodigestor tipo que nos permita obtener todos los datos necesarios para determinar la investigación y una interacción directa con las personas que habita en la hacienda para obtener información del tipo y cantidad de ganado existente en la hacienda.

Para complementar se acudirán a fuentes secundarias, como textos, libros y documentos relacionados. Toda la información recolectada será analizada para establecer las conclusiones correspondientes.

### **3.2.1.2- Bibliográfica – Documental**

En la presente investigación existe bibliografía de apoyo: textos, módulos, documentos, páginas de Internet relacionadas a la temática que han servido para sustentar teóricamente el problema de investigación, a través del análisis documental.

### 3.2.2. Tipo de Investigación.

#### A.- Descriptiva:

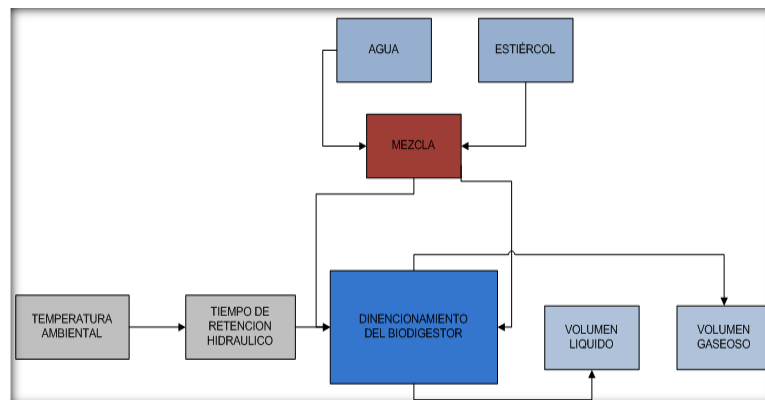
Se realizará investigación descriptiva al recolectar información relacionada con la temperatura ambiente, presión del gas dentro del biodigestor, volumen del gas generado, presión ambiental y composición del gas mediante un aparato de Orsat (porcentaje de CO<sub>2</sub>).

#### B.- Investigación prospectiva:

Porque sigue una línea presente-futuro. La dirección que sigue el investigador es de la variable independiente a la variable dependiente, es decir, se conoce o se manipula una variable independiente y se miden cambios o consecuencias en una variable dependiente. En esta investigación analizaremos la cantidad de biomasa local para determinar su potencialidad y cantidad de biogás que produce.

#### C.- Experimental:

Teniendo en cuenta la variable independiente referida a la potencialidad de la biomasa animal, se realizan experimentos buscando su vínculo con la variable dependiente que es determinar la cantidad de biogás que produce y de esta manera realizar el dimensionamiento del biodigestor seleccionado, proceso relacionado en la figura.



**Figura 3. 2** Metodología de diseño de un biodigestor

Fuente: elaboración propia.

En el proceso se manipulan deliberadamente una o más variables independientes como son: temperatura ambiente, presión del gas dentro del biodigestor, volumen del gas generado, presión ambiental y composición del gas, para analizar las consecuencias de esa manipulación sobre una o más variables dependientes, dentro la situación de control de la investigación. Manipular las variables es sinónimo de hacer variar o dar distintos valores a la variable independiente.

La experimentación ha dado muy buenos resultados en las ciencias naturales y técnicas, pero no ha sido así en las Ciencias Sociales donde experimentar presenta grandes dificultades, sobre todo en el vivir diario. Cuando se intenta experimentar en el hombre, éste se altera. Se influye sobre él y los resultados que se obtienen ya no es correspondido con los hechos, porque el hombre cambia en la medida que se quiere experimentar con él. Los hechos estudiados y provocados por el investigador en forma planeada y controlada, permiten llevar a cabo la experimentación. En ciencias sociales no es conveniente que el investigador manipule los hechos o fenómenos.

Sin embargo, en el campo de las ciencias técnicas y naturales los experimentos juegan un papel fundamental (González, 2003), y por ello dentro del diseño de la investigación, se usará la experimentación por las ventajas que esta proporciona.



## D. Operacionalización de variables.

**Tabla 3. 1** Potencialidad de la Biomasa.

Fuente: Elaborado por el investigador

**VARIABLE INDEPENDIENTE:**

**Potencialidad de la Biomasa.**

| Concepto   | Categoría           | Indicadores                            | Item                    | Técnicas | Instrumentos |
|--|---------------------|--|-------------------------|----------|--------------|
| La biomasa también puede ser entendida en términos ecológicos y sustentables ya que se define al mismo tiempo como una materia viva que se puede transformar en un importante recurso energético no contaminante y mucho menos nocivo para el planeta que otras energías tales como el petróleo. | Portador energético | Cantidad de biomasa a determinar       | kg                      | Cálculos | Ecuaciones.  |
|  | Portador energético | temperatura ambiente                   | °C                      | Medición | Termómetro   |
|  | Portador energético | presión del gas dentro del biodigestor | Kgf/<br>cm <sup>2</sup> | Medición | Manómetro    |
|  | Portador energético | volumen del gas generado               | cm <sup>3</sup>         | Medición | Gasómetro    |
|  | Portador energético | presión ambiental                      | Kgf/<br>cm <sup>2</sup> | Medición | Barometro    |
|  | Biodigestor         | Dimensionamiento                       | m3                      | Cálculos | Ecuaciones   |

**Tabla 3. 2** Biogás

Fuente: Elaborado por el investigador

**VARIABLE DEPENDIENTE: Biogás**

| Concepto  | Categoría                              | Indicadores  | Item              | Técnicas | Instrumentos     |
|---|--|--|-------------------|----------|------------------|
| Se llama biogás a la mezcla constituida por metano (CH <sub>4</sub> ), en una proporción que oscila entre un 60% a un 65% y dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno. | Gas Metano                             | Poder Calórico   | KJ/m3             | Cálculos | Aparato de Orsat |
|   | Tecnología del diseño del biodigestor. | Presión admisible.<br>Volumen de almacenamiento.<br>Esfuerzo admisible del biodigestor | Pa.<br>m3.<br>Pa. | Medición | Manómetros       |
|   | Pre factibilidad                       | Costo  | \$                | Cálculos | Ecuaciones       |

### **3.3. UNIDAD DE ESTUDIO (población y muestra).**

En líneas generales, la población es un conjunto de individuos de la misma clase, limitada por el estudio. Al respecto Ramírez, T (1999), Dice que “la población, es la reunión de individuos, objetos, entre otros., que pertenece a una misma clase, con la diferencia que se refiere a un conjunto limitado por el ámbito del estudio a realizar”

#### **A. Muestra**

Según Hernández, 2000 dice que: “La muestra es, un subgrupo de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características a los que llamamos población”.

Un muestreo intencional, según Ramírez, T (1996), “Es un tipo de muestreo que implica que el investigador obtiene información de unidades de la población escogidas de acuerdo con criterios previamente establecidos, seleccionando unidades tipo o representativas”.

Una vez que se ha definido cuál será nuestra unidad de análisis, se procede a delimitar la población que va a ser estudiada y sobre la cual se pretende generalizar los resultados. Así, una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones (Selítiz, 1974). La muestra suele ser definida como un subgrupo de la población (Sudman, 1976). Para seleccionar la muestra deben delimitarse las características de la población.

En función de lo anteriormente puesto nuestro caso de estudio considera evaluar en su totalidad los volúmenes de excreta de las 200 cabezas de ganado vacuno, y 10 caballos que existen en la actualidad en la hacienda siendo esta la población.

La muestra estará en función de la totalidad de excreta en 10 horas por cabeza de ganado.

### 3.4.- EQUIPO UTILIZADO.

#### 3.4.1 Biodigestor realizado para la Investigación.

Se construyó con un tanque metálico de forma cilíndrica de 30 cm de diámetro. La altura es de 50 cm, lo que da una capacidad aproximada de 35,342 litros. Tiene en su parte superior una boca de carga con tapa a rosca de 2'' de diámetro y una salida de 1/2'' donde se coloca el manómetro (cuya escala va desde 0 hasta 1 kg/cm<sup>2</sup>) y otra salida también de 1/2'' de diámetro donde se encuentra una válvula para salida de gases. El espesor de la pared metálica del tanque es de un 1/16''. En su lateral tiene colocada una válvula de descarga de líquidos a 14 cm del suelo. Esta válvula se utiliza cuando se quiere desagotar el digestor y también cuando se quiere tomar una muestra de líquido para medir pH, color o densidad. En la figuras se observa los diferentes accesorios utilizados en la construcción y una vista del biodigestor terminado.



**Figura 3. 3** Materiales para ser acoplados en el biodigestor.





**Figura 3. 4** Biodigestor terminado

Fuente: realizada por el investigador

### **3.4.2 Instrumentos utilizados para determinar la potencialidad de la biomasa generada en la hacienda Espinoza sector Cumbijín Cantón Salcedo.**

En cuanto a la relación entre la cantidad de residuos colocados dentro del biodigestor y la masa de biogás producido, este dato es particularmente difícil de hallar en la bibliografía, y lo poco encontrado es muy genérico y varía entre márgenes muy amplios. Esto es debido a que el biogás producido depende de varios factores entre los que se pueden mencionar algunos ajenos a la medición como ser la temperatura media, el pH, el tiempo total de duración del ensayo (Stuckey, 1983), etc., y otros propios de la medición o intrínsecos, que tienen relación con la medición de la masa de gas producida, entre los que se encuentran principalmente la medición del volumen de los gases y la determinación de la constante particular del biogás ( $R_p$ ) utilizada en la ecuación de estado de los gases perfectos

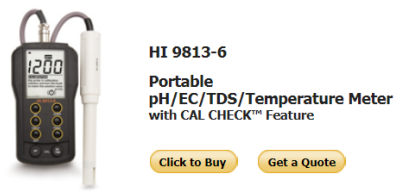
**A. Temperatura media.** Debido a que esta investigación se realizó en un sector de la sierra, las temperaturas eran relativamente bajas, con valores entre  $17\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Estos valores tan bajos retardan o anulan la producción de biogás, ya que las bacterias mezofílicas y termofílicas son muy sensibles a bajas temperaturas. Las diferentes mediciones se realizó mediante un instrumento HANNA HI9813-6.

**B. Medición del PH.** Durante toda la investigación se midió el pH de la carga líquida, para tener una medida somera del funcionamiento químico del proceso. El pH tiene efectos profundos sobre la actividad biológica, el mantenimiento de un pH estable es esencial para el desarrollo de la vida. La mayor parte de los procesos vivos tiene lugar entre pH 5 y 9, pero en cuanto a los digestores, las exigencias relativas al pH son más estrictas: pH de 6,8 a 8,2, ya que al apartarse de estos valores, la producción de metano se detiene. Las diferentes mediciones se realizó mediante un instrumento HANNA HI9813-6.



**Figura 3. 5** Instrumento HANNA HI9813-6 utilizado para medición de temperaturas y PH.

## Instrumento HANNA HI9813-6.



**Figura 3. 6** Instrumento HANNA HI9813-6.

## Especificaciones.

|                          | Specifications | MSDS | Accessories  | Downloads |
|--------------------------|----------------|------|--|-----------|
| Range                    | pH             |      | 0.0 to 14.0 pH   |           |
|                          | EC             |      | 0.00 to 4.00 mS/cm   |           |
|                          | TDS            |      | 0 to 1999 ppm (mg/L)   |           |
|                          | Temperature    |      | 0.0 to 60.0°C  |           |
| Resolution               | pH             |      | 0.1 pH   |           |
|                          | EC             |      | 0.01 mS/cm   |           |
|                          | TDS            |      | 1 ppm (mg/L)   |           |
|                          | Temperature    |      | 0.1°C  |           |
| Accuracy @ 20° C         | pH             |      | ±0.1 pH  |           |
|                          | EC             |      | ±2% F.S. mS/cm   |           |
|                          | TDS            |      | ±2% F.S. ppm   |           |
|                          | Temperature    |      | ±0.5°C   |           |
| TDS Conversion Factor    |                |      | 0.56 to 0.78 ppm = 1 µS/cm (according to TDS 442 curve)  |           |
| pH Calibration           |                |      | manual, one point (all parameters except temperature)  |           |
| Temperature Compensation |                |      | automatic 0 to 50°C (32 to 122°F) with $\beta=2\%/^{\circ}\text{C}$  |           |
| Probe                    |                |      | HI 1285-6 polypropylene body, pre-amplified multiparameter probe with CAL CHECK™ compatibility, internal temperature sensor, 8-pin DIN connector and 1 m (3.3') cable (included) |           |
| Battery Type / Life      |                |      | 9V / approximately 150 hours of continuous use   |           |
| Environment              |                |      | 0 to 50°C (32 to 122°F); 100% RH   |           |
| Dimensions / Weight      |                |      | 145 x 80 x 36 mm (5.7 x 3.1 x 1.4") / 230 g (8.1 oz.)  |           |

**Figura 3. 7** Especificaciones instrumento HANNA HI9813-6.

## C. Medición del volumen de los gases.

Para la medición del volumen de los gases producidos se armó un gasómetro con un recipiente de vidrio invertido, sellado mediante un sello hidráulico de agua (Martina, 2004) En este gasómetro se acumulaba el gas luego de generarse en el biodigestor.



**Figura 3. 8** Preparación del gasómetro (Laboratorio de Química ESPE-EL)

Fuente: realizada por el investigador.

### 3.6 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Los datos recolectados a través de la observación y mediciones mediante los diferentes instrumentos hacer utilizados, arrojaron importantes resultados, como fueron la determinación de la temperatura media, el PH y el volumen de los gases; valores importantes para determinar la masa de gas producida (M) dentro del biodigestor.

El procesamiento de los datos adquiridos permitirá obtener los gráficos correspondientes a los parámetros tratados en el capítulo.

## **CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

En el presente capítulo se analizará e interpretará los datos emitidos por los instrumentos mencionados en la metodología de la investigación. Los resultados de la investigación de biodigestión anaeróbica para obtención de gas metano a partir del estiércol que existe en la hacienda producido por las vacas, cerdos y caballos con el fin principal de obtener una relación entre la cantidad de biogas producido y la cantidad de estiércol utilizado para determinar la potencialidad de la biomasa local con el fin de reemplazar al GLP. Para ello se utilizó el biodigestor de carga única o batch construido para la investigación. Se indican los porcentajes y volúmenes de carga, la relación entre agua, estiércol y volumen libre, volúmenes de gases producidos, tiempos de reacción, mediciones de pH y porcentajes de dióxido de carbono obtenidos. Los valores obtenidos servirán para tomarlos como referencia para dimensionar biodigestores mayores de carga continua.

### **4.1.- CÁLCULO PARA DETERMINAR LA POTENCIALIDAD DE LA BIOMASA GENERADA EN LA HACIENDA ESPINOZA SECTOR CUMBIJÍN CANTÓN SALCEDO.**

#### **4.1.1 Descripción del ensayo.**

Se describirán los resultados del ensayo de biodigestión realizado en el sector Cumbijín Cantón Salcedo, que duró desde el 25 de septiembre del 2013 (cerrado de la boca de carga) hasta el 30 de noviembre del 2013, o sea 67 días en total. En este ensayo se cargó el biodigestor con 6 kg de estiércol de vaca. Todo esto se cubrió con 12 litros de agua, de tal manera que aproximadamente el 70% del biodigestor estaba ocupado con líquidos, y el restante 30% era aire. Al cerrarse el digestor se sacudió el recipiente para producir una buena mezcla de los componentes, y esta operación se repitió en forma regular a lo largo de toda la duración del ensayo para evitar la estratificación de lodos y la formación de una costra espumosa que impida al biogas ascender hacia la parte superior del recipiente. El sistema comenzó a levantar presión



(producir gas) recién a los 35 días después de cerrado. Para determinar la potencialidad en cuanto a la relación entre la cantidad de residuos colocados dentro del biodigestor y la masa de biogás producido, este dato es particularmente difícil de hallar en la bibliografía, y lo poco encontrado es muy genérico y varía entre márgenes muy amplios. Esto es debido a que el biogás producido depende de varios factores entre los que se pueden mencionar algunos ajenos a la medición como ser la temperatura media, el pH, el tiempo total de duración del ensayo (Stuckey, 1983), etc., y otros propios de la medición o intrínsecos, que tienen relación con la medición de la masa de gas producida, entre los que se encuentran principalmente la medición del volumen de los gases y la determinación de la constante particular del biogás ( $R_p$ ) utilizada en la ecuación de estado de los gases perfectos.

#### **4.1.2 Determinación de la constante particular del biogás ( $R_p$ ).**

Este valor de  $R_p$  se lo determinó de la siguiente manera: siendo el biogás una mezcla de gases, principalmente metano y dióxido de carbono, que forman el 98-99% del total (Hilbert, 2001), su masa molecular se calculó en función de las concentraciones estimadas de cada uno de los gases (60% de metano y 40% de dióxido de carbono) y de las masas moleculares de ambos (16 Kg/Kmol y 44 Kg/Kmol respectivamente). La masa molecular del biogas será entonces:

$$\text{Masa molecular biogás} = 0,6 \cdot 16 + 0,4 \cdot 44 = 27,2 \text{ Kg/Kmol}$$

Con este valor de la masa molecular del biogás, su constante particular se calculará en función de la Constante Universal de los gases  $R$ , cuya valor es 848 kgf.m / Kmol.°K

$$R_p \text{ biogas} = 848 / 27,2 = 31,172 \text{ kgf m / Kg } ^\circ\text{K}.$$

La producción de biogás comenzó a los 35 días de iniciarse el ensayo fue registrándose detalladamente en una tabla en función de todos sus parámetros. En esta

**Tabla 4.1**, que se observa a continuación, se observan en las 2 últimas columnas la masa generada día a día y la masa total, resultado de la sumatoria de las masas parciales.

#### 4.1.3 Cálculo de la masa de Biogás generada.

A partir de la ecuación 2.3 se calcula la masa del biogás generada.

$$p.V = M.Rp.T$$

$$M = \frac{p.V}{Rp.T}$$

$$M = \frac{1,0603 \frac{Kgf}{cm^2} \cdot 2000cm^3}{31,172 \frac{Kgf \cdot m}{Kg \cdot ^\circ K} \cdot 293,7^\circ K \cdot 100 \frac{cm}{1m}}$$

$$M = 0,002316 Kg \text{ (biogas obtenido)}$$

**Tabla 4. 1** Mediciones de presión, temperatura, volumen, masa obtenida

Fuente: realizada por el investigador.

| Dia | Temp. | p. de gas          | p. ambiente        | p. total           | vol. Generado   | m. generada (M) | m. total generada |
|-----|-------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------|-----------------|-------------------|
|     | °C    | kg/cm <sup>2</sup> | kg/cm <sup>2</sup> | kg/cm <sup>2</sup> | cm <sup>3</sup> | Kg              | Kg                |
| 0   |       |                    |                    |                    |                 |                 |                   |
| 35  | 20,7  | 0,0143             | 1,046              | 1,0603             | 2000            | 0,002316        | 0,002316          |
| 37  | 18,1  | 0,0113             | 1,045              | 1,0563             | 2700            | 0,003143        | 0,005459          |
| 39  | 18,2  | 0,0126             | 1,043              | 1,0556             | 3800            | 0,004419        | 0,009878          |
| 41  | 15,8  | 0,0142             | 1,044              | 1,0582             | 3300            | 0,003879        | 0,013757          |
| 43  | 18,6  | 0,0145             | 1,043              | 1,0575             | 3900            | 0,004537        | 0,018294          |
| 45  | 17,4  | 0,0119             | 1,046              | 1,0579             | 4200            | 0,004908        | 0,023203          |
| 47  | 20,7  | 0,0198             | 1,046              | 1,0658             | 4500            | 0,005239        | 0,028441          |
| 49  | 20,5  | 0,0197             | 1,045              | 1,0647             | 4200            | 0,004888        | 0,033329          |
| 51  | 19,9  | 0,0201             | 1,045              | 1,0651             | 4300            | 0,005016        | 0,038345          |
| 53  | 23,5  | 0,0203             | 1,046              | 1,0663             | 4900            | 0,005653        | 0,043998          |
| 55  | 19,7  | 0,0213             | 1,044              | 1,0653             | 4300            | 0,005021        | 0,049019          |
| 57  | 20,8  | 0,0202             | 1,042              | 1,0622             | 2500            | 0,002900        | 0,051918          |
| 59  | 20,1  | 0,0225             | 1,046              | 1,0685             | 2800            | 0,003275        | 0,055193          |
| 61  | 19,6  | 0,0199             | 1,045              | 1,0649             | 3500            | 0,004086        | 0,059279          |
| 63  | 27,3  | 0,0215             | 1,046              | 1,0675             | 3550            | 0,004048        | 0,063328          |
| 65  | 27,6  | 0,0251             | 1,046              | 1,0711             | 4400            | 0,005030        | 0,068357          |



**Figura 4. 1** Obtención de las muestras para mediciones

Fuente: elaborada por el investigador



**Figura 4. 2** Mediciones de Temperaturas.

Fuente: elaborada por el autor

La masa de gas obtenida, que fue calculándose en función de la ecuación de estado de los gases perfectos (2.3), totalizó un valor de:

$$m = 0,068357 \text{ Kg (biogás obtenido)}$$

La relación entre gas obtenido por digestión anaeróbica y cantidad de biomasa (estiércol de ganado) colocado en el digestor, es decir el rendimiento (rend.) de este proceso resultó ser el siguiente:

$$rend. = \frac{0,068357 \text{ Kg de gas}}{6 \text{ Kg de estiércol}} = 0,011393 \frac{\text{Kg de gas}}{\text{Kg de estiércol}}$$

Con este valor, un digestor necesitaría 878 Kg. de estiércol de ganado para obtener 10 Kg. de biogás, que es el contenido de un cilindro de tamaño normal de gas de cocina o GLP (gas licuado de petróleo).

#### 4.2 DETERMINACIÓN DE LA BIOMASA.

**Tabla 4. 2** Cantidad de biomasa generada en la hacienda

Fuente: realizada por el investigador

|         | Excreta Húmeda<br>Diaria<br>(Kg/animal. Día) | Número de<br>Animales en la<br>hacienda | Cantidad total<br>de Excreta (Kg/<br>día) | Proporción<br>Excreta -<br>Agua |
|---------|--|---|---|---------------------------------|
| Vaca    | 10   | 180                                     | 1800                                      | 1-3                             |
| Toro    | 15   | 20                                      | 300                                       | 1-3                             |
| Caballo | 10   | 10                                      | 100                                       | 1:1-3                           |
| Total   |  | 210                                     | 2200                                      |                                 |

En la hacienda, se produce aproximadamente 2200 Kg de estiércol del total de los animales por día, tendría así suficiente biomasa como para obtener una garrafa de GLP por día.

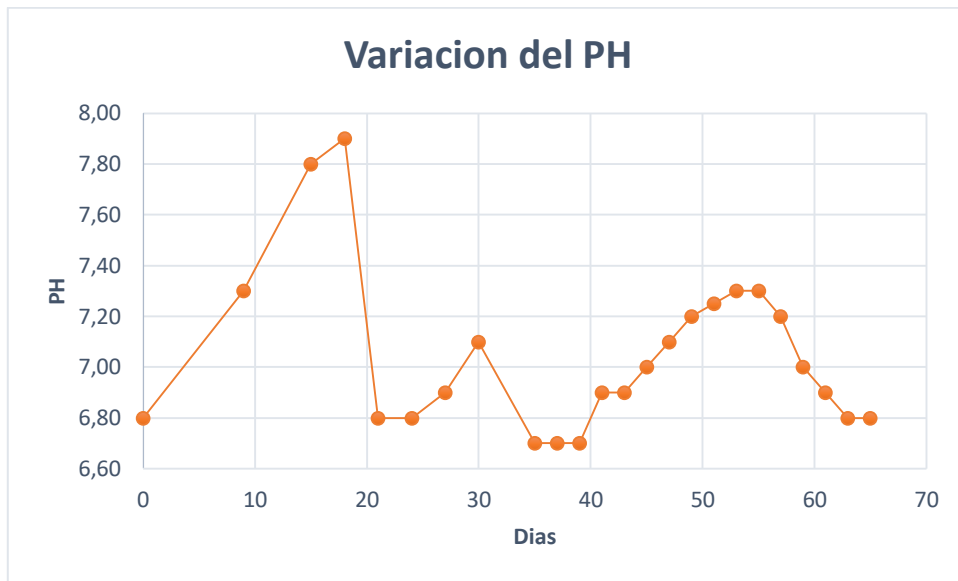
El consumo en la hacienda es de 6 cilindros por mes a próximamente, lo que se concluye que la investigación es satisfactoria.

### 4.3 ANÁLISIS DEL pH DURANTE EL ENSAYO DE DIGESTIÓN.

**Tabla 4. 3** Variación del pH.

Fuente: realizada por el investigador.

| Día | Variación del pH |
|-----|------------------|
| 0   | 6,80             |
| 9   | 7,30             |
| 15  | 7,80             |
| 18  | 7,90             |
| 21  | 6,80             |
| 24  | 6,80             |
| 27  | 6,90             |
| 30  | 7,10             |
| 35  | 6,70             |
| 37  | 6,70             |
| 39  | 6,70             |
| 41  | 6,90             |
| 43  | 6,90             |
| 45  | 7,00             |
| 47  | 7,10             |
| 49  | 7,20             |
| 51  | 7,25             |
| 53  | 7,30             |
| 55  | 7,30             |
| 57  | 7,20             |
| 59  | 7,00             |
| 61  | 6,90             |
| 63  | 6,80             |
| 65  | 6,80             |



**Figura 4. 3** Variación del PH desde el día 0 al día 65

Fuente: realizada por el investigador.

Se observa en el gráfico 4.1 que durante la mayor parte del ensayo el pH se mantuvo en un valor neutro ( $\text{pH}=7$ ) o ligeramente alcalino ( $\text{pH} >7$ ), lo cual favorece la producción de metano. Si bien se obtuvieron algunos valores ácidos, ( $\text{pH}<7$ ), éstos no afectaron la producción de metano por ser pocos valores y muy cercanos al valor neutro.



**Figura 4. 4** Mediciones del PH en el campo

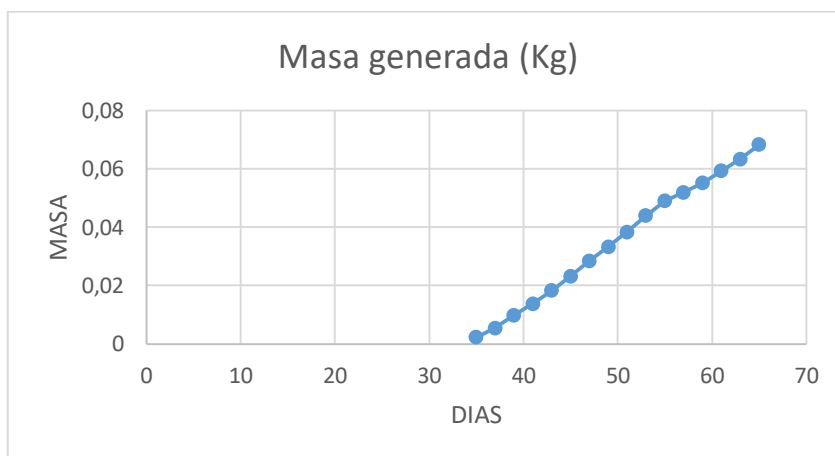
Fuente: realizada por el investigador.

#### 4.4 ANÁLISIS DE LA MASA GENERADA DE BIOGÁS DURANTE EL ENSAYO DE DIGESTIÓN.

**Tabla 4.4** Masa genera de biogás durante el ensayo

Fuente: elaborada por el investigador.

| Día | Masa generada (Kg) |
|-----|--------------------|
| 0   |                    |
| 35  | 0,002316           |
| 37  | 0,005459           |
| 39  | 0,009878           |
| 41  | 0,013757           |
| 43  | 0,018294           |
| 45  | 0,023203           |
| 47  | 0,028441           |
| 49  | 0,033329           |
| 51  | 0,038345           |
| 53  | 0,043998           |
| 55  | 0,049019           |
| 57  | 0,051918           |
| 59  | 0,055193           |
| 61  | 0,059279           |
| 63  | 0,063328           |
| 65  | 0,068357           |



**Figura 4. 5** Masa genera de biogás durante el ensayo desde el día 0 al día 65

Fuente: elaborada por el autor.



La producción de biogás, que comenzó a los 35 días de iniciarse el ensayo fue registrándose detalladamente en una tabla en función de todos sus parámetros. En el gráfico 4.5, se poder observar que su valor va creciendo gradualmente durante el ensayo.

#### **4.8 CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO**

Mediante la medición de los parámetros, utilizando los instrumentos especificados en el capítulo 3 y mediante los cálculos se pudo determinar la factibilidad de la investigación.

## **CAPITULO V: LA PROPUESTA**

### **5.1 TÍTULO DE LA PROPUESTA**

Diseño tecnológico de un biodigestor en el sector de Cumbijín de cantón Salcedo.

### **5.2 JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA**

Con esta propuesta se pretende dar una guía para que la población rural pueda contar con una fuente de energía inagotable de bajo costo y muy segura; para que de esta manera puedan ahorrar o sustituir la energía utilizada en la actualidad como la energía eléctrica y el gas licuado de petróleo, además de contribuir con el medio ambiente y de obtener un bioabono de alta calidad que será utilizado en los sembríos de la hacienda.

Es por eso que se pretende la producción de biogás generado en un biodigestor, que se empleará para la generación de energía calorífica de uso doméstico en la preparación de alimentos o el uso que sea necesario; además de aprovechar materia considerada como desperdicio. El biodigestor tendrá las siguientes características:

- Su costo deberá ser adaptable al medio y opcionalmente se utilizará de materiales de desecho.
- Poco espacio de instalación.
- Estéticamente atractivo, novedoso, genera estatus y fácil de usar.

### **5.3 OBJETIVOS DE LA PROPUESTA**

Adoptar una cultura integral del uso racional y eficiente de la biomasa animal existente en la hacienda, y de esta manera realizar el Diseño tecnológico de un biodigestor q produzca biogás necesario para reemplazar el GLP utilizado en la hacienda.

## **5.4 ESTRUCTURA DE LA PROPUESTA**

La estructura de la propuesta del Diseño tecnológico de un biodigestor eficiente para el uso de biomasa animal en la hacienda Espinoza sector Cumbijín cantón Salcedo, está basada en la determinación de la potencialidad de la biomasa local, y procesos de construcción.

### **5.4.1 Selección del biodigestor.**

El biodigestor que se utilizará en la investigación es un sistema discontinuo, la característica de estos tipos de biodigestores es; que el afluente o materia orgánica se mantiene por tiempos prolongados dentro de la cámara de biodigestión. Se cargan una sola vez en forma total y la descarga se efectúa una vez que ha dejado de producir gas combustible. En este tipo de sistemas se pueden instalar varios biodigestores en serie que se llenan en diferentes tiempos o épocas, esto permite que la producción de biogás sea constante, ya que cada uno de los biodigestores estará operando en distinta etapa. (Samayoa, 2012). Se han propuesto tres alternativas diferentes de diseño que cumplen con los objetivos de este proyecto, las cuales se detallan a continuación.

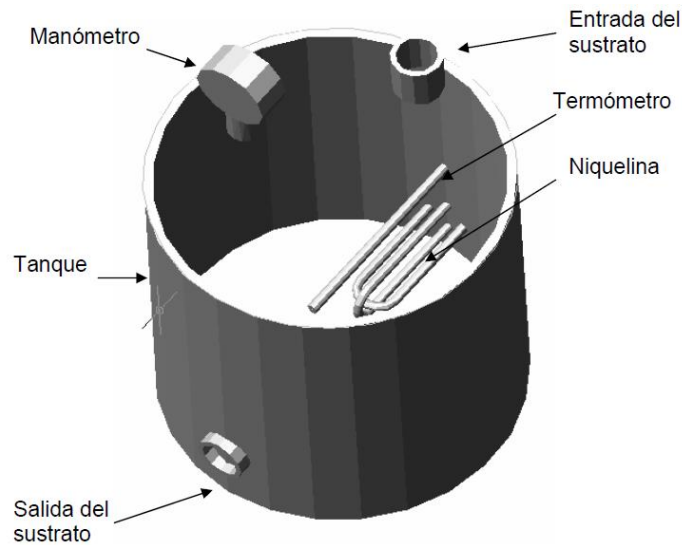
#### **A. Biodigestor plástico transparente calentado mediante una niquelina.**

Este modelo consta de un tanque plástico transparente, con el fin de que se pueda ver las diferentes capas que se presentan en el proceso de biodegradación. Además éste consta de una niquelina, la cual mantendrá al sustrato a una temperatura casi constante, para la entrada y salida de la mezcla se instala dos aberturas en la parte superior e inferior del tanque respectivamente.

También consta de unos refuerzos laterales que sirven para dar mayor resistencia al recipiente de plástico debido a los esfuerzos por la presión interna a las que será sometido. Para el control permanente de temperatura este modelo cuenta con un

termómetro de bulbo, el cual está instalado a la mitad de la altura que tendrá el sustrato dentro del recipiente.

Una ilustración de esta alternativa se muestra en la Figura 5.1



**Figura 5. 1** Alternativa A.

Fuente: (Razo, 2007)

#### **Ventajas:**

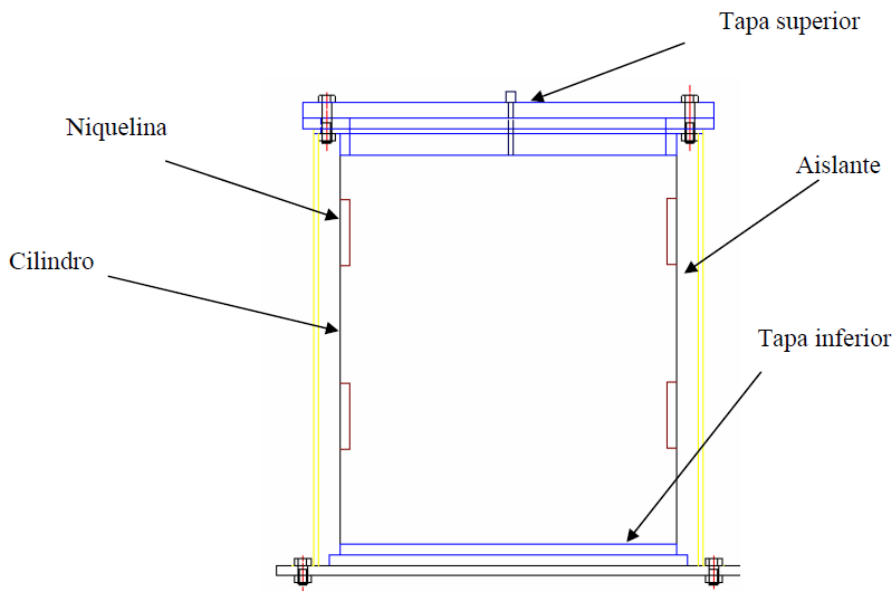
- Bajo costo.
- Fácil visualización de las capas que se forman en el proceso de biodegradación.
- No hay problemas de corrosión y oxidación.

#### **Desventajas:**

- Problemas con lograr un buen sellado debido al material del recipiente.
- El recipiente debido a su material se deformaría al ser sometido a presiones relativamente altas por lo que daría una medida inexacta de la presión.
- Los accesorios tendrían que ser instalados usando material sellador o silicón lo cual no da una buena seguridad de sellado.

## B. Biodigestor metálico con tapas de duralón.

Este modelo consta de un cilindro metálico en el cual se generara el gas metano. Consta de tapas superior e inferior de duralón, un revestimiento aislante, y niquelina en las paredes del cilindro, la que dará la temperatura requerida al sustrato.



**Figura 5. 2** Alternativa B.

Fuente: (Razo, 2007)

### **Ventajas:**

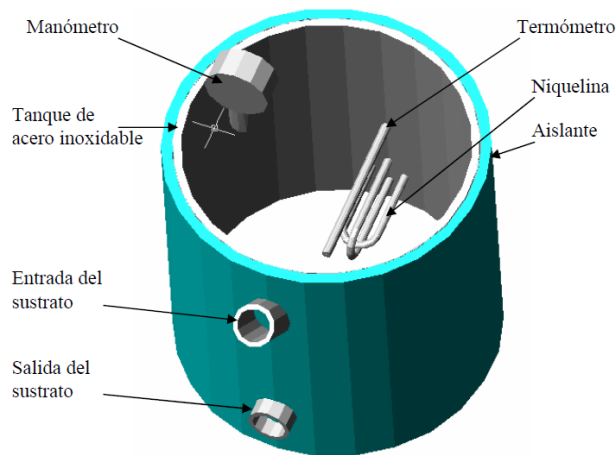
- Fácil construcción
- Costo moderado.
- Mejor manejo de la temperatura.

### **Desventajas:**

- Problemas en la hermetización debido a la presión interna del cilindro.
- Dificultad al momento de la carga y descarga de sustrato.
- El aislante puede deteriorarse debido a golpes y raspones.

### C. Biodigestor de metal calentado mediante una niquelina.

Este modelo consta de un recipiente de acero, el cual proporciona una excelente condición en cuanto al sellado, ya que todos los accesorios estarían soldados o sellados mediante roscas. Para calentar el agua se utiliza una niquelina, y para evitar la pérdida de calor se reviste todo el cuerpo con lana de vidrio. Además consta de un orificio de carga y otro de descarga, con accesorios como un termómetro de bulbo y un manómetro de precisión. Una ilustración de esta alternativa se puede observar en la Figura 5.3



**Figura 5. 3** Alternativa C.

Fuente: (Razo, 2007)

#### **Ventajas:**

- Sellado muy seguro del recipiente y de los accesorios, con lo cual se asegura un ambiente anaeróbico.
- El tanque no se deformaría debido a la presión.
- El material es resistente a golpes y deformaciones.

#### **Desventajas:**

- Costo de construcción.

· Al ser de acero no se podría observar lo que sucede en el proceso de biodegradación.

· Se perdería calor debido a la conductividad que tienen los metales, por lo que es necesario revestirlo con un aislante, que aumenta su costo.

De acuerdo al criterio del diseñador y de ingenieros con larga experiencia en el diseño se elegirá la alternativa C.

#### 5.4.2 Dimensionamiento del biodigestor.

Se evaluó que 878 Kg de estiércol diario de ganado vacuno son suficientes para obtener 10 Kg. de biogás, que es el contenido de un cilindro de tamaño normal de gas de cocina o GLP (gas licuado de petróleo). Se va a evaluar una capacidad de 1200 Kg de un total de 2200 Kg q se produce cada día en la hacienda (Ver tabla 4.2), esto para obtener un sobrante en biogás para posteriormente utilizar en la producción de energía eléctrica.

Utilizando la ecuación (2.5) se procede a calcular el volumen de estiércol necesario para el biodigestor.

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V = \frac{1200 \text{ Kg}}{0,994 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot \frac{1 \text{ Kg}}{1000\text{g}}}$$

$$V = 1\,207\,243,461 \text{ cm}^3$$

$$V = 1,207243 \text{ m}^3$$

Volumen del líquido total sería, si utilizamos una disolución recomendada 1:2

$$V_L = 1,207243 \text{ m}^3 + 2 \text{ m}^3$$

$$V_L = 3,207243 \text{ m}^3$$

Utilizando la ecuación 2.4

$$V_G = \frac{V_L}{3}$$

$$V_G = \frac{3,207243 \text{ m}^3}{3}$$

$$V_G = 1,069 \text{ m}^3$$

Volumen total del biodigestor:

$$V_T = V_L + V_G$$

$$V_T = 4,276 \text{ m}^3$$

Medidas del biodigestor:

h= altura del biodigestor (m)

D = diámetro del biodigestor (m)

A= Área del biodigestor.

**Tabla 5. 1** Medidas del Biodigestor

Fuente: realizada por el investigador.

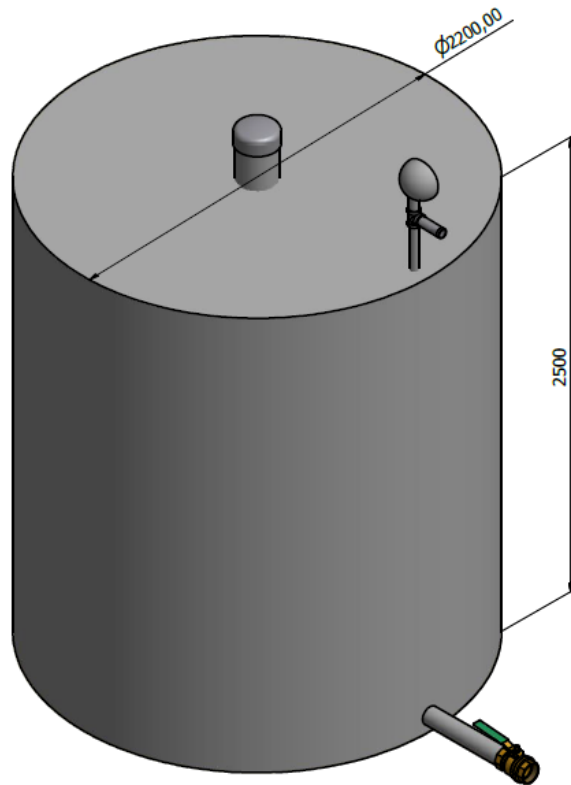
| h (m) | A (m <sup>2</sup> ) | D (m) |
|-------|---------------------|-------|
| 3     | 1,425               | 1,347 |
| 2,5   | 1,710               | 2,177 |
| 2     | 2,138               | 2,722 |



Mejor opción de acuerdo al criterio del diseñador:

$h = 2,5 \text{ m}$

$D = 2,177 \text{ m}$



**Figura 5. 4** Dimensiones del biodigestor terminado.

Fuente: realizada por el investigador

#### **5.4.3 Diseño del biodigestor en Inventor.**

El biodigestor será construido de acero galvanizado con un espesor de plancha de un 1/8 in. A continuación se puede observar los resultados obtenidos.

### Physical

|                   |                                  |
|-------------------|----------------------------------|
| Mass              | 78,8497 kg                       |
| Area              | 49669200 mm <sup>2</sup>         |
| Volume            | 78849700 mm <sup>3</sup>         |
| Center of Gravity | x=0 mm<br>y=0 mm<br>z=1251,59 mm |

### Material(s)

|              |                           |                        |
|--------------|---------------------------|------------------------|
| Name         | Steel, Galvanized         |                        |
| General      | Mass Density              | 7,85 g/cm <sup>3</sup> |
|              | Yield Strength            | 207 MPa                |
|              | Ultimate Tensile Strength | 345 MPa                |
| Stress       | Young's Modulus           | 200 GPa                |
|              | Poisson's Ratio           | 0,3 ul                 |
|              | Shear Modulus             | 76,9231 GPa            |
| Part Name(s) | Part1                     |                        |

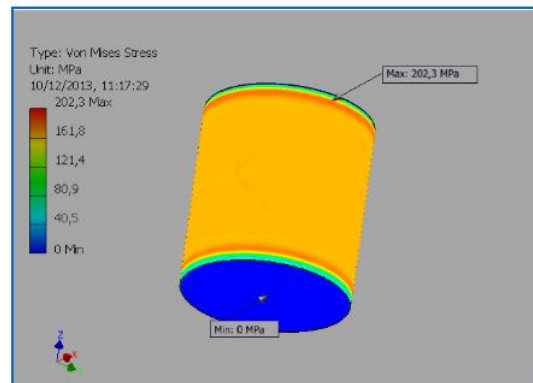
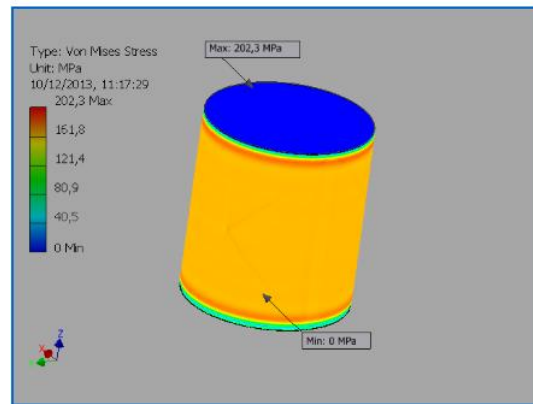
### Pressure:1

|           |           |
|-----------|-----------|
| Load Type | Pressure  |
| Magnitude | 0,500 MPa |

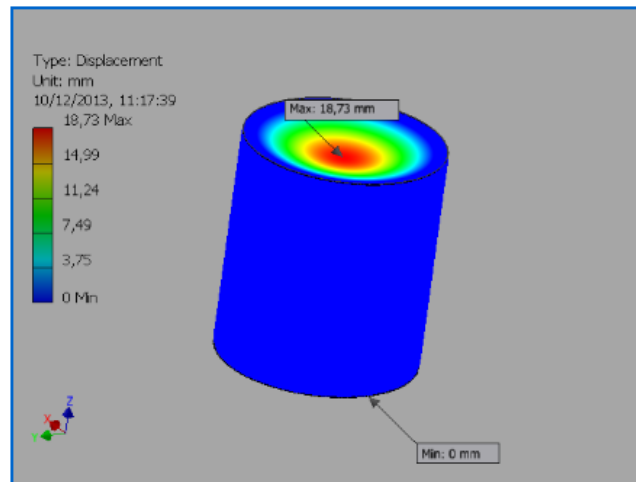
### Result Summary

| Name                 | Minimum                  | Maximum            |
|----------------------|--------------------------|--------------------|
| Volume               | 78849700 mm <sup>3</sup> |                    |
| Mass                 | 618,97 kg                |                    |
| Von Mises Stress     | 0,000357538 MPa          | 202,275 MPa        |
| 1st Principal Stress | -19,3315 MPa             | 206,488 MPa        |
| 3rd Principal Stress | -152,588 MPa             | 47,2657 MPa        |
| Displacement         | 0 mm                     | 18,7337 mm         |
| Safety Factor        | 1,02336 ul               | 15 ul              |
| Stress XX            | -44,2029 MPa             | 206,307 MPa        |
| Stress XY            | -100,409 MPa             | 101,101 MPa        |
| Stress XZ            | -44,9508 MPa             | 44,8393 MPa        |
| Stress YY            | -45,6212 MPa             | 201,733 MPa        |
| Stress YZ            | -42,1127 MPa             | 42,0126 MPa        |
| Stress ZZ            | -143,683 MPa             | 140,741 MPa        |
| X Displacement       | -1,02121 mm              | 1,02243 mm         |
| Y Displacement       | -1,02763 mm              | 1,02712 mm         |
| Z Displacement       | -18,7337 mm              | 0,0183793 mm       |
| Equivalent Strain    | 0,00000000198383 ul      | 0,000880677 ul     |
| 1st Principal Strain | -0,0000000295791 ul      | 0,000957968 ul     |
| 3rd Principal Strain | -0,000675709 ul          | 0,0000000295342 ul |
| Strain XX            | -0,000411523 ul          | 0,00095679 ul      |
| Strain XY            | -0,000652661 ul          | 0,000657158 ul     |
| Strain XZ            | -0,00029218 ul           | 0,000291456 ul     |
| Strain YY            | -0,000420842 ul          | 0,000938162 ul     |
| Strain YZ            | -0,000273733 ul          | 0,000273082 ul     |
| Strain ZZ            | -0,000619279 ul          | 0,000537163 ul     |

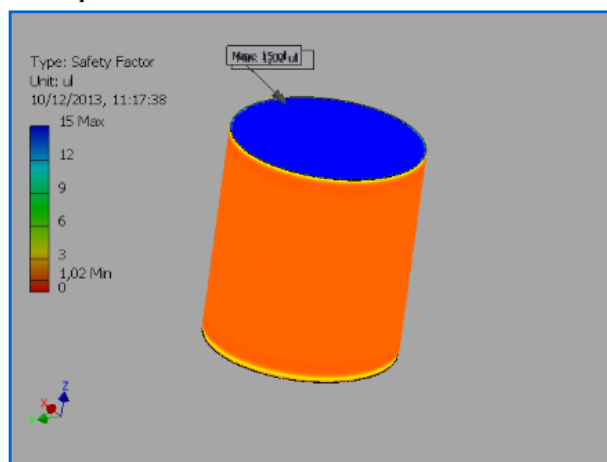
### Von Mises Stress



### Displacement



### Safety Factor



**Figura 5. 5** Resultados obtenidos en el inventor

Fuente: realizada por el investigador.

## 5.5 DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Para que esta propuesta se concrete es necesario contar con los siguientes recursos:

**A. Materiales Directos:** comprende materia prima, equipos y accesorios que intervienen directamente en el proyecto:

**Tabla 5. 2** Desglose de los materiales directos para la construcción del biodigestor.

Fuente: realiza por el investigador.

| Ítem | Detalle                              | Cantidad | Costo Unitario (\$) | Costo Total (\$) |
|------|--------------------------------------|----------|---------------------|------------------|
| 1    | Plancha de acero galvanizado 1/8 in. | 2        | 80                  | 160              |
| 2    | Termostato.                          | 1        | 15,30               | 15,30            |
| 3    | Termómetro bimetálico rango 0/100 °C | 1        | 69,45               | 69,45            |
| 4    | Manómetro. rango 60 PSI              | 1        | 15,20               | 15,20            |
| 5    | Lana de vidrio.                      | 2        | 12,00               | 24,00            |

|   |                          |    |       |       |
|---|--------------------------|----|-------|-------|
| 6 | Pasta selladora de rosca | 1  | 4,15  | 4,15  |
| 7 | Electrodos.              | 15 | 1,20  | 18,00 |
|   |                          |    | Total | 306,1 |

**B. Mano de obra directa:** comprende el salario de los trabajadores y pagos por trabajos realizados en el desarrollo del proyecto.

**Tabla 5. 3** Costo de mano de obra para la construcción del biodigestor.

Fuente: realizada por el investigador.

| Ítem | Descripción               | Cantidad | Costo unitario | Costo total |
|------|---------------------------|----------|----------------|-------------|
| 1    | Suelda del tanque         | 1        | 35,00          | 35,00       |
| 2    | Instalación de accesorios | 1        | 40,45          | 40,45       |
| 3    | Pintura                   | 1        | 9,20           | 9,20        |
|      |                           |          | Total:         | 84,65       |

**C. Costos indirectos.** Comprende materias primas, materiales, equipos o accesorios y mano de obra utilizados dentro de la investigación pero que no se consideran directos en el sistema de biodegradación acelerada.

**Tabla 5. 4** Costos Indirectos.

Fuente: realizada por el investigador

| Ítem | DESCRIPCIÓN            | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | COSTO TOTAL |
|------|------------------------|----------|----------------|-------------|
| 1    | Silicón                | 2        | 2,10           | 4,20        |
| 2    | Neplo                  | 2        | 0,85           | 1,7         |
| 3    | Acoples de caucho      | 5        | 0,25           | 1,25        |
| 4    | Preparación del tanque | 1        | 5,00           | 5,00        |
|      |                        |          | Total          | 12,15       |

**D. Costos varios:** comprende gastos de combustible y transporte para la adquisición de materiales y accesorios.

**Tabla 5. 5** Costos Varios.

Fuente: realizada por el investigador

| Ítem | Descripción                           | Cantidad | Costo unitario (\$) | Costo total (\$) |
|------|---------------------------------------|----------|---------------------|------------------|
| 1    | Combustible y Movilización.           | 8        | 2,00                | 16,00            |
| 2    | Transporte de materiales y accesorios | 2        | 2,00                | 4,00             |
|      |                                       |          | Total               | 20               |

**E. Costo Total de la investigación.**

**Tabla 5. 6** Costo Total.

Fuente: realizada por el investigador

| Ítem        | Descripción          | Costo total (US\$) |
|-------------|----------------------|--------------------|
| 1           | Materiales Directos  | 306,1              |
| 2           | Mano de obra directa | 84.65              |
| 3           | Costos Indirectos    | 12,15              |
| 4           | Costos Varios        | 20,00              |
| Costo total |                      | 422,9              |

## F. Cálculo del costo de metro cúbico de biogás.

Producción diaria  $V_G = 1,069 \text{ m}^3$

**Tabla 5. 7** Costos de producción de biogás

Fuente: realizada por el investigador

|                                       | Valor anual (US\$) | Valor Unitario (US\$/día) |
|---------------------------------------|--------------------|---------------------------|
| <b>Costo Total</b>                    | <b>422,90</b>      | <b>1,159</b>              |
| Total del costo de producción diaria. | 422,90             | 1,159                     |

**Tabla 5. 8** Costo unitario del  $\text{m}^3$  de biogás.

Fuente: realizada por el investigador

|   | Costo unitario del $\text{m}^3$ de biogás |
|---|---|
| Costo de producción diaria dividido para número de $\text{m}^3$ producidos por día. | 1,084                                     |
| Costo unitario de biogás es igual a (US\$)  | 1,084                                     |

## G. Beneficios económicos totales.

Los Beneficios económicos totales para el biodigestor se estimaron para un período de 20 años.

**Tabla 5. 9** Variación inflación anual.

Fuente: INEC (Instituto nacional de Estadísticas y Censos)

| Variación inflación anual | TASA         |
|---------------------------|--------------|
| Noviembre 2011            | 5,53%        |
| Noviembre 2012            | 4,77%        |
| Noviembre 2013            | 2,49%        |
| <b>Promedio</b>           | <b>4,26%</b> |

**Tabla 5. 10** Tasa pasiva

Fuente: Banco Central del Ecuador

|             |       |
|-------------|-------|
| Tasa pasiva | 4,53% |
| Fuente: BCE |       |

**Tabla 5. 11** Beneficios económicos totales (US\$) de 1,069  $m^3$  de biogás diarios.

Fuente: realizada por el investigador

| BENEFICIOS ECONÓMICOS TOTALES (US\$) DE 1,069 $m^3$ DE BIOGÁS DIARIOS        |          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|  | AÑOS     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Beneficios por año   | 0        | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     |
| Ahorro del GLP (6 cilindros mensuales)<br>Costo en el lugar (2,50 US\$)      | 0        | 180    | 187,67 | 195,68 | 204,02 | 212,72 | 221,78 | 231,24 | 241,10 | 251,38 | 262,09 |
| Costos por año   |          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Materiales y equipos (US\$)  | 422,9    | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Mantenimiento (US\$)   | 0        | 0      | 0      | 40     | 41,71  | 43,48  | 45,34  | 47,27  | 49,29  | 51,39  | 53,58  |
| Costos totales (US\$)  | 422,9    | 0      | 0      | 40,00  | 41,71  | 43,48  | 45,34  | 47,27  | 49,29  | 51,39  | 53,58  |
| Beneficios netos por año.<br>(FLUJOS)  | -422,9   | 180,00 | 187,67 | 155,68 | 162,31 | 169,23 | 176,45 | 183,97 | 191,81 | 199,99 | 208,52 |
| Promedio inflación anual   | 4,26%    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Tasa pasiva (tasa de oportunidad)<br>TMAR (tasa mínima aceptable de retorno) | 4,53%    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| VAN (Valor Actual Neto)  | 1.001,77 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| TIR (Tasa Interna de Rendimiento)  | 40,28%   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Relación BENEFICIO/COSTO   |          |        | 2,43   |        |        |        |        |        |        |        |        |



## **H. Interpretación de resultados (Tabla 5.11)**

- La tasa de descuento para el cálculo del VAN, TIR, RELACIÓN BENEFICIO COSTO, fue tomada de la tasa pasiva (costo de oportunidad), emitida por el Banco Central del Ecuador.
- De acuerdo al indicador VAN el proyecto debe aceptarse ya que luego de ejecutado el proyecto me deja un beneficio de \$1001,77 en teoría, un proyecto debe ser aceptado si su valor es mayor que cero.
- El indicador TIR, me da como resultado un retorno del 40,28%, que es una tasa mayor a la tasa de oportunidad (4,53%), que tomamos de la tasa pasiva que podrían pagar las instituciones financieras por un depósito a plazo fijo. Fuente tomada del Banco Central del Ecuador.
- La relación beneficio-costos, nos da un dato mayor a uno por lo tanto se acepta el proyecto, interpretando nos dice, que por cada dólar invertido tengo un beneficio de 1,43 centavos.
- Considerando los flujos (Beneficios Netos por año) se puede notar que se recupera la inversión en el tercer año.

## **5.6 EVALUACIÓN SOCIO-ECONÓMICO-CULTURAL-AMBIENTAL DE LA PROPUESTA.**

El propósito de la evaluación socioeconómica es el de conocer la probabilidad de que el proyecto contribuya en grado significativo al desarrollo de la economía en su conjunto y de que su contribución sea lo bastante grande como para justificar la

utilización de los escasos recursos que se necesiten. El punto de vista que se adopta en el análisis económico es el de la sociedad como un todo.

### **5.6.1 Resultados de la valoración cultural y socioeconómica de la propuesta del diseño tecnológico del biodigestor.**

El nivel cultural y socioeconómico, experimenta una mejora durante la investigación, debido a que permite facilitar los conocimientos a los beneficiarios directos e indirectos durante la construcción del biodigestor y sus beneficios, también concientizar en la repercusión que genera desechar esta materia orgánica al medio ambiente, sin antes procesarla (proceso anaeróbico dentro del biodigestor).

### **5.6.2 Análisis de impacto ambiental.**

En algunas las poblaciones rurales del Ecuador, existe una evidente relación entre las necesidades de combustible y una deforestación progresiva por demanda de leña. Será especialmente importante para los pequeños agricultores aprovechar los escasos recursos de que disponen, siendo esto posible con la tecnología del biogás, después de la extracción del contenido energético del estiércol o residuos orgánicos el efluente es un buen fertilizante, que mantiene la calidad del suelo e incrementa el rendimiento de la cosecha.

La tecnología del biogás contribuye a la conservación y al desarrollo: A la conservación, puesto que reemplaza la energía tradicional, reemplaza fuentes combustibles fósiles, es una fuente de energía, evita la contaminación del agua superficial y subterránea y protege la calidad del suelo. Al desarrollo porque hay muchos grupos sociales que mejoran a causa de la aplicación del biogás: los agricultores, los industriales, las municipalidades, los gobiernos nacionales, los constructores, los ingenieros y los encargados del mantenimiento.

### **5.6.3 Causas ambientales en la zona.**

La determinación del impacto ambiental de los desechos del ganado vacuno incluye, además de los efectos directos de los desechos sobre los recursos agua, suelo y aire, factores de perturbación como olores y plagas de insectos, además de efectos indirectos sociales y políticos que es imposible cuantificar.

Con la utilización de los biodigestores se podrá dar solución a todos estos factores. El clima es un factor muy importante en la implantación de los sistemas de digestión anaerobia, puesto que condicionan los regímenes de trabajo y el diseño que deberá tener el digestor, así como su rendimiento.

### **5.6.4 Afectación al aire.**

A pesar que este aspecto no puede ser ubicado estrictamente como un uso, aporta indudables beneficios al reemplazar otros costosos sistemas para obtener el mismo grado de descontaminación.

El tratamiento de los desechos por vía anaeróbica elimina la acumulación de malos olores y sustancias volátiles tóxicas, a la intemperie evitando la proliferación de moscas, mosquitos, otros insectos y roedores portadores de peligrosas enfermedades. El proceso fermentativo también tiene un efecto beneficioso si se lo emplea como biofertilizante.

## **CONCLUSIONES.**

Con un equipo a escala de bajo costo se pudo producir biogás, el cual fue de gran ayuda para determinar la potencialidad de la biomasa generada en la hacienda Espinoza sector Cumbijín cantón Salcedo a gran escala y satisfacer la demanda local del GLP en este lugar que es de difícil acceso.

La producción del biogás mediante la utilización de estiércol de ganado vacuno fue efectiva, por los resultados obtenidos durante todas las pruebas realizadas en el ensayo en nuestro biodigestor, se puede decir que es rentable y aplicable en cualquier hacienda ganadera.

La tecnología del biogás no ha sido totalmente desarrollada en las zonas rurales del país, en parte porque no se han realizado las inversiones como tampoco se ha suministrado una tecnología lo suficientemente aceptable para el usuario. Con esta investigación se trata de incentivar a la comunidad en general del sector para el uso de biodigestores.

El biodigestor es una tecnología que puede implantarse no solo en la parte rural sino también en la urbana porque no solo beneficia a los individuos sino que además se convierte en un proyecto ventajoso para la biodiversidad y la sostenibilidad de la misma.

Durante la mayor parte del ensayo el pH se mantuvo en un valor neutro ( $\text{pH}=7$ ) o ligeramente alcalino ( $\text{pH}>7$ ), lo cual favorece la producción del metano. Si bien se obtuvieron algunos valores ácidos ( $\text{pH}<7$ ), estos no afectaron la producción de metano por ser pocos valores y muy cercanos al valor neutro.

El uso de digestión anaeróbica como una fuente de energía es una alternativa económica y ambientalmente factible para Ecuador.

El biogás puede ser usado para producir electricidad o en casos de pequeños y medianos agricultores remplazar GLP reduciendo así el gasto en subsidios.

Se debe construir otro biodigestor con la mismas características y dimensiones en serie, debido a que existe en la hacienda suficiente biomasa y por qué el biodigestor propuesto es de carga única y habrá un periodo que deje de generar biogás, este biodigestor debe ser cargado con diferente tiempo.

### **RECOMENDACIONES**

Es recomendable la utilización de biodigestores, ya que ofrece grandes ventajas para el tratamiento de los desechos orgánicos, además de disminuir la carga contaminante de los mismos, controla de manera considerable la proliferación de moscas, mosquitos y roedores portadores de peligrosas enfermedades, extrae gran parte de la energía contenida en el material mejorando su fertilizante que es utilizado en los sembríos.

Se recomienda aislar el biodigestor con lana de vidrio para evitar la pérdida de calor y utilizar una niquelina, la cual mantendrá al sustrato a una temperatura casi constante, ya que la temperatura afecta directamente la tasa de producción de biogás. Este puede ser producido a cualquier temperatura entre los 5°C, y los 60°C. Dentro de este rango entre más alta la temperatura mayor será la producción de gas.

Se recomienda incluir un manual de operación y mantenimiento del biodigestor, donde se indicarán las actividades del operador, equipo necesario y la frecuencia de limpieza, muestreos y análisis de laboratorio. El operador debe ser capacitado al respecto.

Se recomienda aplicar la actual investigación en las demás comunidades agropecuarias por su alto rendimiento en bioabono así como por el ahorro de energía

que supone la utilización del biogás, lo que le convierte en una fuente de energía viable, útil, renovable y sobretodo no contaminante.

El biogás obtenido es un agente corrosivo para los metales, en el proyecto se utiliza piezas de hierro fundido y acero galvanizado, especialmente por la dificultad de obtenerlas en el tamaño requerido en el mercado local, por lo que se recomienda realizar un mantenimiento periódico de las mismas y su cambio cada seis meses.

Se recomienda realizar el estudio a futuro para la generación de energía eléctrica, ya que existe gran cantidad de biogás.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Avendaño, D. (2010, Septiembre). Diseño y construcción de un digestor anaerobio de flujo piston que trate los residuos generados en una explotación ganadera de la localidad de loja, ecuador, empleando tecnologías apropiadas.

Biomásica, S. C. (1985). Diseño y Construcción de Biodigestores.

Bonilla, W. (2013, Noviembre 30). Determinación de la potencialidad de la biomasa generada en la hacienda Espinoza sector Cumbijín cantón Salcedo-2013 para cubrir la demanda del GLP, diseño tecnológico de un biodigestor.

BuenasTareas.com. (2011, Septiembre). Relación Masa - Volumen. Retrieved from <http://www.buenastareas.com/ensayos/Relacion-Masa-Volumen/2698405.html>

Caceres, E. (02 de Febrero de 2011). Curso Producción de biogás. Construcción de un biodigestor. Obtenido de <http://www.emagister.com/curso-produccion-biogas-construccion-biodigestor/biogas-alimentacion-digestor-desechos-animales>

Díaz, J. (2007). Diseño y construcción de un biodigestor plástico de flujo continuo, a partir de desechos orgánicos para la hacienda San Antonio del IASA II, perteneciente a la ESPE.

Franco, E. (2010). Conocimiento de las fuentes de energía renovable así como su potencial uso para disminuir la dependencia del petróleo extranjero. Retrieved 2013, from <http://www.monografias.com/trabajos73/fuentes-energia-renovable/fuentes-energia-renovable5.shtml>

Hilbert, J. (2003). Manual para la producción de Biogás, Instituto de Ingeniería Rural. Retrieved 2013

Liliana. (2010, Junio). Construcciones y mejoras para el ganado bovino. Retrieved from <http://construccionespecuarias.blogspot.com/2010/05/construcciones-y-mejoras-para-el-ganado.html>

Martina, Y. (2004). Ensayos de un biodigestor con aserrín de diferentes maderas. Retrieved from <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/com2005/7-Tecnologia/T-007.pdf>

Monar, U. (2009). Diseño de un Biogestor para una finca de recinto San Luís de las Mercedes del Cantón las Naves de la Provincia de Bolívar. Retrieved 2013, from <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream>

Morales, L. (2011). Proyecto base plan eje Papalote.

Razo, E. (2007, Marzo 2007). Diseño, construcción y pruebas de un biodigestor.

Samayoa, S. (2012, julio). Guía de implementación de sistemas de biodigestión en ecoempresas. Retrieved from <http://www.snvworld.org/sites>

wikipedia.(2013).Biodigestor.Retrieved from <http://es.wikipedia.org/wiki/Biodigestor>