



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**CARRERA INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**  
**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA  
GENERACIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA Y DEMOSTRACIÓN DE  
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CRIADERO  
PORCINO LA BONITA”**

Autores:

**BASURTO CUSME CARLOS ANTONIO**

**CORRALES MOLINA JONATAN GABRIEL**

Tutor:

**Ph.D ANGEL SALVADOR HERNÁNDEZ MORENO**

**LATACUNGA – ECUADOR**

**2017**



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente informe de investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi y por la Facultad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Basurto Cusme Carlos Antonio con número de C.I. 131249215-8 y Corrales Molina Jonatan Gabriel de C.I. 050312589-0, con el Título de Proyecto de Investigación:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA GENERACION DE ENERGÍA TÉRMICA Y DEMOSTRACIÓN DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CRIADERO PORCINO LA BONITA”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

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

Latacunga, 19 de enero de 2017

Para constancia firman:

Ing. Espinel Cepeda Carlos Alfredo  
C.C. 050268518-3  
LECTOR 1

Ing. Albarracín Álvarez Mauro Darío  
C.C. 050311373-0  
LECTOR 2

Ing. Gallardo Molina Cristian Fabián  
C.C. 050284769-2  
LECTOR 3



---

---

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros Basurto Cusme Carlos Antonio y Corrales Molina Jonatan Gabriel postulantes a la obtención de título de Ingeniero Electromecánico, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA GENERACION DE ENERGÍA TÉRMICA Y DEMOSTRACIÓN DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CRIADERO PORCINO LA BONITA “siendo el, Ph.D Ángel Salvador Hernández Moreno director del presente trabajo, a la vez eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posible reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de investigación, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Basurto Cusme Carlos Antonio

C.I.1312492158

Corrales Molina Jonatan Gabriel

C.I. 0503125890



## AVAL DEL TUTOR

En calidad de Director del Trabajo de Investigación sobre el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA GENERACION DE ENERGÍA TÉRMICA Y DEMOSTRACIÓN DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CRIADERO PORCINO LA BONITA”**, de Basurto Cusme Carlos Antonio y Corrales Molina Jonatan Gabriel, de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnico suficientes para ser sometidos a la evaluación del tribunal de validación de proyecto que el Honorable Consejo Universitario de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 19 de enero de 2017

El Director

Firma

Ph.D Ángel Salvador Hernández



## AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

En calidad de propietario del criadero LA BONITA, certifico que mediante el Proyecto de Investigación **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA GENERACION DE ENERGÍA TÉRMICA Y DEMOSTRACIÓN DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CRIADERO PORCINO LA BONITA”**, Los señores Basurto Cusme Carlos Antonio y Corrales Molina Jonatan Gabriel, de la carrera de Ingeniería Electromecánica, quienes han desarrollado el diseño y construcción de la máquina, tomando en consideración los requerimientos del criadero.

Doy fe del presente para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 18 Enero, 2016

**PROPIETARIO**

Sr. Segundo Zumba  
CI: 050115656-6

## **AGRADECIMIENTO**

Primero quiero agradecer a Dios por darme una familia maravillosa y unida, también por brindarme siempre salud y fortaleza necesaria para no darme por vencido ante cualquier obstáculo.

Agradezco de manera infinita a mis Padres Alfonso Basurto y María Cusme, ya que ellos son el pilar fundamental en mi vida.

A mis Tíos Juan Llano y Trinidad Cusme por su acogida todos estos años y depositar su confianza en mí.

A mi Hermana Lidia Basurto y a mi Cuñado Wilmer Oñate por su ayuda incondicional en cada momento difícil que pase.

Un especial agradecimiento al Ph.D Ángel Hernández por su valioso apoyo que ha permitido culminar con éxito el presente proyecto.

*Carlos*

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, doy gracias a Dios por darme una familia que siempre se ha mantenido unida, por darme la fortaleza a lo largo de mi vida y de mi carrera.

Agradezco de una manera muy especial a mis padres Jorge Corrales y Flor Molina por ser los principales promotores de mis sueños, gracias por las palabras de aliento que me transmitían para seguir adelante.

A mi hermana Clara Corrales gracias por estar presente, no solo en esta etapa tan importante, sino también en los momentos más difíciles de mi vida.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida y a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo, otras en mis recuerdos y las más importantes en mi corazón.

*Jonatan*

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a mi padre y a mi madre ya que gracias a ellos soy una persona formada de la mejor manera, ustedes son lo mejor que tengo en la vida son la fuente de inspiración y motivación que me ayuda a luchar y salir triunfador en todo momento, los amo.

*Carlos*

## **DEDICATORIA**

Le presente trabajo se lo dedico a Dios el cual ha estado conmigo a cada paso que doy; a mis padres y a mi hermana, pilares fundamentales en mi vida sin ellos jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora sin dejar de lado a mi persona favorita gracias por soportar a este loco.

A toda mi familia que siempre ha estado junto a mí y brindándome su apoyo incondicional, por compartir conmigo buenos y malos momentos gracias de todo corazón.

Los llevo siempre en mi corazón.

*Jonatan*

## ÍNDICE

1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. RESUMEN DEL PROYECTO.....	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	4
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
6. OBJETIVOS.....	5
Objetivo general.....	5
Objetivo específico .....	6
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	6
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA.....	7
La digestión anaeróbica.....	7
Características del proceso .....	7
Principales factores que influyen la producción del biogás .....	8
Ausencia de oxígeno.....	8
Tipo de Biomasa.....	8
Masa seca (MS). .....	9
Masa volátil (MV) .....	9
Mezcla y homogenización .....	9
Carga orgánica volumétrica (COV).....	10
Relación Carbono-Nitrógeno (C: N) .....	10
Agitación, Mezclado.....	10
Temperatura del proceso. ....	11
Tiempo de retención hidráulica (TRH) .....	12
Nivel de Acidez (pH).....	13
Factores que inhiben la producción de biogás .....	13
Biomasa y producción de biogás.....	14
Tipos de biomasa.....	15
Característica de estiércol de cerdo .....	16
Usos del biogás.....	18

Tipos de digestores.....	18
9. HIPÓTESIS.....	22
10. METODOLOGÍA.....	24
11. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	43
12. IMPACTOS.....	44
Aspecto técnico.....	44
Aspecto ambiental.....	44
13. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO.....	45
14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49
15. BIBLIOGRAFÍA.....	51
16. ANEXOS.....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Beneficiarios directos e indirectos del proyecto de investigación. ....	4
<b>Tabla 2:</b> Actividades planificadas para darle cumplimiento a los objetivos planteados .....	6
<b>Tabla 3:</b> Características del proceso anaerobio .....	7
<b>Tabla 4:</b> Clasificación de bacterias en función de la temperatura .....	12
<b>Tabla 5:</b> Valores de TRH para diferentes residuos animales .....	13
<b>Tabla 6:</b> Factores inhibidores .....	14
<b>Tabla 7:</b> Tabla Producción de biogás mediante estiércol. ....	16
<b>Tabla 8:</b> Ejemplo de producción de estiércol de cerdos .....	17
<b>Tabla 9:</b> Energía equivalente (valor energético) Biogás Vs. Otras fuentes (Composición promedio del biogás: CH <sub>4</sub> (65%) – CO <sub>2</sub> (35%)).....	18
<b>Tabla 10:</b> Operacionalización de variables.....	23
<b>Tabla 11:</b> Datos obtenidos en las porquerizas .....	24
<b>Tabla 12:</b> Datos de temperatura obtenidos mediante la mini estación meteorológica de marca EasyWeather.....	26
<b>Tabla 13:</b> Resumen de cálculos de la mini planta de generación de biogás.....	31
<b>Tabla 14:</b> Valores y características del estiércol de algunos animales.....	32
<b>Tabla 15:</b> Resumen de cálculos de biogás requerido para la generación energética.....	35
<b>Tabla 16:</b> Necesidades energéticas .....	35
<b>Tabla 17:</b> Resultados de la muestra de biogás que entrega el biodigestor .....	43
<b>Tabla 18:</b> Resultados de la muestra de biogás que entrega el filtro H <sub>2</sub> S.....	43
<b>Tabla 19:</b> Precio de elementos del biodigestor.....	45
<b>Tabla 20:</b> Accesorios de PVC.....	45
<b>Tabla 21:</b> Gastos indirectos incurridos en el proyecto. ....	46
<b>Tabla 22:</b> Costo del libro de Aqualimpia. ....	46
<b>Tabla 23:</b> Desglose de precios de los elementos varios. ....	47
<b>Tabla 24:</b> Valor del generador eléctrico. ....	47
<b>Tabla 25:</b> Inversión en la mini planta .....	48

## ÍNICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Efecto de la temperatura en la actividad anaeróbica .....	11
<b>Figura 2:</b> Producción de biogás en función de temperatura .....	12
<b>Figura 3:</b> Ciclo de la biomasa.....	15
<b>Figura 4:</b> Digestor anaerobio de campana fija .....	19
<b>Figura 5:</b> Digestor anaerobio de cúpula móvil .....	20
<b>Figura 6:</b> Digestor anaerobio tubular de polietileno 1. Digestor 2. Contenedor de biogás 3. Entrada.....	21
<b>Figura 7:</b> Motor de dos tiempos en sus diferentes ciclos. ....	22
<b>Figura 8:</b> Corral de cerdos dentro del criadero.....	24
<b>Figura 9:</b> Flujograma del funcionamiento de la mini planta .....	27
<b>Figura 10:</b> Tanque de alimentación .....	29
<b>Figura 11:</b> Croquis de la ubicación del biodigestor.....	32
<b>Figura 12:</b> Motogenerador eléctrico de 1000 W utilizado para la generacion electrica en el criadero. ....	37
<b>Figura 13:</b> Tanque de suministro de residuos porcinos al biodigestor .....	40
<b>Figura 14:</b> Biodigestor.....	40
<b>Figura 15:</b> Tanque de recolección de biol .....	41
<b>Figura 16:</b> Salida de lodos hacia recolectores de lodos.....	42
<b>Figura 17:</b> Diseño final del invernadero.....	42

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS**

**TITULO:** “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA GENERACION DE ENERGÍA TÉRMICA Y DEMOSTRACIÓN DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CRIADERO PORCINO LA BONITA”

**Autores:**

Basurto Cusme Carlos Antonio

Corrales Molina Jonatan Gabriel

**RESUMEN**

El criadero porcino “La Bonita”, que se encuentra ubicado en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, parroquia La Victoria, sector Guapulo, cuenta con un total de 6 cerdos que generan una cantidad de, aproximadamente, 10 kg/día de excretas. Dichas excretas se depositaban en el terreno aledaño al criadero, lo que ocasionaba una considerable contaminación ambiental. Por otra parte, en el criadero se consumían 15 kg/mes de gas licuado del petróleo (GLP), en una cocina de gas, para la cocción de los alimentos de los cerdos y para el calentamiento de los cerdos pequeños, en dos calentadores de gas. Este consumo de GLP equivale a un consumo de energía de 1,3 kWh/día. Además, existen 3 bombillos de 100 W, a los que se le suministra energía eléctrica a través de una extensión proveniente desde la casa del propietario del criadero, con un consumo de 300 Wh/día. Por ello, para eliminar y/o disminuir los problemas anteriormente expuestos este trabajo tiene como objetivo fundamental implementar una mini planta para el tratamiento de los residuales porcinos generados en el criadero, y con ello disminuir la contaminación ambiental; y para la producción de biogás, que será usado como combustible, para satisfacer las necesidades térmicas y como demostración eléctrica. Para dar cumplimiento a dicho objetivo se diseñó, construyó e implementó la mini planta, que está formada, fundamentalmente, por un tanque de mezcla, el biodigestor, un tanque de descarga y otro de lodos, un filtro para la eliminación del sulfuro de hidrógeno que contiene el biogás generado, el reservorio de biogás, y el sistema de generación eléctrica. El costo total de la mini planta es de 832,52 USD, siendo los elementos más costosos el sistema de generación eléctrica, con un costo del 36 % del total, y el biodigestor, con un costo del 32,2%; la suma de los costos de ambos elementos constituye, aproximadamente, el 70% del coste total de la mini planta. Para la construcción de la mini

planta se seleccionaron recipientes y accesorios de fácil adquisición y bajo costo disponibles en el mercado de Cotopaxi, tales como los tanques utilizados (tanque de mezcla, biodigestor, tanque de descarga y de lodos) y el sistema de tuberías con sus respectivos accesorios. El biogás producido en el biodigestor (0,83 m<sup>3</sup>/día), y con un contenido energético equivalente a 1 kWh/día, se utiliza como combustible, fundamentalmente, para satisfacer el 77% de las necesidades térmicas existentes en el criadero (1,3 kWh/día); aunque también se puede utilizar para satisfacer las necesidades eléctricas (300 Wh/día) mediante la generación de energía eléctrica en un sistema de generación formado por un motor de combustión interna y un generador eléctrico. El biol generado se utiliza como abono para los cultivos de alfalfa, avena y cebada, que se utilizan como alimento para el ganado.

**Palabras clave:** Excretas, Biodigestor, Biogás, Energía, Biol, Implementación

**COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY**  
**FACULTY OF ENGINEERING SCIENCES AND APPLIED**

**THEME:** A BIODIGESTOR DESIGNING AND CONSTRUCTION FOR THERMAL POWER GENERATION AND ELECTRIC ENERGY DEMONSTRATION IN “LA BONITA” PIG HUSBANDRY.

**Authors:**

Basurto Cusme Carlos Antonio

Corrales Molina Jonatan Gabriel

**ABSTRACT**

"La Bonita" pig farm, located in Cotopaxi province, canton Latacunga, parish The Victory, Guapulo sector, with a total of 6 pigs that generate an amount of 10 kg/day of excreta disposal approximately. These Excreta were deposited in the adjacent field to the hatchery, which caused considerable environmental pollution. On the other hand, in the hatchery were consumed 15 kg/month of liquefied petroleum gas (LPG), in a gas stove for cooking food for pigs and for warming up the small ones, in two gas heaters. This LPG consumption is equivalent to an energy consumption of 1.3 kWh/day. In addition, there are 3 light bulbs of 100 W To which it is supplied with power via an extension from the house of the owner of the farm, with a consumption of 300 Wh/day. Therefore, in order to eliminate and/or reduce the problems above, this work has as objective to implement a mini plant for the treatment of swine waste generated on the farm, and thus reduce the environmental pollution And for the production of biogas, which will be used as fuel, to meet the needs of thermal and electric power as a demonstration. To comply with this objective was designed, built and implemented the mini plant, which is formed mainly by a mix tank, the biodigester, a tank and other of sludge, a filter for the elimination of hydrogen sulfide that contains the generated biogás, a biogas reservoir, and the system of electricity generation. The total cost of the mini plant is 832.52 USD, being the most costly elements the power generation system, with 36% of the total cost, and the biodigester with 32.2% of total cost; the sum of the costs of the two elements constitutes approximately 70% of the total cost of the miniplant. For the mini plant construction was selected containers and accessories of easy acquisition and low cost available in the market of Cotopaxi, such as tank (mixing tank, biodigester, unloading and

sludge tank) and the piping system with their respective accessories. The produced biogás in the biodigester (0.83 m<sup>3</sup>/day), and with an energy content equivalent to 1 kWh/day, is used as a fuel, fundamentally, in order to meet the 77% of the thermal needs existing in the hatchery (1.3 kWh/day); although it can be used to satisfy the electrical needs (300 Wh/day) through the generation of electrical energy in a generation system formed by an internal combustion engine and an electric generator. The generated Biol is used as fertilizer for alfalfa crop, oats and barley, which are used as feed for livestock. In addition, the implementation of the mini plant prevents the deposition of 3,650 kg of pig excreta per year, with the consequent reduction in environmental pollution that this causes.

**Keywords:** excrete, biodigester, biogás, energy, biol, implementation.



## ***AVAL DE TRADUCCIÓN***

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentado por los señores Egresados de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas: **BASURTO CUSME CARLOS ANTONIO** y **CORRALES MOLINA JONATAN GABRIEL**, cuyo título versa **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA Y DEMOSTRACIÓN DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CRIADERO PORCINO “LA BONITA”** lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, 18 de enero del 2017

Atentamente,

Lic. Rebeca Yugla Lema

0502652340

**DOCENTE CENTRO CULTURAL DE IDIOMAS**

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

### **Título del Proyecto:**

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA Y DEMOSTRACIÓN DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CRIADERO PORCINO LA BONITA”

**Fecha de inicio:** Abril, 2016

**Fecha de finalización:** Agosto, 2016

**Lugar de ejecución:** Sector Guapulo, Cantón Pujili, Provincia Cotopaxi

### **Facultad que auspicia:**

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

### **Carrera que auspicia:**

Ingeniería Electromecánica

### **Equipo de Trabajo:**

#### **Tutor del Proyecto Investigación:**

- Nombre: PhD. Ángel Salvador Hernández Moreno
- Celular: 0984160559
- Correo electrónico: angel.hernandez@utc.edu.ec

#### **Coordinadores del proyecto:**

- Nombre: Basurto Cusme Carlos Antonio
- Celular: 0979059843
- Correo electrónico: carlos.basurto8@utc.edu.ec

**Coordinador de proyecto:**

- Nombre: Corrales Molina Jonatan Gabriel
- Celular: 0984873623
- Correo electrónico: jonatan.correles21@gmail.com

**Área de Conocimiento:**

Energías Alternativas

**Línea de investigación:**

El proyecto a realizarse este sujeto, según los lineamientos de investigación de la universidad, Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

**Sub líneas de investigación de la carrera:**

Diseño y explotación de sistemas de energías alternativas.

**2. RESUMEN DEL PROYECTO**

El criadero porcino “La Bonita”, que se encuentra ubicado en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, parroquia La Victoria, sector Guapulo, cuenta con un total de 6 cerdos que generan una cantidad de, aproximadamente, 10 kg/día de excretas. Dichas excretas se depositaban en el terreno aledaño al criadero, lo que ocasionaba una considerable contaminación ambiental. Por otra parte, en el criadero se consumían 15 kg/mes de gas licuado del petróleo (GLP), en una cocina de gas, para la cocción de los alimentos de los cerdos y para el calentamiento de los cerdos pequeños, en dos calentadores de gas.

Este consumo de GLP equivale a un consumo de energía de 1,3 kWh/día. Además, existen 3 bombillos de 100 W, a los que se le suministra energía eléctrica a través de una extensión proveniente desde la casa del propietario del criadero, con un consumo de 300 Wh/día. Por ello, para eliminar y/o disminuir los problemas anteriormente expuestos este trabajo tiene como objetivo fundamental implementar una mini planta para el tratamiento de los residuales porcinos generados en el criadero, y con ello disminuir la contaminación ambiental; y para la producción de biogás, que será usado como combustible, para satisfacer las necesidades térmicas y como demostración eléctrica.

Para dar cumplimiento a dicho objetivo se diseñó, construyó e implementó la mini planta, que está formada, fundamentalmente, por un tanque de mezcla, el biodigestor, un tanque de descarga y otro de lodos, un filtro para la eliminación del sulfuro de hidrógeno que contiene el biogás generado, el reservorio de biogás, y el sistema de generación eléctrica.

El costo total de la mini planta es de 832,52 USD, siendo los elementos más costosos el sistema de generación eléctrica, con un costo del 36 % del total, y el biodigestor, con un costo del 32,2%; la suma de los costos de ambos elementos constituye, aproximadamente, el 70% del coste total de la mini planta.

Para la construcción de la mini planta se seleccionaron recipientes y accesorios de fácil adquisición y bajo costo disponibles en el mercado de Cotopaxi, tales como los tanques utilizados (tanque de mezcla, biodigestor, tanque de descarga y de lodos) y el sistema de tuberías con sus respectivos accesorios.

El biogás producido en el biodigestor ( $0,83 \text{ m}^3/\text{día}$ ), y con un contenido energético equivalente a  $1 \text{ kWh/día}$ , se utiliza como combustible, fundamentalmente, para satisfacer el 77% de las necesidades térmicas existentes en el criadero ( $1,3 \text{ kWh/día}$ ); aunque también se puede utilizar para satisfacer las necesidades eléctricas ( $300 \text{ Wh/día}$ ) mediante la generación de energía eléctrica en un sistema de generación formado por un motor de combustión interna y un generador eléctrico.

El biol generado se utiliza como abono para los cultivos de alfalfa, avena y cebada, que se utilizan como alimento para el ganado. Además, la implementación de la mini planta evita la deposición de 3.650 kg de excretas porcinas al año, con la consiguiente disminución de la contaminación ambiental que esto ocasiona.

### **3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

La ejecución del presente proyecto de investigación, justifica significativamente el aprovechamiento y tratamiento, mediante la digestión anaerobia (proceso en el cual los microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno) de los desechos sólidos generados por los animales para la obtención de energía y abono, de una manera más económica, ecológica y amigable con el ambiente.

Como se sabe en el área ganadera existen ciertos desperdicios que no son tratados antes de ser lanzados a los terrenos como abonos, provocando la contaminación del ambiente especialmente por los gases de los invernaderos, mediante la utilización de un biodigestor se pretende controlar esta contaminación, pues los gases generados son utilizados para la obtención de energía térmica, pudiendo llegar a sustituir al GLP, la gasolina o la quema de madera y evitar la tala de los bosques, estos gases de la misma manera pueden ser utilizados para la generación de electricidad mediante su quema y la implementación de generadores eléctricos y por ultimo obtenemos un efluente completamente tratado que es una fuente muy rica en nutrientes para la tierra, el cual es llamado biol o bioabono.

La importancia de construir un biodigestor para la generación de energía para el criadero “La Bonita”, está ubicado en el sector de Guápulo Cantón Pujilí, Provincia de Cotopaxi, su carácter es significativo, ya que se pretende dotar de energía térmica y eléctrica para abaratar costos de consumo de las mismas y concientizar a las personas en la adopción de nuevas fuentes.

#### 4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

**Tabla 1:** Beneficiarios directos e indirectos del proyecto de investigación.

<b>Beneficiarios Directos</b>	<b>Beneficiarios Indirectos</b>
Sr. Segundo Zumba y familia (4 personas) Postulantes: Basurto Carlos Corrales Jonatan	Criadero porcino “La bonita” Trabajadores 3 hombres 3 mujeres

**Realizado por:** Basurto C., Corrales J.

#### 5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

##### **Situación Problemática**

En el Ecuador, anualmente se generan grandes cantidades de desperdicios inorgánicos y orgánicos que afectan al ecosistema. Estos desperdicios, cuando se encuentran en estado de descomposición emiten sustancias contaminantes, que perjudican al suelo, y líquidos vitales para el consumo humano. De igual manera estos desperdicios emiten gases de efecto

invernadero y afecta la calidad del aire que respiramos, causando enfermedades respiratorias, enfermedades de la piel, debido a la exposición diaria a estos agentes.

En las zonas rurales los desechos orgánicos (excretas) generados por el ganado porcino son enviados directamente al medio ambiente sin ningún tratamiento previo, esto es lo que sucede en el criadero “La Bonita”, en el que la deposición de excretas en los terrenos aledaños provoca problemas a los suelos de su alrededor, ya que estos desechos poseen una gran cantidad de elementos químicos y al ser arrojados al ambiente se ponen en contacto directo con las plantas que se encuentran en los suelos que en ocasiones mueren debido a la alta acidez que tienen las excretas. Además, al ser expuestas directamente a factores climáticos tales como el sol, agua, viento, provocan emanaciones de malos olores gases de invernadero perjudicando a las personas que se encuentran en la cercanía del criadero.

Estos desechos no solo son perjudiciales para la salud y el bienestar físico de las personas, sino también para el de los animales que se encuentran en el criadero, debido a estas emanaciones de las excretas generadas y enviadas al medio, proliferan además insectos tales como; moscas, piojos entre otros, por lo que se hace necesario su tratamiento.

Por otra parte, en el criadero se consumían 15 kg/mes de gas licuado del petróleo (GLP), en una cocina de gas, para la cocción de los alimentos de los cerdos y para el calentamiento de los cerdos pequeños, en dos calentadores de gas. Este consumo de GLP equivale a un consumo de energía de 1,3 kWh/día. Además, existen 3 bombillos de 100 W, a los que se le suministra energía eléctrica a través de una extensión proveniente desde la casa del propietario del criadero, con un consumo de 300 Wh/día.

### **Planteamiento del problema**

Como disminuir la contaminación ambiental provocada por los residuales porcinos no tratados, y el alto consumo del GLP en el criadero La Bonita.

## **6. OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Implementar una mini planta para el tratamiento de las excretas porcinas, la generación de biogás para satisfacer las necesidades térmicas, demostración eléctrica y disminuir la contaminación ambiental en el criadero porcino “La Bonita”.

## OBJETIVO ESPECIFICO

- Determinar las necesidades de energía térmica existentes en el criadero porcino “La Bonita”.
- Diseñar la mini planta para el tratamiento de las excretas porcinas y la generación de biogás.
- Determinar el costo de la mini planta de generación de biogás y generación de energía eléctrica.
- Construcción de la mini planta diseñada.

## 7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

**Tabla 2:** Actividades planificadas para darle cumplimiento a los objetivos planteados

Objetivo	Actividad	Resultado de la actividad	Medios de Verificación
Determinar las necesidades de energía térmica existentes en el criadero porcino “La Bonita”.	-Inspección visual de los elementos existentes en el criadero -Determinación de la demanda térmica del criadero.	Obtención de Información sobre los elementos que consumen gas determinación de la demanda térmica que será satisfecha en el criadero.	Investigación de campo. Observación visual.
Diseñar la mini planta para el tratamiento de las excretas porcinas y la generación de biogás.	-Realizar una investigación bibliográfica.	Obtención de la información técnica y científica de los procesos necesarios para la digestión anaeróbica.	Referencias bibliográficas. Científica.
Determinar el costo de la mini planta de generación de biogás y generación de energía eléctrica.	-Realizar proformas de precios estimados para la construcción.	Costos de los materiales que serán utilizados en la construcción.	Proformas.
Construcción de la mini planta diseñada.	-Compra de los elementos necesarios.	Implementación de la mini planta en el criadero porcino “La Bonita”	Visual y técnicamente.

**Realizado por:** Basurto C., Corrales J.

## 8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA

### La digestión anaeróbica

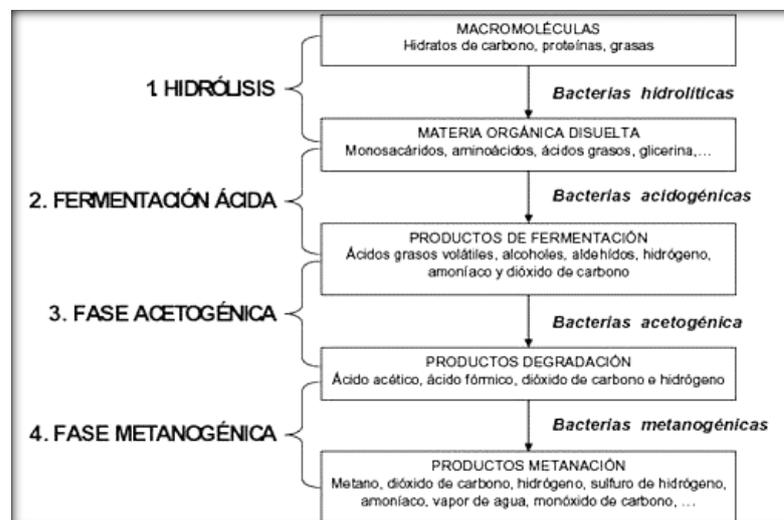
Este es un proceso de fermentación natural, que ocurre en ausencia de oxígeno al interior de un biodigestor, aparato que facilita el crecimiento y la proliferación de un grupo de bacterias anaerobias metanogénicas, las cuales descomponen y tratan los residuos dejando como derivación un gas combustible conocido como biogás o gas Metano ( $\text{CH}_4$ ) y Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), y a su vez un líquido rico en nutrientes y materia orgánica llamado biol.

### Características del proceso

“La digestión anaeróbica es un proceso complejo, siendo viable transformar la biomasa con ausencia de oxígeno en compuestos volátiles, dentro de las características existen cuatro etapas que definen este proceso, primera etapa Hidrólisis, segunda etapa Acidogénesis, tercera etapa Acetogénesis, cuarta etapa Metanogénesis.” (Moncayo, 2008).

Cada una de estas etapas es de gran importancia, con ellas se crea un proceso en el cual las bacterias que se forman, en cada una de estas se descompone, transforma la materia prima y consumen el oxígeno dentro del biodigestor para generar gases como metano, el dióxido de carbono y entre otros que son de gran importancia para el proceso de producción de energía en la Tabla 3 se detalla más de estas etapas.

**Tabla 3:** Características del proceso anaerobio



Fuente: (Moncayo, 2013)

## **Principales factores que influyen la producción del biogás**

Entre los factores más importantes a tenerse en cuenta para el proceso metanogénico en el que cada grupo de bacterias intervinientes responde a diferentes cambios en las etapas del proceso de producción de gas se consideraran los siguientes:

### **Ausencia de oxígeno**

“Las bacterias metano genéticas son seres vivos que pueden sobrevivir en ambientes anóxicos. La razón por la cual estas bacterias no se mueren es porque, viven junto con otras bacterias que se formaron en otros procesos, es por esto que para que exista un proceso anaerobio sin consecuencias negativas dentro del digestor el contenido de oxígeno debe ser inferior a 3-5%.” (Moncayo, 2008)

Si la cantidad de oxígeno dentro del biodigestor sobrepasa los valores mencionados, se entiende que tenemos un espacio por donde está ingresando oxígeno y se inhibiría la producción de biogás, la clave de una buena producción de biogás es la correcta proliferación bacteriana y la ausencia de oxígeno estas dos son unas de las principales claves dentro de este proceso.

### **Tipo de Biomasa**

“En los países en desarrollo el principal sustrato es estiércol de ganado debido a grandes poblaciones del mismo, este es un buen sustrato, moderadamente degradable y está bien equilibrado nutricionalmente, abonos de cerdos y aves producen aún más biogás por unidad de peso.” (Gunnerson & Stuckey, 1986)

Igualmente, de las materias primas antes mencionadas también se utiliza desecho de frutas, verduras, lácteos, etc. La producción de biogás dependerá de cantidad de grasas, proteínas, y nutrientes que contenga esta biomasa, se debe tomar en cuenta que no es recomendable que se alimente al biodigestor con biomasa fermentada o podrida, tampoco debe cambiarse de forma frecuente la mezcla del tipo de biomasa esto puede inhibir el proceso de digestión.

### **Masa seca (MS).**

“La masa seca se define como la cantidad de sólidos que contiene la biomasa. El porcentaje óptimo de sólidos en la mezcla a digerir en el digestor debe ser del 10-15%.” (Martí, 2011)

La masa seca es el principal elemento con la que se alimenta diariamente al digestor, se la mezcla con agua o a su vez con suero de leche el cual mejoraría el proceso anaerobio es importante que se deba tener una mezcla consistente de masa seca con el líquido a mezclar jamás se debe agregar líquido en exceso ya que no serviría esta mezcla para nada y se echaría a perder el proceso porque se haría más lenta la producción bacteriana.

### **Masa volátil (MV)**

“Es el volumen de masa orgánica que contiene la biomasa. Se determina la masa volátil estimando el contenido de cenizas que se obtiene de una muestra de masa seca después de la incineración de esta durante 6 horas a 550 °C. El conocimiento de la MV es importante ya que solo este porcentaje es el contenido real de masa orgánica en la biomasa. El resto es humedad, trazas inorgánicas y otras materias que no producen biogás.” (Martí, 2011)

### **Mezcla y homogenización**

“La biomasa debe mezclarse con suficiente agua para alcanzar la dilución, este grado debe ser del 10 – 15%. Este valor corresponde al contenido de masa seca. Un porcentaje de dilución del 10% significa que la mezcla tendrá un 10% de masa seca y un 90% de humedad, los contenidos de masa seca mayores a 15% inhiben el proceso de degradación en el biodigestor.” (Moncayo, 2008)

El grado de diluido es clave fundamental en este proceso, mucho líquido retardaría la proliferación bacteriana, el agua es excelente para realizar la mezcla, pero debemos tener en cuenta que, no contenga desinfectantes o elementos químicos que inhiban la producción de biogás, el suero de leche o el biol también servirían para la mezcla, se debe tener presente que para la homogenización de la materia se la debe realizar en tanques por medios de mezcladores o métodos de agitación, ya que si no se la mezcla bien la materia gruesa tarda en digerirse retardando el proceso.

### **Carga orgánica volumétrica (COV)**

“Es la cantidad de masa volátil con la que se alimenta diariamente al biodigestor por m<sup>3</sup> de volumen de digestor, se define (kg MV/m<sup>3</sup>) generalmente la COV debe alcanzar valores entre 2-3 kg MV/m<sup>3</sup> de digestor por día.” (Martí, 2011)

Esta es considerada como un parámetro para controlar la carga del digestor y es un factor determinante para el dimensionamiento del mismo, a mayor COV mayor será el volumen del biodigestor y el tiempo de retención.

### **Relación Carbono-Nitrógeno (C: N)**

El carbono es una fuente de energía para los microorganismos y el nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis proteica. Una relación adecuada entre estos dos nutrientes, favorecerá un buen crecimiento y reproducción. (SciELO, 2015)

El carbono y el nitrógeno son la principal fuente de alimentación de las bacterias, que forman el metano, el carbono es la fuente de energía y el nitrógeno contribuye a la formación de las nuevas bacterias además se debe llevar un control de este para evitar reacciones negativas con la materia orgánica y su pH.

### **Agitación, Mezclado**

La agitación de la carga dentro del biodigestores anaerobios tiene varios objetivos a continuación se describen los más importantes:

- Mezclado del sustrato sea fresco con la biomasa digerida y existente en el interior del digestor.
- Evita la formación de costra y espuma dentro del digestor.
- Equilibrar la densidad bacteriana.
- Mejorar la distribución y mezcla de nutrientes y calor dentro del digestor.
- Evita la formación de espacios sin actividad bacteriológica el que reduciría el volumen efectivo del biodigestor.
- Favorecer la salida de los gases de las burbujas de la mezcla de biomasa.

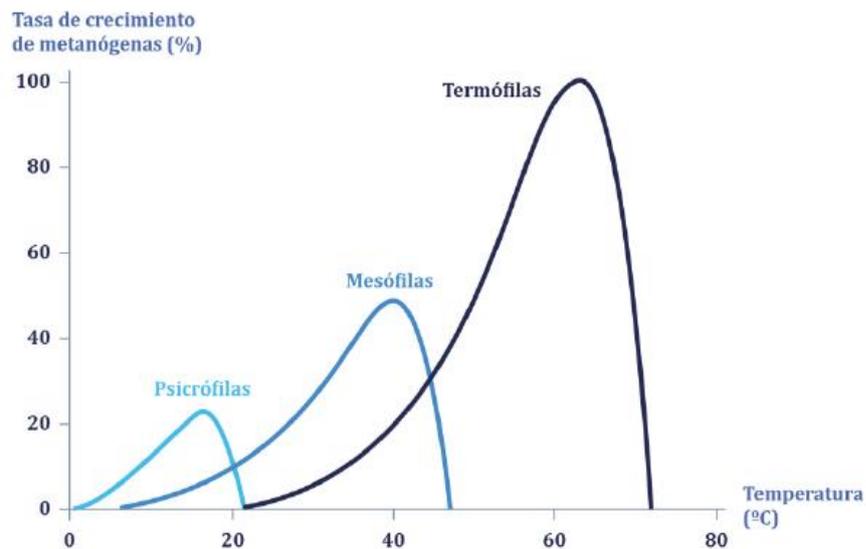
Un exceso de agitación puede causar problemas para esto se debe buscar un punto medio óptimo de agitación. Algunos tipos de digestores funcionan adecuadamente sin ningún tipo de agitación esto dependerá del modelo y tamaño de carga del mismo en el diseño de nuestro proyecto por el pequeño tamaño del biodigestor no se coloca este sistema, pero para digestores de grandes proporciones es necesario.

### Temperatura del proceso.

“Existen tres rangos de temperatura para la digestión anaeróbica. Un rango psicrófilico (por debajo de 25°C), uno mesofílico (entre 25 y 45°C) y otro termofílico (entre 45 y 60°C).” (Moncayo, 2008)

En nuestro proyecto se trabajará con un rango de temperatura mesofílica el cual tendrá una tasa de crecimiento bacteriana del 22% aproximadamente como lo muestra la Figura 1 en realidad es una tasa de crecimiento bacteriana lenta para alcanzar este nivel de temperatura se utiliza un invernadero.

**Figura 1:** Efecto de la temperatura en la actividad anaeróbica



**Fuente:** (Carreas, El Biogas, 2013, pág. 34)

Cada rango de temperatura ayuda a la procreación de bacterias y agilizar el proceso de digestión cabe recalcar que dichas bacterias son muy sensibles al cambio de temperatura,

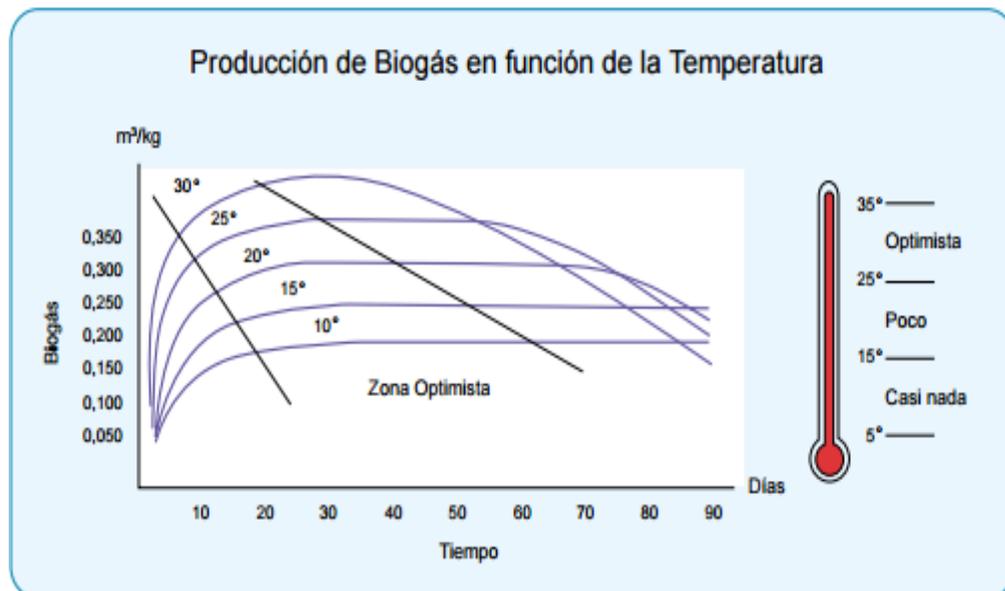
estos rangos se muestran en la Tabla 4, es decir si existe mayor temperatura la velocidad de degradación de la materia dentro del digester será más rápida (mejor producción de biogás) y si el grado de temperatura aplicado al digester es menor la degradación será inferior (producción baja de biogás) esto se indica en la Figura 2.

**Tabla 4:** Clasificación de bacterias en función de la temperatura

TIPO DE BACTERIA	RANGO DE TEMPERATURA °C			TRH (DÍAS)
	MÍNIMO	ÓPTIMO	MÁXIMO	
Psicrofílica	4-10	15-18	25-30	>100
Mesofílica	20-25	28-33	35-45	30-60
Termofílica	25-45	50-60	75-80	10-16

Fuente: (Mena & Garzón, 2007)

**Figura 2:** Producción de biogás en función de temperatura



Fuente: (Moreno, 2011)

### Tiempo de retención hidráulica (TRH)

El TRH es el tiempo en que la biomasa permanece dentro del digester. No existe un criterio para determinar el tiempo de retención, pero si valores aproximados tal como se muestra en la

Tabla 5, la temperatura ambiental y la carga orgánica del digestor (COV), determinan el volumen del digestor.

**Tabla 5:** Valores de TRH para diferentes residuos animales

<b>MATERIA PRIMA</b>	<b>TRH</b>
Estiércol vacuno líquido	20-30 días
Estiércol porcino líquido	15-25 días
Estiércol aviar líquido	20-40 días

**Fuente:** (De la torre, 2008)

### **Nivel de Acidez (pH)**

El valor del pH o la acidez de la mezcla dentro del biodigestor no sólo determina la generación de biogás sino igualmente de su composición.

“Si el pH del medio es inferior a 6,5, comienza a disminuir la actividad de las bacterias metanogénicas acetoclásticas, mientras que a pH inferior a 5,5, su actividad cesa completamente. Por debajo de 4,5 se detiene la actividad de todos los microorganismos implicados.” (Lema & Méndez, 1997)

El nivel de pH es uno de los factores más importantes este no debe bajar de 6, ni subir de 8, estos pequeños cambios afectan a la producción de biogás para controlar este valor existe un método sencillo el cual se consiguen unas tiritas de coles para comprobar la acidez de la materia estas pruebas se la realiza a la materia que sale del biodigestor

### **Factores que inhiben la producción de biogás**

Si la producción de biogás cae o se inhabilita puede deberse a varias razones, es decir que puede provocarse por razones de operación o de mantenimiento, sino también, por elementos inhibidores estos últimos son elementos que, aunque se encuentren en cantidades muy pequeñas actúan de forma negativa en la generación de biogás y produciendo inestabilidad al proceso anaerobio.

“Durante el proceso de producción de biogás se puede formar amoníaco que actúa como elemento inhibitor si existe en bajas concentraciones en el interior del digestor. Esto significa que si la biomasa se vuelve alcalina se rompe el equilibrio de estos elementos.” (Martí, 2011). El amoníaco es uno de los principales factores inhibidores dentro de la producción de biogás, aunque también lo sería el agua con restos de cloro, detergente, jabón, así como también los antibióticos que se les suministra a los animales y son evacuados por las excretas por tal motivo es necesario realizar un control riguroso de todos estos factores en la Tabla 6 se muestra los valores permitidos de inhibidores dentro de la mezcla para que se produzca biogás.

**Tabla 6:** Factores inhibidores

<b>Elemento</b>	<b>Valor</b>
pH	6,5 – 8
Contenido en sales	2,5 – 25 Ms/cm
Oxígeno	< 1ppm
Hidrógeno	6 Pa
Carbono total	0,2 – 50g/l DQO
Magnesio	10 – 40 ppm
Azufre	50 -100 ppm
Hierro	10 – 200 ppm
Níquel	0,5 – 30 ppm
Cobalto	0,5 – 20 ppm
Molibdeno	0,1 – 0,35 ppm
Cinc	0 – 3 ppm
Fosfatos	50 – 150 ppm
Relación C: N: P: S	2000: 15: 5: 3

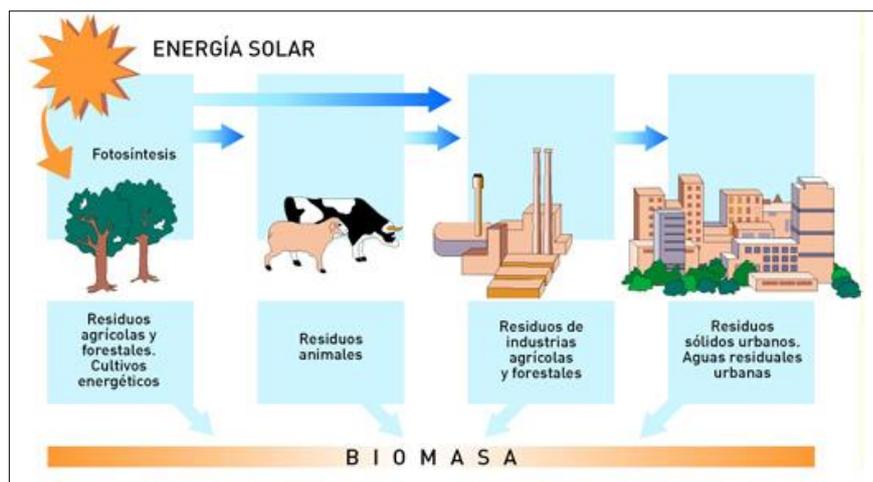
**Fuente:** (Martí, 2011)

### **Biomasa y producción de biogás**

“El termino biomasa o sustrato se refiere a toda la materia orgánica que proviene de desechos de animales (estiércol), arboles, plantas, desechos orgánicos que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz café, arroz, papas, etc.) de aserraderos (ramas, aserrín entre otros).” (Moncayo , 2013)

Con el termino biomasa se refiere a casi todo desperdicio que se pueda transformar de alguna u otra manera en energía, esta es una energía renovable en la cual consiste en aprovechar todos los residuos ya sean de la agricultura, ganadería y los sectores industriales, por lo tanto, mediante el tratamiento anaerobio o descomposición se produce el biogás como se muestra en la Figura 3, el cual puede ser utilizado de muchas formas y satisfacer muchas necesidades del tipo energético.

**Figura 3:** Ciclo de la biomasa



Fuente: (Heura, 2012)

## Tipos de biomasa

### a) Biomasa natural

“Es la que se produce en la naturaleza sin la intervención del hombre, por ejemplo, en bosques, matorrales, montañas, áreas no cultivadas, etc.” (Moncayo , 2013)

En muchos lugares este tipo de biomasa es muy compleja de encontrar, existen lugares en que ya no poseen bosques o áreas no cultivadas, en el caso de países poco desarrollados se encontraría con facilidad, pero no es recomendable la utilización de esta en exceso ya que podría afectar ambiente y a la fauna de la zona.

### b) Residuos agropecuarios

Uno de los problemas más críticos que enfrenta el mundo actual es el manejo inadecuado de los recursos producidos por las actividades agropecuarias y agroindustriales.

“Los desechos más comunes son el estiércol de ganado vacuno, de cerdo y la gallinaza los porcentajes de masa seca del estiércol de cerdo y ganado son similares.” (Moncayo , 2013)

Los desperdicios agropecuarios y agroindustriales es una de las fuentes más grandes de producción de gases de efecto invernadero. teniendo en cuenta que el estiércol de cerdo produce más biogás por m<sup>3</sup> de biomasa que el de los diferentes animales (vacas, gallinas) a continuación se muestra en la Tabla 7 la producción de biogás según el tipo de sustrato.

**Tabla 7:** Tabla Producción de biogás mediante estiércol.

<b>Producción de biogás estiércoles, cerdo, ganado y gallinaza</b>			
<b>Sustrato</b>	<b>Producción de biogás</b>		<b>Metano-CH<sub>4</sub></b>
	<b>(m<sup>3</sup>/t Sustrato húmedo)</b>	<b>(m<sup>3</sup>/t MV)</b>	<b>(Vol. - %)</b>
Estiércol de ganado	20 - 30	200 – 500	60
Purín de cerdo	20 - 35	300 – 700	60 - 70
Majada de ganado	40 - 50	210 – 300	60
Estiércol de cerdo	55 - 65	270 – 450	60
Gallinaza	70 - 90	350 – 550	60

**Fuente:** (Moncayo , 2013)

### **Característica de estiércol de cerdo**

“El estiércol de cerdo es un desecho del todo heterogéneo posee gran variedad de materiales de tipo orgánico principalmente, así como su estado de agregación.” (Moncayo , 2013)

La tasa de producción de excretas puede verse afectada por numerosos factores, entre los cuales se puede señalar:

- Número y madurez fisiológica del animal.
- Calidad y cantidad de alimentos ingerido por el animal
- La cantidad de agua consumida por el animal
- Clima local.

A continuación, en la Tabla 8 se da un claro ejemplo de la producción de estiércol según el tamaño y tipo de cerdo:

**Tabla 8:** Ejemplo de producción de estiércol de cerdos

<b>Ejemplo de producción humedad total (heces y orina) / día para varios tipos de cerdos</b>				
<b>Tipo</b>	<b>Edad</b>	<b>Excremento kg/día</b>	<b>Orina kg/día</b>	<b>Total kg/día</b>
Lechón	30 – 60 días	0,9 – 1,4	1,6 – 2,4	2,5 – 3,4
Engorda	60 - 220 días	3,0 – 3,4	3.5 – 4.0	6,5 – 7,4
Juvenil	1 año promedio	4,0 – 6,0	4,5 – 6,5	8,5 – 12,5
Cerda	1 año promedio	7,5 – 8,5	8.0 – 9,0	15,5 – 17,5
Verraco (reproducción)	1 año promedio	7.0 – 8,0	7,0 – 8,5	14,0 – 16,5

**Fuente:** (Moncayo , 2013)

### **Selección de la biomasa**

Para seleccionar la biomasa se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- Los contenidos de sustancias orgánicas deben regirse a un rango de características y al tipo de fermentación que va a ser expuesta.
- El valor nutricional de las sustancias orgánicas se relaciona directamente con la generación de biogás, por lo consiguiente se busca una materia prima con un porcentaje adecuado.
- El substrato debe estar libre de agentes patógenos que puedan intervenir en el proceso de fermentación.

### **Producción de lodos**

En el caso de la producción de lodos en un biodigestor se debe tener en cuenta que cuando se ingresa la mezcla de estiércol más líquido siempre habrá tierra u otros agentes que se irán al fondo del biodigestor es por tal motivo que deben ser retirados cada cierto tiempo.

## Usos del biogás

Los usos para esta clase de biogás son muy variados, van desde las cocinas de biogás, en hornos, secadores de granos, calentadores térmicos, motores de combustión interna (solo con los motores a diésel y con adaptaciones para su correcto funcionamiento), entre otros usos, en la Tabla 9 se hace una comparación del biogás con otro tipo de gases:

**Tabla 9:** Energía equivalente (valor energético) Biogás Vs. Otras fuentes (Composición promedio del biogás: CH<sub>4</sub> (65%) – CO<sub>2</sub> (35%))

	<b>Biogás</b>	<b>Gas Natural</b>	<b>Gas Propano</b>	<b>Gas Metano</b>	<b>Hidrogeno</b>
Valor Calorífico (Kwh/ m3)	7.0	10	26	10	3
Densidad (t/m3)	1.08	0.7	2.01	0.72	0.09
Densidad con respecto al aire	0.81	0.54	1.51	0.55	0.07
Límite de explosión (% de gas en el aire)	6 - 12	5 – 15	2 - 10	5 -10	4- 80
Temperatura de encendido	687	650	470	650	585
Máxima velocidad de encendido en el aire (m/s)	0.31	0.39	0.42	0.47	0.43

Fuente: ( Moreno, 2011)

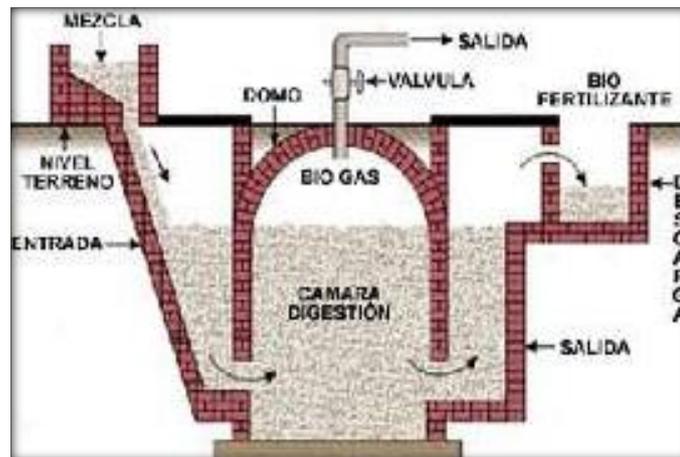
## Tipos de digestores

### Digestor de domo fijo (chino)

“También conocido como digestor “modelo chino” por su origen, consta de un compartimento de albañilería subterránea (que puede ser de ladrillo o de elementos prefabricados de hormigón)” (Rowse, 2011)

También conocido como cámara de fermentación, y una cúpula fija para el almacenamiento del biogás Figura 4. Los digestores de campana fija se operan alimentándolos con estiércol mezclado con agua como un lodo en un tubo de entrada, este lodo fluye por gravedad en la parte inferior del digestor. Ésta contiene una capa de biosólidos y una capa de líquido por encima de éstos

**Figura 4:** Digestor anaerobio de campana fija



Fuente: <http://ricardo.bizhat.com/rmr-prigeds/biodigestores-biogas.htm>

#### Ventajas:

- La vida útil es de unos 20 años.
- La cámara de digestión se encuentra totalmente bajo tierra.
- Bajo costo en su construcción.
- No existen piezas metálicas que se puedan corroer.

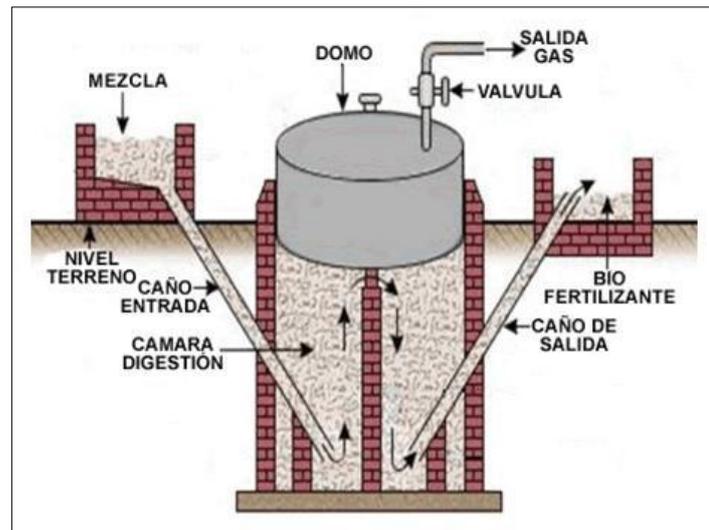
#### Desventajas:

- La necesidad de sellados especiales.
- Las presiones ejercidas pueden ser muy grandes en su interior y puede causar grietas (escape de gas o de biomasa).
- La presión del gas no es constante.

#### **Digestor de cúpula móvil (Hindú)**

“Fue desarrollado en India debido a la necesidad de contar con combustibles para la calefacción en los hogares durante el invierno y para los tractores empleado en labores agrícolas, estos digestores trabajan a presión constante y su operación es muy fácil ya que fue diseñado para ser operado por campesinos con muy poca preparación académica.” (Lopez M, 2011)

**Figura 5:** Digestor anaerobio de cúpula móvil



Fuente: <http://civilgeeks.com/2015/05/27/los-biodigestores-importancia-y-beneficios/>

#### Ventajas

- La vida útil es de unos 20 años.
- La presión del gas es constante.
- Se puede localizar en todos los climas.
- La generación de gas es visible través de la campana.

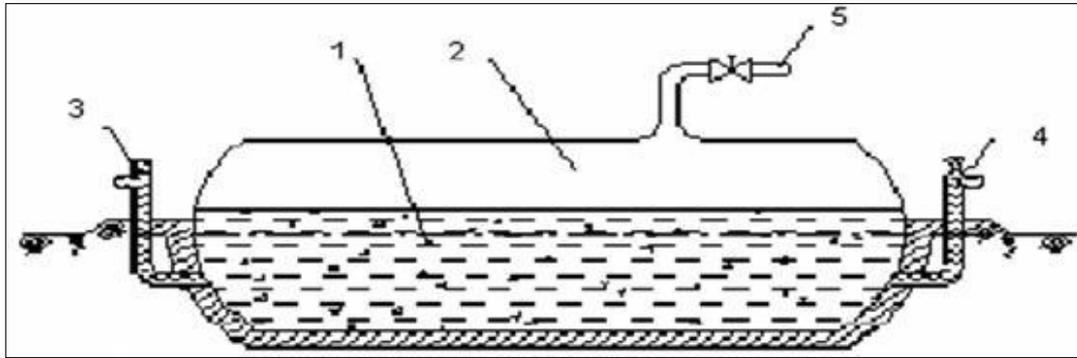
#### Desventajas

- Alto costo de construcción de la campana.
- La mayoría de biodigestores de este tipo son metálicos por ello está expuesto al oxido.

#### **Digestor anaeróbico tubular de polietileno**

“A través de los años los materiales se han ido desarrollando y hoy en día las comunidades que usan este tipo de digestor lo hacen con material plástico. Posibles materiales para su construcción son el polietileno y el PVC (geomembrana), siendo el último más resistente pero también más caro por lo que generalmente se hacen de polietileno. En el digestor anaerobio tubular de polietileno, también conocido como digestor “modelo taiwanés”, la construcción y la mano de obra son fáciles y es de bajo coste ya que los materiales son muy sencillos.” (Pedraza, Chará, Conde, Giraldo, & Giraldo, 2002)

**Figura 6:** Digestor anaerobio tubular de polietileno 1. Digestor 2. Contenedor de biogás 3. Entrada 4. Salida 5. Tubo de salida de gas.



Fuente: (SciELO, 2015)

#### Ventajas

- La vida útil es de 5 años.
- Bajo costo de construcción.
- Fácil de construir y transportar.
- Se pueden instalar en todos los climas.

#### Desventajas

- La presión es muy baja, es necesario colocar sobre peso.
- El polietileno está muy expuesto a roturas (se requiere protección extra).

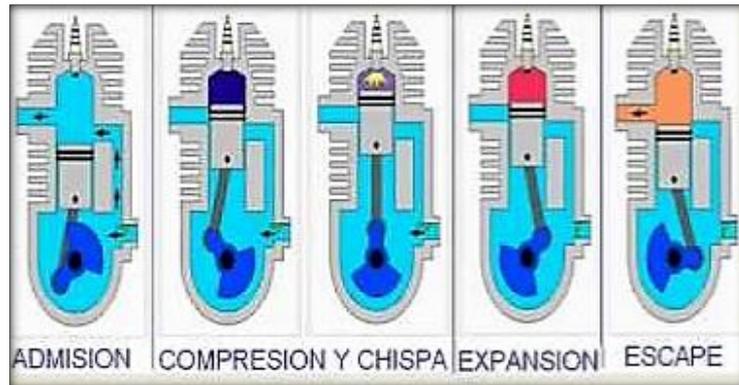
#### Moto generador a gasolina

Los moto generadores existen de dos y cuatro tiempos se utiliza uno de dos tiempos.

#### Motor de dos tiempos.

“Es aquel que necesita un giro del cigüeñal para completar el ciclo, en los primeros 180° se realiza la admisión y compresión en los otros 180° realiza la explosión y el escape tal como lo muestra la Figura 7 la lubricación de este tipo de motores se la realiza mezclando aceite y gasolina, del mismo modo trabajara con biogás, se mezclara el aceite y el biogás para su lubricación y explosión del combustible, realizar esta última combinación de combustible tiene complicaciones de pre mezcla debido a que los dos se encuentran en diferentes estados”.  
(Armando, 2013)

**Figura 7:** Motor de dos tiempos en sus diferentes ciclos.



**Fuente:** (Armando, 2013)

La utilización de estos motores en zonas donde la electricidad no llega es de gran ayuda en primer lugar por su fácil transportación, manejo y mantenimiento habitualmente se los utilizan con gasolina siendo muy económicos en cuanto a consumo de esta obteniendo buenos resultados de transformación energética, al ser motores de bajo consumo se les puede hacer trabajar con biogás solo se necesita realizar unas pequeñas adaptaciones dentro del carburador y el ajuste adecuado de la calibración y el motor funciona con normalidad, pero como se mencionó anteriormente existen inconvenientes de funcionamiento debido a que muchas veces la mezcla no se realiza adecuadamente, el motor tiende a bajar sus revoluciones y esto afecta directamente a la generación eléctrica.

## 9. HIPÓTESIS

La implementación de la mini planta posibilitará la generación de biogás a través del tratamiento de los residuales porcinos, lo que permitirá disminuir la contaminación ambiental el consumo de GLP en el criadero “La Bonita”.

### VARIABLE INDEPENDIENTE

Generación de biogás.

### VARIABLE DEPENDIENTE

Las necesidades térmicas y la demostración de generación de electricidad del criadero porcino La Bonita.

## OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**Tabla 10:** Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMISIONES	INDICADORES	ÍTEMS	INSTRUMENTOS
Generación de biogás.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biodigestor</li> <li>• Cantidad de excretas</li> <li>• Tiempo que tarda la producción de biogás.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variedad de diseño y construcción</li> <li>• Proporcionalidad del mezclado (excretas/agua).</li> <li>• Temperatura</li> <li>• El nivel de pH</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cree usted que el proceso de utilización de las excretas porcinas tiene algún grado de contaminación.</li> <li>• Cree usted que el implementar un biodigestor para la generación de energía térmica mejorará la calidad de vida en criadero.</li> <li>• Consideraría usted reemplazar el GLP por el biogás para la cocción de alimentos.</li> <li>• Cree usted que los desperdicios de las excretas pueden afectar al medio ambiente.</li> </ul>	Observación Experimental
Las necesidades térmicas y la demostración de generación de electricidad del criadero porcino La Bonita	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biogás</li> <li>• Tiempo de producción de energía.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción de electricidad con biogás.</li> <li>• Demanda eléctrica requerida por el criadero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar el elemento para la generación de electricidad.</li> <li>• Conocer la cantidad de gas necesario para la generación de energía eléctrica.</li> </ul>	Observación experimental Aplicación

**Realizado por:** Basurto C., Corrales J.

## 10. METODOLOGÍA

### CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CRIADERO PORCINO “LA BONITA”

El criadero porcino “La Bonita” de la familia Zumba está ubicado en la provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Parroquia la Victoria, sector Guapulo se detalla más información en el Anexo 4. En la Figura 8 se muestra una foto del criadero en la que se puede apreciar que existen un total de 6 cerdos (3 grandes y 3 pequeños). Como se puede apreciar en ella cada cerdo tiene su propio corral lo que facilito la toma de muestra de las excretas de cada uno de ellos. Para determinar la cantidad de excretas diarias que producen los cerdos se pesaron las mismas durante dos días y se calculó el peso promedio de cada cerdo por día. Los resultados obtenidos de la producción de excretas de cerdo por día y la producción total de excretas en el criadero se muestran en la Tabla 11.

**Figura 8:** Corral de cerdos dentro del criadero



**Realizado por:** Basurto C., Corrales J.

**Tabla 11:** Datos obtenidos en las porquerizas

Tamaño de cerdos	Numero de cerdos	Peso (kg)	Producción de excretas (Kg/día)	Excretas generadas (Kg/día)
Grandes	3	> 50	2	6
Pequeños	3	< 50	1,5	4,5
	<b>TOTAL: 6</b>			<b>TOTAL: 10,5</b>

**Realizado por:** Basurto C., Corrales J.

Como se puede apreciar en la Tabla 11, la cantidad total de excretas que se generan en un día en el criadero es de 10,5 Kg.

### **Estimación de la cantidad de biogás que se puede producir en el criadero.**

De acuerdo con (Martinez, 2007) por cada kg de excretas se producen, aproximadamente, 0,07 m<sup>3</sup> de biogás, por lo tanto, los 10,5 kg de excretas que se generan en el criadero pudieran generar 0,735 m<sup>3</sup> de biogás diario.

### **DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES TÉRMICAS Y ELÉCTRICAS DEL CRIADERO LA BONITA**

En el criadero la bonita existe una cocina industrial que se utiliza para el calentamiento de la comida de los cerdos pequeños, su tiempo de funcionamiento es de, aproximadamente, 1 hora/día. Además, existen 2 calentadores o quemadores de gas que se utilizan para calentar los cerdos por las noches, su tiempo de utilización es de 3 tres horas diarias. Tanto la cocina como los quemadores utilizan como combustible gas licuado de petróleo (GLP) siendo el consumo de gas es de un cilindro por mes. (Zumba, 2016)

Considerando que un tanque de GLP contiene 15 kg de GLP según norma RTE INEN 024:2008 (Normalización, 2008) y que “0,45 kg de GLP equivale a 1m<sup>3</sup> de biogás” (Carvajal, 2014).

Se estima la cantidad de biogás que se requiere mensualmente.

$$15 \frac{\text{kg de GLP}}{\text{mensual}} * \frac{1 \text{ m}^3 \text{ de biogas}}{0,45 \text{ kg de GLP}} = 33,3 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogas}}{\text{mensual}} \quad \text{Ec (1)}$$

Por lo que la cantidad de biogás requerida al día es de

$$33,3 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogas}}{\text{mes}} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} * \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ dias}} = 1,09 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogas}}{\text{día}} \quad \text{Ec (2)}$$

Considerando que “1m<sup>3</sup> de biogás contiene 1,2 kWh de energía” (Carvajal, 2014), la demanda de energía térmica en el criadero es de:

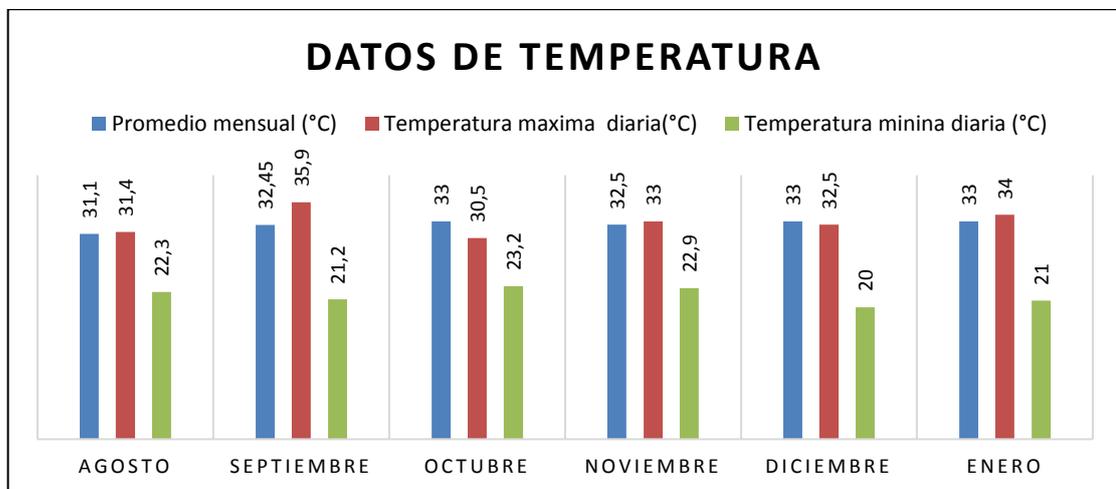
$$1,09 \frac{m^3 \text{ de biogas}}{\text{dia}} * \frac{1,2 \text{ kwh}}{1 m^3 \text{ de biogas}} = 1,3 \frac{KWh}{\text{dia}} \quad \text{Ec (3)}$$

El suministro de energía eléctrica criadero se realiza a través de una extensión desde la casa del propietario para alimentar 3 bombillos de 100W cada uno. Considerando que el tiempo de funcionamiento de los bombillos es de una hora al día, el consumo de energía diario es de 300W.h

### Invernadero para calefacción del biodigestor.

El propósito de la construcción del invernadero es garantizar que la temperatura dentro del biodigestor sea de un rango aproximado de 20 a 36°C, que será favorable para la generación de bacterias y además protegerá de los factores climáticos del exterior como lluvia y viento, Los datos de temperatura se obtuvieron mediante la instalación meteorológica EasyWeather a continuación se denota las gráficas de la temperatura:

**Tabla 12:** Datos de temperatura obtenidos mediante la mini estación meteorológica de marca EasyWeather.



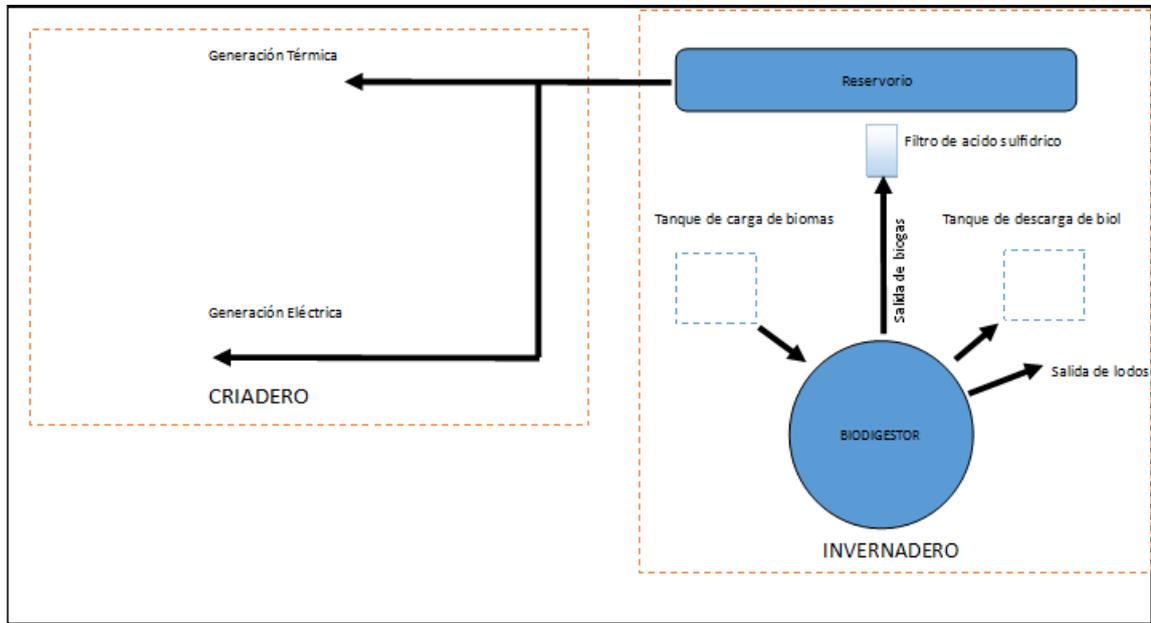
**Realizado por:** Basurto C., Corrales J.

## DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE LA MINI PLANTA DE BIOGÁS PARA EL CRIADERO LA BONITA.

En la Figura 9 se muestra un esquema conceptual de la mini planta de generación energética propuesta para el criadero porcino “La Bonita”. Como se puede apreciar en ella la mini planta está por los siguientes equipos y elementos, el tanque de mezcla, el biodigestor, tanque de

recolección de biol, salida de lodos, los filtros de purificación del gas, reservorio del gas, sistema de generación eléctrica y sistema de consumo térmico.

**Figura 9:** Flujograma del funcionamiento de la mini planta



Realizado por: Basurto C., Corrales J.

A continuación, se procede a realizar el diseño y dimensionamiento de cada uno de los elementos que componen la mini planta de generación energética.

### **Dimensionamiento del tanque de alimentación (mezcla)**

#### **Determinación del volumen del tanque de alimentación (Tanque de mezcla de excretas más agua)**

Para la determinación de volumen de este elemento se siguió el siguiente procedimiento de cálculo. Como se analizó en el apartado anterior, la cantidad de excretas que se genera al día en el criadero es de 10 kg/día. lo que equivale  $0,001 \text{ m}^3$  de excretas/día

#### **Masa seca**

Para la determinación de los sólidos totales se tomó una muestra de excretas de 1kg y se analizó en el Laboratorio de análisis químico Animalab Cía. Ltda., ubicado en el cantón de

Machachi. El resultado de este análisis fue de 23,6 % de sólidos totales, el informe de los resultados de los análisis se puede consultar en el (**Anexo 5**).

La masa seca se determina de acuerdo a la siguiente ecuación (Moncayo , 2013)

$$MS = \text{Biomasa disponible} \times \text{Porcentaje de masa seca} \quad \text{Ec (4)}$$

### **Efluente requerido (Qa):**

“El porcentaje de dilución se encuentra entre 1:1 a 1:3” (Martinez, 2007).

Para este trabajo se seleccionó el valor de 1:1, que en porcentaje equivale al 10%.

El efluente requerido (Qa) se determina a través de la siguiente ecuación (Moncayo , 2013):

$$Qa = \frac{MS}{D} \quad \text{Ec (5)}$$

El volumen del tanque de alimentación se dimensionó para el volumen diario de alimentación del digestor. La mezcla se la realiza una vez al día y se programa para que toda esa carga se alimente al digestor de forma manual. Este volumen incluye el volumen de la biomasa y de agua que se utiliza para la dilución. El volumen de agua depende del porcentaje de masa seca de la biomasa.

Volumen útil del tanque de alimentación es del mismo valor que el efluente requerido (Qa)= 0,0236 m<sup>3</sup> = 23,6 litros. Para evitar salpicaduras al momento de la mezcla el volumen del tanque debe ser superior al requerido es por ello que en este trabajo se utilizó un tanque de 50 litros tal como se puede ver en la Figura 10.

**Figura 10:** Tanque de alimentación  
del biodigestor



**Realizado por:** Basurto C., Corrales J.

### **Volumen de agua para mezclar ( $V_m$ )**

El volumen de agua para mezclar se determina mediante la siguiente ecuación (Moncayo , 2013):

$$(V_m) = Q_a - \text{Cantidad de biomas} \quad \text{Ec (6)}$$

### **Sistema de alimentación de la mezcla al biodigestor.**

El sistema de alimentación se decidió realizarlo de forma manual, debido a que no se requiere de mucho esfuerzo por parte de los propietarios de la hacienda por la poca cantidad de materia orgánica a alimentar al digestor.

### **Dimensionamiento del biodigestor**

Previo al cálculo del volumen del digestor es importante conocer el tiempo de retención hidráulico (TRH). “Para el estiércol de cerdo se recomienda un (TRH) de 20 a 30 días” (Moncayo , 2013). En base a este criterio en este trabajo se seleccionó un (TRH) de 30 días.

El volumen líquido del digestor (VLD) se estimó mediante la siguiente ecuación (Moncayo , 2013):

$$\text{VLD} = Q_a \times \text{TRH} \quad \text{Ec (7)}$$

### **Volumen gaseoso del biodigestor**

Se recomienda utilizar un 75% de parte líquida y un 25% de parte gaseosa para el diseño de un biodigestor, además, se le agrega un 5% como factor de seguridad (Mena & Garzón, 2007) El volumen gaseoso del biodigestor (VGD) se estima mediante la siguiente ecuación (Mena & Garzón, 2007)

$$\text{VGD} = (\text{VLD} / 75 \%) \times (25 + 5) \% \quad \text{Ec (8)}$$

### **Volumen total del biodigestor**

El volumen total del biodigestor (VTD) se estima mediante la siguiente ecuación (Mena & Garzón, 2007):

$$\text{VTD} = \text{VLD} + \text{VGD} \quad \text{Ec (9)}$$

### **Altura de la tubería de carga y descarga de afluente líquido**

Para el cálculo altura de las tuberías se lo realiza mediante la siguiente ecuación.

$$h = \sqrt[3]{v / \pi \cdot r^2} \quad \text{Ec (10)}$$

h: Altura de la tubería de carga y descarga de afluente líquido

v: Volumen líquido del biodigestor

r: radio del tanque

En la Tabla 13 se resumen los resultados obtenidos del proceso de diseño y dimensionamiento de la mini planta de generación de biogás.

**Tabla 13:** Resumen de cálculos de la mini planta de generación de biogás

<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>	
Excretas de cerdo	22 lb/día	10 kg/día
Efluente requerido	23,6 l/día	0,02 m <sup>3</sup> /día
Tanque de alimentación de carga	24 l	0,02 m <sup>3</sup> /día
Volumen de agua para mezclar	13,6 l	0,01 m <sup>3</sup> /día
Volumen liquido del biodigestor	708 l	0,71 m <sup>3</sup> /día
Volumen gaseoso del biodigestor	283 l	0,28 m <sup>3</sup> /día
Volumen total del biodigestor	1100 l	1,10 m <sup>3</sup>
Tanque de descarga	24 l	0,02 m <sup>3</sup> /día

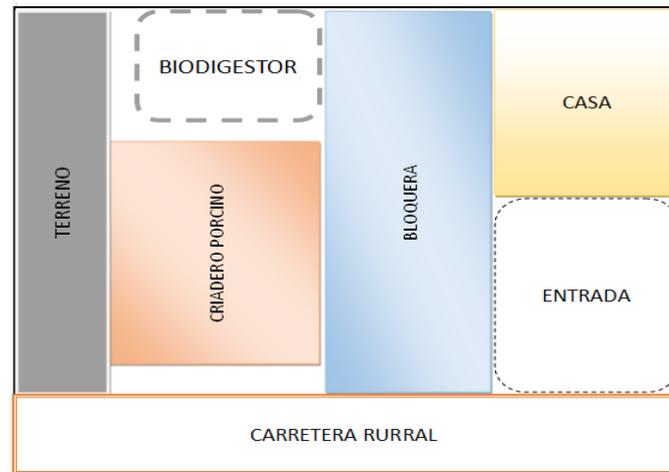
**Realizado por:** Basurto C., Corrales J.

### **Selección del lugar de ubicación**

Para la ubicación del biodigestor se realizó una verificación del criadero y de mutuo acuerdo con los propietarios se consideró que el área más idónea para su ubicación debe cumplir los siguientes requisitos:

- Estar cerca de la fuente de suministro de biomasa (excretas).
- Estar cerca de los equipos consumidores de energía térmica y eléctrica.
- Debe estar cerca del canal de riego, para poder realizarla descarga y distribución del biol hacia el terreno de cultivo

En la Figura 11 se muestra el lugar donde se ubicó el biodigestor en base a los requisitos establecidos.

**Figura 11:** Croquis de la ubicación del biodigestor

Realizado por: Basurto C., Corrales J.

### Dimensionamiento del tanque de descarga

El volumen del tanque de descarga dependerá del volumen del efluente al digestor. Como mínimo el volumen del tanque de descarga debe corresponder al volumen diario del efluente del biodigestor. Para el presente trabajo se consideró un volumen del tanque de descarga de 23,6 l.

### Calculo de producción de biogás

Para la realización de los siguientes cálculos utilizaremos la siguiente Tabla 14 para la obtención de algunos valores.

**Tabla 14:** Valores y características del estiércol de algunos animales

Clase de animales	% por peso vivo:		% EST Sólidos	% SO Sólidos Organicos	Relacion C/N	P – Produccion de biogas (m <sup>3</sup> de gas / 1 kgSO)
	PE - Estiercol	PO - Orina				
Vacunos	5	4	15 – 16	13	20	0,250
Cerdos	2	3	16	12	13	0,350
Caprinos, ovejas	3	1,5	30	20	30	0,200
Caballos	5	4	25	15	20	0,250
Avícolas, Gallinas	4,5	4,5	25	17	5 – 8	0,400
Humanos	1	2	20	15	8	0,300

Fuente: (GTZ, 1987)

$$PGD = MP \times ST \times P \quad \text{Ec (11)}$$

PGD = Producción de biogás diaria ( $\text{m}^3$  biogás/día)

MP = Masa de estiércol al día (kg/día)

ST = Porcentaje de sólidos totales

P = Producción aproximada de  $\text{m}^3$  de gas/1 kg de masa orgánica seca total

$$PGD = 10 \frac{\text{Kg de estiércol}}{\text{día}} \times \frac{0,236 \text{ Kg de ST}}{1 \text{ Kg de estiércol}} \times \frac{0,35 \text{ m}^3 \text{ de Biogás}}{1 \text{ Kg de SO}}$$

$$PGD = 0,826 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogás}}{\text{día}}$$

$$PGM = PGD \times 30 \text{ DIAS} \quad \text{Ec (12)}$$

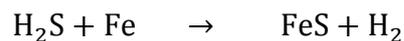
PGM = Producción de gas mensual

$$PGM = 0,826 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogás}}{\text{día}} \times \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}}$$

$$PGM = 24,78 \text{ m}^3 / \text{mes}$$

### **Filtro $\text{H}_2\text{S}$ o ácido sulfúrico**

La determinación de la masa de hierro requerida para el filtro de ácido sulfúrico se realizó utilizando el siguiente procedimiento



Producción diaria estimada de biogás =  $0,826 \text{ m}^3 = 826$  litros.

$$\text{H}_2\text{S producido} = 0,1 \% \left( \frac{V}{V} \right)$$

$$H_2S = \frac{0,1 \text{ litros } H_2S}{100 \text{ litros de biogas}} * \frac{826 \text{ litros de biogas}}{\text{dia}} \quad \text{Ec (13)}$$

$$H_2S = 0.826 \frac{\text{litros } H_2S}{\text{dia}}$$

Para 1 año de operación = 365 días.

$$0,826 \frac{\text{litros } H_2S}{\text{dia}} * 365 \text{ dias} = 301,49 \text{ litros } H_2S$$

$$PV = nRT \quad \text{Ec (14)}$$

$$n = \frac{PV}{RT} \quad \text{Ec (15)}$$

$$R = 0,082 \frac{\text{litros} * \text{atm}}{\text{mol} * ^\circ\text{K}}; \quad P = 1 \text{ atm}; \quad T_{\text{promedio}} = 27^\circ \text{ C} + 273 = 300 \text{ K}$$

$$n = \frac{1 \text{ atm} * 301,49 \text{ litros}}{0,082 \frac{\text{litros} * \text{atm}}{\text{mol} * ^\circ\text{K}} * 300 \text{ K}}$$

$$n = 12,255 \text{ mol } H_2S$$

$$12,255 \text{ mol } H_2S * \frac{56 \text{ g Fe}}{1 \text{ mol } H_2S} = 686,318 \text{ g Fe} \quad \text{Ec (16)}$$

Se requerirá 0,686 kg de hierro conformado por clavos, viruta y esponja para lavar ollas.

### Calculo de biogás requerido para la generación energética

**Tabla 15:** Resumen de cálculos de biogás requerido para la generación energética

Parámetro	Resultado
Biogás para la cocción	0,69 m <sup>3</sup> biogás/día
Biogás para el motor	0,097 m <sup>3</sup> biogás/día
Biogás total en un día + 5% de seguridad en diseño	0,826 m <sup>3</sup> biogás/día
Biogás total mensual	24,8 m <sup>3</sup> biogás/mes

Realizado por: Basurto C., Corrales J.

A continuación, se dará la justificación en cálculos de la Tabla 16 para el cálculo de biogás requerido para la generación de energía tanto térmica como eléctrica.

**Tabla 16:** Necesidades energéticas

Cocción	0.23 m <sup>3</sup> gas / persona * día
Iluminación	0.12 m <sup>3</sup> gas / h * lámpara
Motor de combustión interna	0.40 m <sup>3</sup> gas / hp * h
Refrigeración	2.5 m <sup>3</sup> gas / día
Refrigeración por absorción	0.3 – 0.8 m <sup>3</sup> gas / m <sup>3</sup> nevera * día

Fuente: (Mena & Garzón, 2007)

Para la cocción de alimentos utilizaremos la siguiente ecuación (Mena & Garzón, 2007)

$$BC = NP \times NE \quad \text{Ec (17)}$$

BC = Biogás para la cocción

NP = Número de personas dentro de la vivienda

NE = Necesidad energética

$$GT = 3 \times 0,23 \frac{\text{m}^3 \text{ biogàs}}{\text{día}} \quad \text{Ec (18)}$$

$$GT = 0,69 \frac{\text{m}^3 \text{ biogàs}}{\text{día}}$$

Para la generación de energía eléctrica mediante un motor de combustión interna utilizamos la siguiente ecuación;

$$GE = HP \text{ MOTOR} \times TG \times NE \quad (\text{Mena \& Garzón, 2007}) \quad \text{Ec (19)}$$

GE = Biogás para el motor

TG = Tiempo de generación eléctrica

NE = Necesidad energética

$$GE = 2,9 \text{ hp} \times 0,083 \frac{\text{h}}{\text{día}} \times 0,40 \frac{\text{m}^3}{\text{hp} \times \text{h}}$$

$$GE = 0,097 \frac{\text{m}^3 \text{ biogàs}}{\text{día}}$$

Sumamos las dos respuestas para obtener un total de biogás el cual vamos a utilizar diariamente. Para el siguiente calculo utilizaremos la siguiente ecuación (Mena & Garzón, 2007)

$$\text{BIOGÁS TOTAL UTILIZADO} = GT + GE \quad \text{Ec (20)}$$

$$\text{BIOGÁS TOTAL UTILIZADO} = (0,69 + 0,097) \frac{\text{m}^3 \text{ biogàs}}{\text{día}}$$

$$\text{m}^3 \text{ biogàs/día} = 0,787 \frac{\text{m}^3 \text{ biogàs}}{\text{día}}$$

Le añadimos un 5 % de seguridad al diseño en total seria  $0,826 \frac{\text{m}^3 \text{ biogàs}}{\text{día}}$

Calcularemos el total de biogás requerido por mes para la generación expresado en la siguiente ecuación (Mena & Garzón, 2007)

$$\text{BTM} = \text{BIOGAS UTILIZADO DIARIAMENTE} \times 1 \text{ MES} \quad \text{Ec (21)}$$

BTM = Biogás total mensual

$$\text{BTM} = 0,787 \frac{\text{m}^3 \text{ biogàs}}{\text{dia}} \times \frac{30 \text{ dias}}{1 \text{ mes}}$$

$$\text{BTM} = 24,78 \frac{\text{m}^3 \text{ biogàs}}{\text{mes}}$$

### Almacenamiento o reservorio del biogás generado

Para el almacenamiento de biogás se construye un reservorio de polietileno tubular de 5 metros de largo y 1,15 metros de diámetro.

$$V = \pi(r^2)h \quad \text{Ec (22)} \quad r = d / 2 \quad \text{Ec (23)}$$

$$V = \pi(0,575\text{m})^2 5\text{m} \quad r = 1,15 \text{ m} / 2$$

$$V = 5,193 \text{ m}^3 \quad r = 0,575 \text{ m}$$

### Sistema de generación eléctrica.

Para satisfacer la demanda eléctrica actual del criadero (300Wh) y prebendo un aumento de la misma ante una aplicación del criadero a la colocación de una mayor cantidad de carga eléctrica se decidió implementar un sistema de generación de 1000W, en la Figura 12 se puede apreciar una foto del sistema y sus especificaciones se las pueden comprobar en el Anexo 9

**Figura 12:** Motogenerador eléctrico de 1000 W utilizado para la generacion electrica en el criadero.



Fuente: Autores

El motor de combustión interna del equipo de generación está diseñado para utilizar como combustible gasolina, sin embargo, en este proyecto se adaptó el mismo para que se pueda utilizar como combustible biogás.

### **Diámetro de la tubería para transporte del biogás a baja presión.**

Para la correcta selección de la tubería se realiza el siguiente calculo mediante las siguientes ecuaciones (Ponce, 2012)

$$P_{\text{final}} = P_{\text{inicial}} + \Delta P \quad \text{Ec (24)}$$

$$\Delta P = P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}} \quad \text{Ec (25)}$$

$$\Delta P = 200 \text{ mmca} - 170 \text{ mmca}$$

$$\Delta P = 30 \text{ mmca.}$$

$$L_e = 1,2 * \text{Longitud real} \quad \text{Ec (26)}$$

$$L_e = 1,2 * 13 \text{ m}$$

$$L_e = 15,6 \text{ m}$$

“El valor de 1,2 utilizado en la formula anterior se debe a la perdida de presión en el trayecto debido a los acoples y filtros instalados, además, el valor del caudal (Q) y la densidad relativa del gas (ds)” (Ponce, 2012).

$$Q = 0,6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad \text{Ec (27)}$$

$$ds = 0,80$$

Con los datos establecidos, calculamos el diámetro de la tubería, despejándola de la siguiente formula.

$$\Delta P = 232000 * d_s * L_e * \frac{Q^{1,82}}{D^{4,82}} \quad \text{Ec (28)}$$

$$D = \sqrt[4,82]{\frac{232000 * d_s * L_e * Q^{1,82}}{\Delta P}} \quad \text{Ec (29)}$$

$$D = \sqrt[4,82]{\frac{232000 * 0,80 * 15,6 * 0,6^{1,82}}{30}}$$

$$D = 14,19 \text{ mm.}$$

Para el transporte de gas obtenemos una tubería de 8,4 mm, utilizaremos la tubería de ½” que es igual a 20 mm además como se establece al inicio del cálculo el gas es de baja presión así que será de polietileno utilizaremos la norma INEN 440 que hace referencia al código de colores para identificación de tuberías, para nuestro proyecto será una tubería de color amarillo por qué se va a transportar gas combustible.

### **Construcción del biodigestor**

#### **Tanque de mezcla (excretas más agua) al biodigestor**

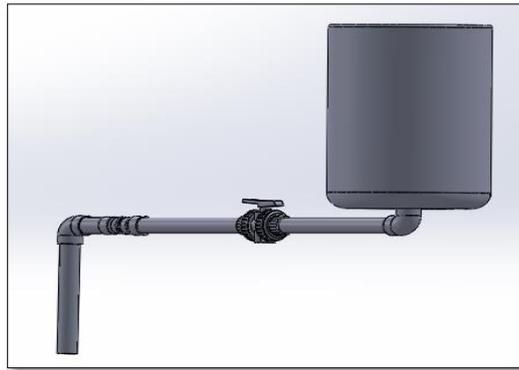
Para la construcción del mismo se utilizó un tanque de 50 litros al cual se le realizó un agujero en la parte inferior para el acoplamiento de la tubería de 63 mm y mediante pegamento de marca “Calipega” se selló para evitar fugas de la mezcla de excretas más agua, conjuntamente se acoplo a los demás materiales descritos a continuación.

#### **Materiales:**

- 2 Codos de 63mm
- 1 Acoples de 2"
- 1 Acoples machos de 63mm
- 1 Adaptadores hembra 63mm
- 1 Válvula de esfera de 63mm
- 1 Tubo de 63 mm
- 1 Tanque de 50lt

Un esquema del tanque de mezcla o alimentación se muestra en la Figura 13 y los planos constructivos.

**Figura 13:** Tanque de suministro de residuos porcinos al biodigestor

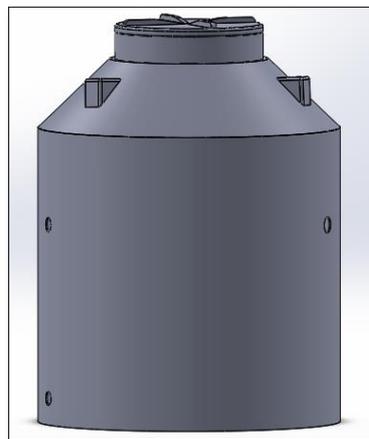


**Elaborado por:** Basurto Carlos, Corrales Jonatan

### **Biodigestor**

El biodigestor o reactor está compuesto de plástico de PVC de 5 mm con una capacidad de 1100lt o  $1m^3$ , las especificaciones de este se encuentran en el Anexo 8. Al mismo que se le realizó 2 agujeros a 0,75m desde la base hacia la parte de arriba, los cuales servirá, uno para el ingreso de biomasa y el otro para la salida de biol, también un agujero a 0,15m de distancia de la base para la descarga de lodos tal como lo indica la Figura 14 y se puede revisar en los planos constructivos.

**Figura 14:** Biodigestor



**Elaborado por:** Basurto Carlos,  
Corrales Jonatan

### **Tanque de descarga o reservorio de biol**

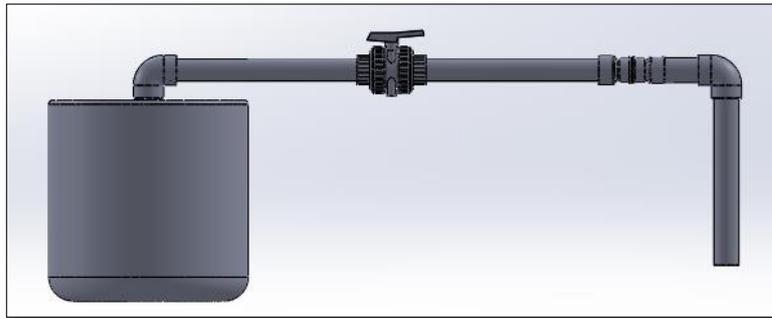
Para la construcción del reservorio se realizó el ensamblaje la tubería de salida desde el tanque del biodigestor con los materiales descritos en la parte inferior, ya que el reservorio será móvil para poder sacar la carga de biol, se escogió un tanque plástico de 30 litros para este caso.

El diseño de este se lo puede observar en la Figura 15 y se lo puede revisar en los planos constructivos.

### **Materiales**

- 2 Codo de 63mm
- 1 Acoples de 2"
- 1 Acoples machos de 63mm
- 1 Adaptadores hembra 63mm
- 1 Válvula de esfera de 63mm
- Tubo de 63 mm
- 1 Tanque de 30 l

**Figura 15:** Tanque de recolección de biol



**Elaborado por:** Basurto Carlos, Corrales Jonatan

### **Tanque de lodos**

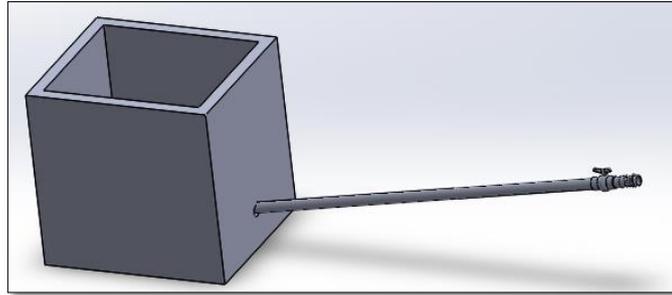
Se cabo un pozo de 1 m<sup>3</sup> y se lo revistió de bloque para evitar derrumbes o colapsos del suelo a este se le unió la tubería de descarga de lodos, el material para la construcción del mismo se lo observa a continuación.

### **Materiales:**

- 1 Acoples de 2"
- 1 Adaptadores hembra 63mm
- 1 Válvula de esfera con mariposa de 2"
- Tubo de 63 mm
- 32 Bloques de 10cm x 25 cm

El producto final del montaje del pozo se lo observa en la Figura 16.

**Figura 16:** Salida de lodos hacia recolectores de lodos



**Elaborado por:** Basurto Carlos, Corrales Jonatan

### **Invernadero para el Biodigestor**

Para la construcción del invernadero se construyó la estructura base las dimensiones son 2,75 ancho por 3,10 largo y 1,85 alto todo esto en metros, para el montaje el plástico del invernadero se lo fijo con clavos, para el acceso a la parte interna del invernadero se construyó una puerta de 1,1 m x 1 m además se le colocó una malla con las mismas dimensiones para evitar el ingreso de insectos a la parte interna del invernadero los materiales utilizados se muestran a continuación.

#### **Materiales:**

- 4 Pingos de madera de 1,85 m de largo y 0,2m de diámetro.
- 3 pingos de madera de 3 m de largo y 0,2 m de diámetro.
- ½ libra de clavos de 1 ½ pulgada y media.
- 8 metros de plástico para invernadero de ancho de 6 m y con un grosor de 8 líneas.

El acabado final de la construcción del invernadero se lo muestra en la Figura 17.

**Figura 17:** Diseño final del invernadero



**Realizado por:** Basurto C., Corrales J.

## 11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los siguientes análisis realizados al biogás Anexo 14 y 15, fueron tomados de muestras del mismo antes Tabla 17 y después del biodigestor Tabla 18, dan a entender un correcto funcionamiento del filtro del biogás el cual elimina los malos olores, ácido sulfhídrico y contenido excesivo de agua en el gas mejorándolo para una mejor utilización.

**Tabla 17:** Resultados de la muestra de biogás que entrega el biodigestor

Componentes	% Peso	% Moles
N <sub>2</sub>	18,46	16,26
CH <sub>4</sub>	25,64	60,90
CO <sub>2</sub>	50,10	32,20
H <sub>2</sub> O	3,90	5,82

<b>Densidad relativa</b>	<b>0,94</b>
Peso molecular promedio (g/mol)	26,99
Poder calorífico del gas (BTU/pie <sup>3</sup> )	615,60
Poder calorífico del gas (kJ /m <sup>3</sup> )	22936.74

Realizado por: Basurto C., Corrales J.

**Tabla 18:** Resultados de la muestra de biogás que entrega el filtro H<sub>2</sub>S

Componentes	% Peso	% Moles
N <sub>2</sub>	20,32	16,80
CH <sub>4</sub>	40,64	60,90
CO <sub>2</sub>	34,68	18.15
H <sub>2</sub> O	2,16	2,60

<b>Densidad relativa</b>	<b>0,80</b>
Peso molecular promedio (g/mol)	23,20
Poder calorífico del gas (BTU/pie <sup>3</sup> )	532,18
Poder calorífico del gas (kJ /m <sup>3</sup> )	19828.58

Realizado por: Basurto C., Corrales J.

Como se puede observar en la Tabla 18 el contenido en metano del biogás generado fue de un 40,6%. Este valor se encuentra por debajo del rango típico observado en la literatura, conjuntamente al comparar las tablas anteriores el filtro de H<sub>2</sub>S provoca un significativo cambio, el porcentaje del metano aumenta y reduce el del agua.

#### **Medición de pH en la mezcla**

El control de pH de los residuales de ganado porcino se realizó durante su permanencia en el biodigestor, controlando siempre al mismo en el interior del biodigestor. Esta medición se realizó con papel de pH, durante el tiempo de retención hasta la prueba de generación térmica, para controlar la acidez, dando valores promedios de pH de 7, que es un nivel de acidez neutro, y es muy favorable para la generación de bacterias dentro del biodigestor.

## **12. IMPACTOS**

#### **Aspecto técnico**

La implementación de la mini planta de generación energética permite aprovechar el potencial energético de las excretas porcinas para la producción de biogás, el que se utilizara como combustible en generación térmica y/o de energía para satisfacer las necesidades eléctricas.

#### **Aspecto ambiental**

El desarrollo del presente trabajo contribuye a la disminución de gases de invernadero, líquidos extraños, contaminantes del suelo y efluentes que son producidos por los residuos porcinos. La disminución de la utilización de fertilizantes para el suelo ya que se obtiene un único subproducto al final del proceso anaerobio, el biol que es un excelente fertilizante para los terrenos.

### 13. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO

**Tabla 19:** Precio de elementos del biodigestor.

Elementos de PVC				
Ítem	Elementos	Cant.	Costo p/u	Costo total
1	Tanque de 1100	1	175	175
2	Tanques de 50 lt	2	5	10
3	Plástico de invernadero de 8 micras de espesor	9	5,6	50,4
<b>Realizado por:</b> Basurto C., Corrales J.			<b>TOTAL</b>	268,356

**Tabla 20:** Accesorios de PVC

Accesorios de PVC				
Ítem	Elementos	Cant.	Costo p/u	Costo total
1	Codo de 63mm	4	4,04	8,04
2	Acoples de 2"	3	10,29	13,29
3	Acoples machos de 63mm	2	2	4
4	Adaptadores hembra 63mm	3	1,97	4,97
5	Válvula de esfera de 63mm	2	13,9	15,9
6	Válvula de esfera con mariposa de 2"	1	1,75	2,75
7	Adaptador de ½	1	0,9	1,9
8	Llave de ½	1	1,35	2,35
9	Reductores de 63mm a 32mm	2	1,8	3,8
10	Acople espiga de 1/2	2	1,9	3,9
11	Codos de media	2	0,75	2,75
12	Acoples reductores de 32 a 1/2	2	0,5	2,5
13	Uniones de media pegable	2	0,75	2,75
14	Tubo de 63 mm	2	9,5	11,5
			<b>TOTAL</b>	91,66

**Realizado por:** Basurto C., Corrales J.

**Tabla 21:** Gastos indirectos incurridos en el proyecto.

Ítem	Recursos	Cant	Costo p/u	Costo total
1	Internet		25	25
2	Copias	100	0,02	2
3	Impresiones b/n	200	0,05	10
4	Impresiones a color	300	0,15	45
5	Anillado	6	1	6
6	Esferos	1	0,35	0,35
7	Empastado	2	15	30
8	Resmas de papel	1	3,8	3,8
9	Transporte	30	2,5	75
10	Gasolina	3	5	15
11	Alimentación	20	2	40
12	Flash memory	1	10	10
			<b>TOTAL</b>	298,851

Realizado por: Basurto C., Corrales J.

<b>10 % imprevistos</b>	29,8851
-------------------------	---------

En la Tabla 22 se puede consultar el costo del libro electrónico adquirido para su uso como material de control y referencia en el proyecto

**Tabla 22:** Costo del libro de Aqualimpia.

<b>Libro electrónico</b>				
Ítem	Descripción	Cant	Costo p/u	Costo total
1	Manual de dimensionamiento y diseño de biodigestores y plantas de biogás	1	40	40
			<b>TOTAL</b>	40

Realizado por: Basurto C., Corrales J.

En la Tabla 23 se denota los elementos varios para el proyecto

**Tabla 23:** Desglose de precios de los elementos varios.

<b>Elementos varios</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Elementos</b>	<b>Cant</b>	<b>Costo p/u</b>	<b>Costo total (USD)</b>
1	Pega tubo	1	4,46	4,46
2	Teflones industriales	2	1,7	3,4
3	clavos de 1"	1 lb	0,6	0,6
4	clavos de ½"	1 lb	0,9	0,9
5	Vacuometro	1	25	25
6	Manguera de 1/2 50 m	1	13,9	13,9
			<b>TOTAL</b>	<b>55,02</b>

**Realizado por:** Basurto C., Corrales J.

En la Tabla 24 se puede observar los elementos eléctricos adquiridos para el proyecto.

**Tabla 24:** Valor del generador eléctrico.

<b>Elementos eléctricos</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Elementos</b>	<b>Cant.</b>	<b>Costo p/u</b>	<b>Costo total</b>
1	Motogenerador eléctrico de 1 kW	1	300	300
2	Adaptación y calibración del carburador del motogenerador eléctrico	1	40	40
			<b>TOTAL</b>	<b>387,6</b>

**Realizado por:** Basurto C., Corrales J.

## COSTO TOTAL

Como se puede observaren la Tabla 25 el costo total del proyecto fue de 1171,36 USD, siendo sus elementos más costosos los elementos eléctricos.

**Tabla 25:** Inversión en la mini planta

<b>Descripción</b>	<b>USD</b>	<b>%</b>
Elementos de PVC	268,36	22,92
Accesorios de PVC	91,66	7,82
Gastos indirectos	298,85	25,51
10% imprevistos	29,89	2,55
Libros electrónicos	40,00	3,43
Elementos varios	55,02	4,68
Elementos eléctricos	387,60	33,09
<b>TOTAL</b>	<b>1171,36</b>	<b>100</b>

**Realizado por:** Basurto C., Corrales J.

## 14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

A partir del análisis de los resultados del trabajo realizado se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Las necesidades térmicas existentes en el criadero “La Bonita” son de 1,3 kWh/día; el calor se utiliza, fundamentalmente, en la cocina de gas para el calentamiento de los alimentos de los cerdos y en dos calentadores de gas, que se usan para el calentamiento de los cerdos pequeños.
- Se ha diseñado una mini planta para el tratamiento de los residuales porcinos del criadero “La Bonita” y la generación de biogás para tratar de solventar, fundamentalmente, las necesidades térmicas del criadero.
- El coste total de la mini planta es de 1171,36 USD, siendo los elementos más costosos el sistema de generación eléctrica (33%) y el biodigestor (22.92%) cuya suma representa el 55,92% del estado total de la mini planta.
- Para la construcción de la mini planta se seleccionaron elementos de fácil obtención y bajo costo disponibles en el mercado de Cotopaxi, tales como: los tanques utilizados (tanque de mezcla, el biodigestor, tanque de descarga), el sistema de tubería con sus respectivos accesorios, la bolsa de almacenamiento de gas y el sistema de generación eléctrica.
- La cantidad total de biogás generada diariamente ( $0,83 \frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{día}}$ ) permite satisfacer el 77 % de las necesidades térmicas del criadero.
- La concentración de metano en el biogás generado es de, aproximadamente, un 41%, valor que se encuentra por debajo del rango típico de concentración del 60 y 70 %

reportados en la literatura científica. Este bajo valor trae consigo un bajo poder calorífico del biogás generado.

## **RECOMENDACIONES**

- Para evitar daños al biodigestor en los primeros días de llenado se recomienda abrir las llaves de paso para liberar los gases producidos, ya que estos no tienen ningún poder energético y el tanque podría dañarse, como se sabe el biogás se empieza a generar a partir de los 30 a 35 días de haber cargado el biodigestor.
- Evitar el uso de biomasa cuando existe el periodo de vacunación, se recomienda dejar de utilizar esas deyecciones por dos o tres días debido a los antibióticos suministrados en los cerdos, estos se eliminan a través de la excreta y la orina y puede eliminar la proliferación bacteriana dentro del biodigestor.
- Para el sellado de la tapa del tanque se recomienda colocar un sellador entre la tapa del tanque con plástico de 8 micras para evitar las fugas de gas.
- Se recomienda construir un invernadero para solventar la eficiencia térmica del medio y también para proteger a la mini planta de generación.

## 15. BIBLIOGRAFÍA

- Armando, B. D. (2013). *Desarrollo, construcción y pruebas de un sistema de uso de biogas como combustible para un motogenerador eléctrico rural*. Riobamba.
- Carreas, N. (2013). *El Biogas*.
- Carvajal, D. E. (2014). *Diseño de un biodigestor anaerobio para la producción de biogas a partir de las excretas de ganado vacuno, en la finca los laureles en la comunidad Flor del Manduro*. Riobamba.
- De la torre, N. (2008). *Digestión anaerobia en comunidades rurales*. Madrid.
- GTZ. (1987). *Difusión de la tecnología del biogás en Colombia*. Cali.
- Gunnerson, C. G., & Stuckey, D. C. (1986). Anaerobic digestion. En C. Gunnerson, & D. Stuckey, *Principles and practices for biogas systems* (pág. 14). Washington D.C.
- Heura. (23 de Abril de 2012). *Heura, gestión ambiental*. Obtenido de <https://heuramedioambiente.wordpress.com/2012/04/23/que-es-la-biomasa/>
- Lema, J., & Méndez, R. (1997). *Tratamientos biológicos anaerobios*. Oviedo, España.
- Lopez M, G. (2011). *Producción de biogas a partir de RSU*. Bogota, Colombia.
- Martí, B. (2011). *Estudio de variabilidad de la instalación de una planta de metanización en un buque crucero*. Barcelona.
- Mena, M. S., & Garzón, G. P. (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”*. Sangolquí.
- Moncayo, G. (2013). *Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás*. Alemania: Aqualimpia Beratende Ingenieure.
- Moncayo, G. (2008). *Dimensionamiento y diseño de biodigestores y plantas de biogas*. Aqualimpia Beratende Ingenieure.
- Moncayo, G. (2011). *Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás*. Alemania: Aqualimpia Beratende Ingenieure.
- Moreno, M. V. (2011). *Manual del biogas*. Santiago de Chile.

- Normalización, I. E. (12 de 08 de 2008). *Transporte, almacenamiento, envasado y distribución de gas licuado de petróleo (GLP) en Cilindros y tanques*. Obtenido de [http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/rte\\_024.pdf](http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/rte_024.pdf)
- Ortiz, P. (Noviembre de 2013). *Control operacional de reactores anaerobios*.
- Pedraza, G., Chará, J., Conde, N., Giraldo, S., & Giraldo, L. (2002). Evaluación de los biodigestores en geomembrana (pvc) y plástico de invernadero en clima medio para el tratamiento de aguas residuales de origen porcino. *LRRD Newsletter*.
- Ponce, J. (29 de Agosto de 2012). *Formatec*. Obtenido de Formatec: <http://javiponce-formatec.blogspot.com/2012/08/calculos-tuberias-de-gas-en-baja-presion.html>
- Rowse, L. E. (2011). *Design of Small Scale Anaerobic Digesters for Application in Rural Developing Countries*. Obtenido de University of South Florida.
- Rowse, L. E. (2011). *Design of Small Scale Anaerobic Digesters for Application in Rural Developing Countries*. Obtenido de University of South Florida: <http://scholarcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4519&context=etd&sei-redir=1&referer=http%3A%2F%2Fwww.google.es%2Furl%3Fsa%3Dt%26rct%3Dj%26q%3DRowse%2BLE%2Bdesign%2Bof%2Bdigester%26source%3Dweb%26cd%3D1%26ved%3D0CCwQFjAA%26url%3Dhttp%253A%252F%2>
- Scielo. (Diciembre de 2015). *Scielo Tecnología Química*. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852015000300001](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852015000300001)
- Zumba, S. (Agosto de 2016). Propietario del criadero "La Bonita". (G. investigador, Entrevistador)

# ANEXOS

**INFORMACIÓN PERSONAL**

**Nombres y Apellidos:** Ángel Salvador Hernández Moren  
**Fecha de Nacimiento:** 1966  
**Lugar de Nacimiento:** Cienfuegos, Cuba  
**Ciudad Domicilio:** Cotopaxi - Latacunga  
**Número Celular:** 0984160559  
**Email:** angel.hernandez@utc.edu.ec  
**Tipo Sanguíneo:** O+



Se graduó de "Ingeniero Termoenergético" en 1989, por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cienfuegos (UCf), Cuba. Obtuvo el título de "Doctor Ingeniero Industrial" por la Universidad de Oviedo, España, en 1999, dentro del Programa de Doctorado de "Tecnología y Ahorro Energético". En 2001 recibió el "Premio Extraordinario de Doctorado", correspondiente al curso académico 1998 – 1999, concedido por la Comisión de Doctorado y la Junta de Gobierno de la Universidad de Oviedo. Durante su carrera profesional ha trabajado como profesor e investigador en diferentes centros de investigación científica e instituciones de educación superior, tales como el Instituto Nacional del Carbón (INCAR), perteneciente a la Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), de España, la Universidad de Cienfuegos (UCf) y la Delegación de la Academia de Ciencias de Cuba (ACC), en Cienfuegos. Actualmente trabaja como docente e investigador en la Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), en Ecuador, donde es miembro de su Comité Científico. Ha impartido las siguientes asignaturas: Máquinas Motrices y Térmicas, Termodinámica, Transmisión de Calor, Generadores de Vapor, Proyecto Integrador y Proyecto de Titulación. Ha participado en diversos proyectos de investigación en el campo de la reducción de las emisiones contaminantes procedentes de la combustión de combustibles fósiles y el incremento de la eficiencia energética de equipos y procesos industriales. Es autor y coautor de varios artículos científicos y de otras publicaciones en libros y volúmenes colectivos; y más de 20 comunicaciones presentadas



**INFORMACIÓN PERSONAL**

**Nombres y Apellidos:** Carlos Antonio Basurto Cusme  
**Fecha de Nacimiento:** 30 de mayo de 1993  
**Lugar de Nacimiento:** Flavio Alfaro - Manabí  
**Nacionalidad:** Ecuatoriana  
**Ciudad Domicilio:** Cotopaxi - Latacunga - La Matriz  
**Dirección Domicilio:** Av. Princesa Pacha y Av. Antonia Vela  
**Número Celular:** 0979059843  
**Email:** chonerocarlo\_93@yahoo.com  
**Cédula de Identidad:** 131249215-8  
**Licencia de Conducir:** Tipo B  
**Estado Civil:** Soltero  
**Tipo Sanguíneo:** O+  
**Licencia de riesgos Eléctricos:** Si

**INFORMACIÓN ACADÉMICA**

<b>Educación</b>	<b>Nombre Institución</b>	<b>Nivel Aprobado</b>
Primaria	Julios Cuadros Zambrano	Completo
Secundaria	Técnico Raymundo Aveiga	Completo
Superior	Universidad Técnica de Cotopaxi	Último nivel
Suficiencia Inglés	Universidad Técnica de Cotopaxi	Completo

**CONOCIMIENTOS Y CAPACITACIÓN ADICIONAL**

1. V congreso nacional de electricidad y energías alternativas expo electricidad 2015 "Universidad Central del Ecuador".
2. II jornadas de ingeniería eléctrica y electromecánica con enfoque de tecnología "Universidad Técnica de Cotopaxi".
3. III jornadas de ingeniería eléctrica y electromecánica con enfoque de tecnología "Universidad Técnica de Cotopaxi".
4. Séptimo congreso nacional de electricidad y energías alternativas expo electricidad 2013 "Universidad Técnica de Cotopaxi".
5. Curso de licencia de prevención de riesgos eléctricos "Coporsuper (Ambato)".
6. Suficiencia en inglés "Universidad Técnica De Cotopaxi".



**INFORMACIÓN PERSONAL**

**Nombres y Apellidos:** Corrales Molina Jonatan Gabriel  
**Fecha de Nacimiento:** 05 de marzo de 1992  
**Lugar de Nacimiento:** Cotopaxi- Latacunga  
**Nacionalidad:** Ecuatoriana  
**Ciudad Domicilio:** Cotopaxi - Latacunga - La Matriz  
**Dirección Domicilio:** La Calera - San Felipe  
**Número Celular:** 0984873623  
**Email:** jonatan.corrales21@gmail.com  
**Cédula de Identidad:** 050312589-0  
**Licencia de Conducir:** Tipo B  
**Estado Civil:** Soltero  
**Tipo Sanguíneo:** O+  
**Licencia de riesgos Eléctricos:** Si

**INFORMACIÓN ACADÉMICA**

<b>Educación</b>	<b>Nombre Institución</b>	<b>Nivel Aprobado</b>
Primaria	Isidro Ayora	Completo
Secundaria	Técnico Ind. "Juan Abel Echeverría"	Completo
Superior	Universidad Técnica de Cotopaxi	Último nivel
Suficiencia Inglés	Universidad Técnica de Cotopaxi	Completo

**CONOCIMIENTOS Y CAPACITACIÓN ADICIONAL**

1. Área de la Energía, los Industrias y los Recursos Naturales No Renovables. "Universidad Nacional de Loja".
2. I Jornada de Ingeniería Eléctrica y Electromecánica con enfoque de tecnología "Universidad Técnica de Cotopaxi".
3. II Jornada de Ingeniería Eléctrica y Electromecánica con enfoque de tecnología "Universidad Técnica de Cotopaxi".
4. III Seminario Internacional de Ingeniería Eléctrica y Electromecánica con enfoque de tecnología "Universidad Técnica de Cotopaxi".
5. II Seminario Internacional uso energético fuentes alternativas y desarrollo sostenible "Universidad Técnica de Cotopaxi".
6. Google Session 2015 organizado por Innova Training y Enterprise, Google Adwords Professional Cominit, Nuace y Bit Defender "ESPE – Q".
7. V congreso nacional de electricidad y energías alternativas expo electricidad 2015 "Universidad Central del Ecuador".
8. Participación con proyecto referente a desgranadora de maíz "MAGAP".
9. Suficiencia en inglés "Universidad Técnica de Cotopaxi".
10. Curso de licencia de prevención de riesgos eléctricos "Seprytsa (Latacunga)".





Realizado por: Basurto C., Corrales J.





M.V.Z. Hernán Calderón  
Director ANIMALAB

**CENTRO DE DIAGNÓSTICO CLÍNICO VETERINARIO  
"ANIMALAB CIA. LTDA."**

Direc.: Av. Pablo Guarderas y Mariana de Jesús  
Telfs.: Of. 022314376 / Cel.: 0984 484 385 / 0997 984 371 • Mail: c.d.c.v.animalab@hotmail.com  
Machachi - Ecuador

**INFORME DE RESULTADOS**

Código: R POE AB- 19 01

Revisión: 03

Fecha de Aprobación: 2016 -02- 04

No DE CASO: A-937-2016

CÓDIGO: MV1 - 075- 2016

Fecha de recepción:	Jueves, 03 de noviembre del 2016		
Fecha de realización:	Jueves, 03 de noviembre del 2016		
Fecha de entrega:	Miércoles, 16 de noviembre del 2016		
PROPIETARIO:	Sr. Segundo Zumba	TELÉFONO:	0984873623
RUC:	0503125890	UBICACIÓN:	Cotopaxi-Latacunga-La Victoria
HACIENDA:	Criadero la Bonita	MAIL:	<a href="mailto:jonatan.corrales21@gmail.com">jonatan.corrales21@gmail.com</a>
SOLICITANTE:	Sr. Jonathan Corrales/Carlos Basurto	RESPONSABLE:	M.V.Z. Hernán Calderón
ESPECIE:	Porcina	RAZA:	No Aplica
Nº DE MUESTRAS:	1	EDAD:	Varios Edades
PRUEBAS SOLICITADAS:	Humedad-Sólidos Totales	TIPO DE MUESTRA:	Heces

**RESULTADOS**

MUESTRA: HECES  
IDENTIFICACIÓN: No. 1

CARACTERÍSTICAS		
FISICAS	COLOR	Carácterístico
	OLOR	Carácterístico
	ESTADO	Sólido
	CONTENIDO	1000 g.

**INFORME**

PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO
Humedad	%	76.40	MAL-13/AOAC 925.10
Sólidos Totales	%	23.60	MAL-13/AOAC 925.10

Estos resultados son válidos solo para la (s) muestra (s) analizada(s) y se prohíbe la reproducción parcial o total de este documento, sin la autorización de ANIMALB. CIA LTDA.

  
**M.V.Z. HERNÁN CALDERÓN**  
 GERENTE GENERAL "ANIMALAB CIA. LTDA."

REV.03

S.G.C. ANIMALAB ISO/IEC 17025:2005

1/1

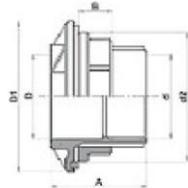
**Realizado por:** Basurto C., Corrales J.



DIMENSIONES (mm)								
Diámetro Exterior (mm)	Espesor de pared (mm)				Peso (kg / tubería)			
	C-4	C-6	C-10	C-16	C-4	C-6	C-10	C-16
20	***	***	***	1,5	***	***	***	0,830
25	***	***	1,5	1,9	***	***	1,050	1,270
32	***	***	1,8	2,4	***	***	1,590	***
40	***	1,8	2,0	3,0	***	2,020	2,210	***
50	***	1,8	2,4	3,7	***	2,550	3,340	***
<b>63</b>	<b>***</b>	<b>1,9</b>	<b>3,0</b>	<b>4,7</b>	<b>***</b>	<b>3,430</b>	<b>5,220</b>	<b>7,880</b>
75	1,8	2,2	3,6	5,6	3,930	4,780	7,470	11,140
90	1,8	2,7	4,3	6,7	4,740	6,930	10,730	16,000
110	2,2	3,2	5,3	8,2	7,120	10,070	16,030	23,950
125	2,5	3,7	6,4	9,3	9,100	13,100	20,540	30,690
140	2,8	4,1	6,7	10,4	11,330	16,390	25,750	38,580
160	3,2	4,7	7,7	11,9	14,870	21,330	33,750	50,320
200	4,0	5,9	9,6	14,7	22,940	33,290	52,760	79,260
250	4,9	7,3	12,0	18,6	35,310	51,940	82,500	123,240
315	6,2	9,2	15,0	23,4	56,380	82,500	132,630	202,590
355	7,0	10,4	17,0	26,3	71,820	105,210	169,470	***
400	7,9	11,7	19,1	29,7	91,350	132,930	212,300	***



## Unión Estanque HI c/goma



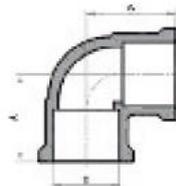
DIMENSIONES (mm)						
COTAS	20	25	32	40	50	63
A	61	61	64	64	67	67
B	17	17	20	20	23	23
D	20	25	32	40	50	63
d	1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2
D1	64,1	70,1	79,4	87,4	94,7	108,7
D2	60	66	74	82	88	103

## Reducción Larga M/H Soldable



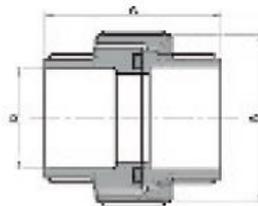
DIMENSIONES (mm)								
COTAS	32 x 20	40 x 20	40 x 25	50 x 20	50 x 25	50 x 32	63 x 25	63 x 32
B	32	40	40	50	50	50	63	63
D	20	20	25	20	25	32	25	32
L	44	51,6	51,8	55,8	61	61,3	70,5	70,9

## Codo 90° Soldable



DIMENSIONES (mm)						
COTAS	20	25	32	40	50	63
D	20	25	32	40	50	63
A	27	32	39	47	57	67



**Buje Reducción Soldable**

COTAS	DIMENSIONES (mm)				
	20	25	32	40	50
D	20	25	32	40	50
B	48	54,5	64	79	87,5
A	46	51	55	58	68

**Tee Soldable**

COTAS	DIMENSIONES (mm)					
	20	25	32	40	50	63
D	20	25	32	40	50	63
B	27	32	39	47	57	71,3
A	54	64	78	94	114	142,6



## Válvula de Esfera VS Roscable



Código	Dimensiones
27958281	1/2"
27958303	3/4"
27958320	1"
27958346	1 1/4"
27958362	1 1/2"
27958389	2"

## Válvula de Esfera con Mariposa



Código	Dimensiones
27950175	1/2"
27950183	3/4"

## Válvula de Esfera de medio paso



	CÓDIGO	DIÁMETRO	TAMAÑO DE PASO	RELACIÓN DE PÉRDIDA
ROSCABLE	107-821	1/4"	.394"	7.8
	107-822	3/8"	.394"	7.8
	107-823HC	1/2"	.590"	14.2
	107-824HC*	3/4"	.787"	28.6
	107-825HC*	1"	.984"	56.4
	107-826	1-1/4"	1.260"	114.0



TANQUE CILÍNDRICO VERTICAL / TIPO BOTELLA

- Elaborados en polietileno con materia prima 100% virgen.
- Higiénico, paredes lisas evitan el crecimiento de bacterias.
- Hermético, tapa de traba con seguro giratorio.



Capacidad (litros)	Dimensiones (mm)		
	φ	H	H <sub>T</sub>
2500	550	1400	1520
1100	550	1120	1465
600	550	871	1215
500	550	860	1165
250	550	690	880



Colocación de plástico para protección del tanque.



Realizado por: Basurto C., Corrales J.

Vista interna y externa de la tubería de líquido del biodigestor.



Realizado por: Basurto C., Corrales J.



Visualización externa de la mini planta de generación de biogás



Realizado por: Basurto C., Corrales J.

Visualización dentro del invernadero de la mini planta de generación de biogás



Realizado por: Basurto C., Corrales J.



Medicion de presiones en el tanque



Realizado por: Basurto C., Corrales J.

Presiones negativas en el vacuometro



Realizado por: Basurto C., Corrales J.

Sección de filtros y válvula de sobrepresión



Realizado por: Basurto C., Corrales J.

Vista lateral derecha del generador eléctrico



Realizado por: Basurto C., Corrales J.





**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA  
LABORATORIO DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL

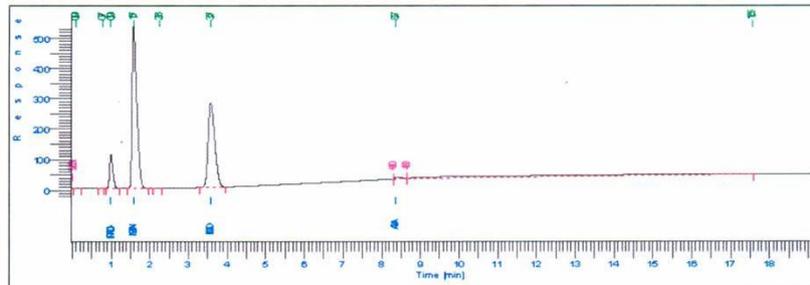
REPORTE DE ANÁLISIS LAI-17-011  
OT. 5061

PARÁMETROS DE LA MUESTRA			
Cliente:	Jonatan Corrales		
Muestra:	Biogas		
Fecha de recepción:	06/02/2017	Fecha de entrega del informe:	09/02/2017

CONDICIONES DE TRABAJO			
Temperatura (°C)	20	Norma de referencia	ASTM D 1945-03 (2010)

RESULTADOS				
COMPOSICIÓN	COMPONENTE		% Peso	% Moles
	Nitrógeno		18,46	16,26
	Oxígeno		1,9	2,27
	Metano		25,64	43,45
	CO <sub>2</sub>		50,10	32,20
	Agua		3,90	5,82
PROPIEDADES	Densidad relativa		0,94	
	Peso molecular promedio [g/mol]		26,99	
	*Poder calorífico superior a 25°C [Btu/lb]		10895,92	
	*Poder calorífico superior a 25°C [Btu/pie <sup>3</sup> ]		532,18	
	*Poder calorífico superior a 25°C [Btu/lb]		10121,53	
	*Poder calorífico inferior a 25°C [Btu/pie <sup>3</sup> ]		525,33	

## CROMATOGRAMA



Ing. Lucía Montenegro	Ing. Gabriela Pérez
Jefa del Laboratorio de Análisis Instrumental	Especialista en técnicas de Análisis Químico

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
LABORATORIO DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL  
Quito - Ecuador





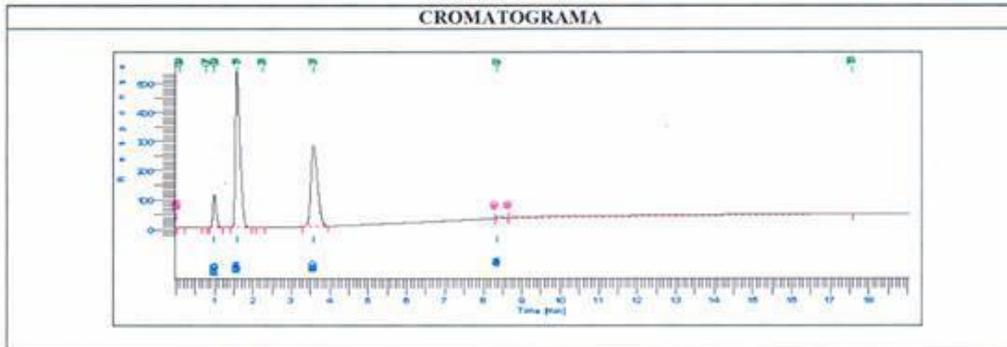
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA  
LABORATORIO DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL

REPORTE DE ANÁLISIS LAI-17-011  
OT. 5061

PARÁMETROS DE LA MUESTRA			
Cliente:	Carlos Basurto		
Muestra:	Biogas		
Fecha de recepción:	06/02/2017	Fecha de entrega del informe:	09/02/2017

CONDICIONES DE TRABAJO			
Temperatura (°C)	20	Norma de referencia	ASTM D 1945-03 (2010)

RESULTADOS				
COMPOSICIÓN	COMPONENTE		% Peso	% Moles
	Nitrógeno		20,32	16,80
	Oxígeno		2,2	1,55
	Metano		40,64	60,90
	CO <sub>2</sub>		34,684	18,15
	Agua		2,16	2,60
PROPIEDADES	Densidad relativa		0,80	
	Peso molecular promedio [g/mol]		23,20	
	* Poder calorífico superior a 25°C [Btu/lb]		13284,80	
	* Poder calorífico superior a 25°C [Btu/pie <sup>3</sup> ]		615,60	
	* Poder calorífico superior a 25°C [Btu/lb]		12774,56	
	* Poder calorífico inferior a 25°C [Btu/pie <sup>3</sup> ]		589,65	



Ing. Lucia Montenegro	Ing. Gabriela Pérez
Jefa del Laboratorio de Análisis Instrumental	Especialista en técnicas de Análisis Químico

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
LABORATORIO DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL  
Quito - Ecuador



**MANUAL DE  
OPERACIÓN Y  
MANTENIMIENTO DEL  
BIODIGESTOR**

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	2
ELEMENTOS Y ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO.....	2
ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO .....	4
SOLUCIÓN A PROBLEMAS .....	5
RECOMENDACIONES GENERALES DE FUNCIONAMIENTO .....	7
REGLAS BÁSICAS DE SEGURIDAD DENTRO Y FUERA DEL BIODIGESTOR...	9
OPERACIÓN DEL BIODIGESTOR.....	12

## INTRODUCCIÓN

Este manual presenta la estructura básica para el correcto uso y mantenimiento del biodigestor, le aconsejamos siga cuidadosamente las instrucciones pues tanto el funcionamiento como la duración, dependen del uso correcto.

## ELEMENTOS Y ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO

Figura 1. Esquema general del biodigestor

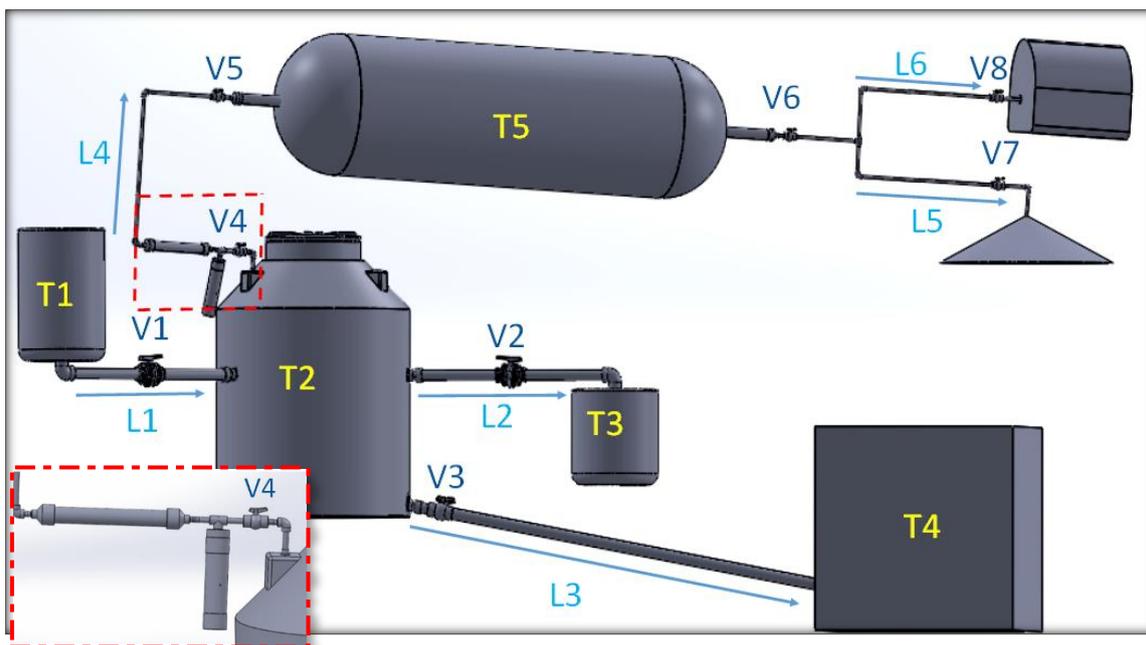


Tabla 26. Abreviatura de cada proceso en el biodigestor

Abreviatura	Descripción
T	Tanque
L	Tubería
V	Llave de paso

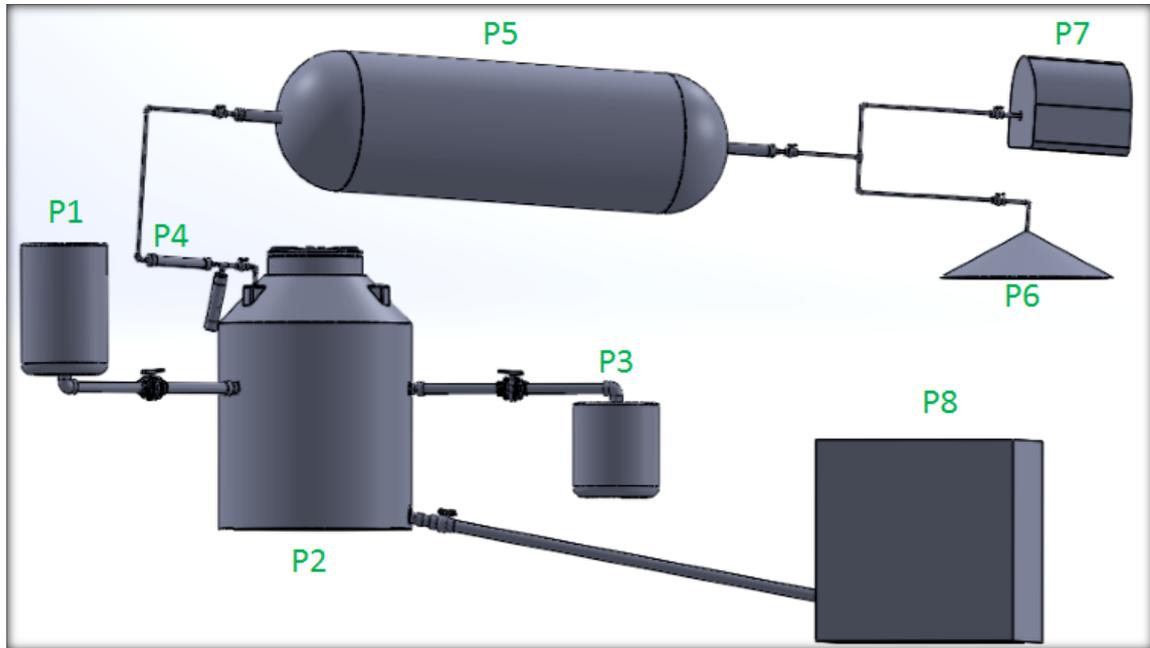
## Descripción de los elementos que conforman el biodigestor.

**Tabla 27** Descripción de los elementos que conforman el biodigestor

<b>ABREVIATURA</b>	<b>ELEMENTO</b>	<b>CARACTERISTICA</b>
T1	Tanque de alimentación	Plástico de PVC de 50 lts
T2	Tanque de almacenamiento	Plástico de PVC de 1100 lts
T3	Tanque de descarga de biol	Plástico de PVC de 20 lts
T4	Tanque de descarga de lodos	Construido de bloque y cemento
T5	Bolsa de almacenamiento	Polietileno de 5 micras, 6 m de lago y 0,75 m de diámetro.
L1	Tubería de descarga de mezcla	PVC de 63 mm (1,5 m)
L2	Tubería de descarga de biol	PVC de 63 mm (1,5 m)
L3	Tubería de descarga de lodos	PVC de 63 mm (2,5 m)
L4	Manguera de transporte de biogás hacia el reservorio	Polietileno de ½"
L5	Manguera de transporte de biogás para los quemadores	Manguera de 1/4" con recubrimiento para exteriores.
L6	Manguera de transporte de biogás para la generación eléctrica	Manguera de 1/4" con recubrimiento para exteriores.
V1	Válvula de esfera vs roscable	PVC de 63 mm
V2	Válvula de esfera vs roscable	PVC de 63 mm
V3	Válvula de esfera con Mariposa	PVC de 63 mm
V4	Válvula de esfera de media vuelta	Metálica de 1/2"
V5	Válvula de esfera de media vuelta	Metálica de 1/2"
V6	Válvula de esfera de media vuelta	Metálica de 1/2"
V7	Válvula de esfera de media vuelta	Metálica de 1/2"
V8	Válvula de esfera de media vuelta	Metálica de 1/2"

## ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO

**Figura 2.** Esquema de funcionamiento del biodigestor



**Tabla 28.** Descripción de cada proceso del biodigestor

Proceso	Descripción
P <sub>1</sub>	Llenado de agua y excretas al tanque de carga para disolver las mismas hasta conseguir un líquido homogéneo.
P <sub>2</sub>	Almacenamiento de la mezcla de agua y excretas para proceso de descomposición química para obtención de biogás y biol.
P <sub>3</sub>	Recolección de biol mediante tanque de descarga.
P <sub>4</sub>	Control y filtrado del biogás.
P <sub>5</sub>	Almacenamiento del biogás generado.
P <sub>6</sub>	Generación térmica mediante quemadores de gas.
P <sub>7</sub>	Generación eléctrica mediante moto generador de combustión interna.
P <sub>8</sub>	Descarga de lodos producidos dentro del tanque de almacenamiento por asentamiento de la mezcla de agua y excretas dentro del proceso dos (P <sub>2</sub> ).

## SOLUCIÓN A PROBLEMAS

### Taponamiento de la tubería de carga de mezcla (L1):

- Realice una observación de la tubería y asegúrese de que el flujo de descarga hacia el tanque de almacenamiento de la mezcla de agua y excretas sea continuo.
- De no existir flujo continuo se debe proceder a:
  - Abrir la válvula V3 un momento para evitar que al desarmar la tubería L1 no exista derrame de mezcla o biol luego cerrarla.
  - Desarmar la tubería L1 y encontrar el área de taponamiento.
  - Despejar la obstrucción y lavar la misma con agua que no contenga cloro o detergentes.
  - Armar nuevamente la tubería L1 y continuar con la mezcla y descarga de la misma con normalidad.

### Exceso de humedad dentro del invernadero (condensados):

Cada mañana o después de que exista lluvias, dentro del invernadero la humedad aumentara a valores superiores de 35%, evitando que la temperatura suba o sea constante, se puede comprobar estos valores en el medidor de temperatura y humedad Figura 3, para controlar este problema proceda de la siguiente manera:

- Abra la puerta del invernadero para que ingrese aire dentro del invernadero.
- Ingrese a este y con mucho cuidado sacuda la parte superior y si es necesario las partes laterales del invernadero para eliminar la presencia de condensado (gotas de agua).

**Figura 3.** Medidor de temperatura y humedad



### **Poca generación de biogás.**

Esto puede deberse a varios motivos:

- La mala mezcla del agua y las excretas.
  - Cuando existen excretas mal disueltas o de gran tamaño en la mezcla la descomposición y el proceso anaerobio se ralentiza ya que son más difíciles de digerir para las bacterias.
  - Para evitar este problema es necesario realizar una buena mezcla del agua y las excretas.
  
- Ganado porcino vacunado.
  - Cuando se vacuna a los cerdos los compuestos químicos de la vacuna son desechados a través de la orina y excretas, estos afectan a las bacterias dentro del biodigestor (las elimina).
  - Para evitar este problema evite el llenado del biodigestor con estas excretas durante dos o tres días.

### **Manchas de suciedad dentro del invernadero**

- Al existir condensados se generarán manchas en las paredes internas del invernadero las cuales deterioran y acortan la vida útil del mismo.
- Para eliminar estas manchas y mejorar la vida útil del invernadero se recomienda lavar una vez cada mes la parte interna del invernadero para realizar este proceso se debe utilizar solo agua y es necesario evitar usar detergentes.

### **Agujero en el reservorio T5 (Bolsa de biogás)**

- Para solucionar este problema se debe limpiar cuidadosamente el área en donde se encuentra el agujero, y sellar con pegamento (cold patch) y parches.

## **RECOMENDACIONES GENERALES DE FUNCIONAMIENTO**

### **Normas de seguridad**

Para evitar contaminación y riesgos biológicos se deberá utilizar los equipos de protección que se encuentran descritos en las reglas básicas de seguridad.

### **El invernadero**

Es necesario revisar periódicamente toda la estructura para evitar el ingreso de aire frío con ello la disminución de la temperatura y una notable disminución de la generación de biogás.

- ✓ *Si la temperatura desciende de 25°C la producción de biogás será lenta.*
- ✓ *Se recomienda revisar los datos de temperatura y humedad 2 o 3 veces al día para, no tener problemas en la generación de biogás.*

### **La Mezcla**

Asegúrese que las excretas no contengan residuos extraños como: trozos de comida, plátano zanahoria; u objetos extraños, fundas, piedras o solidos que puedan llegar a tapar la tubería.

### **Filtro de agua**

Revisar semanalmente el agua de la válvula de seguridad. Si estuviera vacía, es preciso llenarla hasta el nivel establecido (no debe superar los 3 o 4 cm de la columna de agua sobre la base de la tubería).

### **Filtro de ácido sulfhídrico**

Cuando se realiza el cambio de limalla se recomienda no desecharla en cualquier parte puede contaminar el agua o los alimentos y es tóxico para los niños; de preferencia, colocarlo en una caja para luego enterrarlo en un lugar seguro; el reemplazo se lo debe realizar cada 2 años.

### **Reservorio de biogás**

Se realizará una inspección visual, verificando que no exista fugas tanto en los acoples como en el reservorio, si existieran fugas verificar los acoples o siendo el caso de existir fugas en la bolsa, sellar con pegamento y parches.

## REGLAS BÁSICAS DE SEGURIDAD DENTRO Y FUERA DEL BIODIGESTOR

Las reglas básicas aquí indicadas se encuentran ubicadas en los alrededores del biodigestor, están destinadas para proteger la salud y la integridad de las personas.

 <p>NO FUMAR</p>	Prohibido fumar
 <p>PELIGRO GAS INFLAMABLE</p>	Materiales inflamables
 <p>RIESGO ELECTRICO</p>	Riesgo eléctrico
 <p>OBLIGATORIO EL USO DE LOS GUANTES</p>	Obligación de usar protección para las manos
 <p>PROTECCIÓN OBLIGATORIA DE LOS PIES</p>	Obligación de usar protección para los pies

 <p data-bbox="512 443 667 517"><b>USO OBLIGATORIO DE ROPA PROTECTORA</b></p>	<p data-bbox="826 353 1171 443">Obligación de usar ropa de protección para el cuerpo</p>
 <p data-bbox="512 797 667 871"><b>USO OBLIGATORIO DE MASCARILLA</b></p>	<p data-bbox="805 719 1193 808">Obligación de usar protección respiratoria</p>

### **No encender fuego cerca del reservorio**

Al contener metano, el biogás es un combustible que al contacto con una fuente de combustión puede inflamarse y generar una llama.

### **No inhalar el biogás porque es dañino para la salud.**

Por ningún motivo se debe inhalar biogás, ya que antes de ser filtrado, algunos de sus compuestos son dañinos.

### **Revisar periódicamente la llama de los calentadores**

Se recomienda comprobar visualmente el encendido de los calentadores en periodos de 30 minutos, si la llama se encuentra apagada cierre la válvula del biogás y aléjese del lugar por un tiempo de 5 minutos, luego vuelva a encender.

### **Como cambiar y rellenar el filtro de ácido sulfhídrico**

Para realizar el mantenimiento del filtro se debe tomar seguir los siguientes pasos:

- Cierre la válvula de paso V4
- Desconecte de la tubería de origen.

- En la parte izquierda del filtro, no se encuentra cerrada en su totalidad lo que facilita su separación del cuerpo del filtro.
- Retirar cuidadosamente la limalla del interior del filtro utilizando el equipo de protección personal indicado en las reglas de seguridad.
- Colocar los restos de limalla en un recipiente o funda para su posterior desecho.
- Limpiar el interior del filtro con un paño húmedo.
- Dejar secar el filtro.
- Pesar 1 ½ de libra entre clavos y limalla.
- Proceder a colocar los clavos y la limalla en el interior del filtro.
- Hacer una ligera presión de la limalla con un taco de madera, hasta llenarlo por completo.
- Colocar el extremo izquierdo del filtro.
- Volver a colocar es su lugar correspondiente.

**La limalla se puede adquirir en lugares de torneado, deberá ser en lo posible sin muchas impurezas (objetos extraños), su tamaño deberá ser mediano para que exista fluidez de biogás en su interior y no ocurra taponamientos.**

## OPERACIÓN DEL BIODIGESTOR (PASO A PASO)

- Colocación del equipo de seguridad para evitar contaminación con las bacterias presentes en el estiércol.
- Recolección de las excretas.



- Pesado de las excretas.



- Revisar que el tanque de alimentación de excretas este sin ningún elemento extraño en su interior (piedras, palos o fundas que puedan obstruir la tubería).



- Revisar que la válvula de esfera V1 se encuentre cerrada.



- Revisar que la válvula de esfera V2 se encuentre cerrada.



- Colocar en el tanque de carga el agua requerida según la cantidad de excretas recolectadas véase la Tabla 4 para mejor comprensión.

***El agua no debe contener cloro ni detergentes***

**Tabla 29.** Valores calculados para la mezcla de excretas y agua

<b>Kg de excretas</b>	<b>Litros de Agua</b>
10	13,5
15	19,5
20	27,5
25	33,5



- Colocar en el tanque de alimentación las excretas recolectadas.



- Mezclar el agua y las excretas hasta conseguir una mezcla homogénea.



- Una vez homogeneizado la mezcla proceder a abrir la llave de paso (V1).



- Verificar la descarga total de la mezcla y cerrar la llave (V1).



- Dirigirse hacia la tubería (L2) descarga de biol y proceder a abrir la llave de paso (V2) con ella se deberá extraer la misma cantidad de biomasa ingresada según la Tabla 5 en el tanque de descarga del biol (T3).

**Tabla 30.** Biol que debe ser extraído según el ingreso de biomasa

<b>Excretas (Kg)</b>	<b>Agua (lts)</b>	<b>Biol extraído (lts)</b>
10	13,5	23,5
15	19,5	34,5
20	27,5	47,5
25	33,5	58,5



- Una vez extraído la cantidad de biol cerrar la válvula de paso V2 de la tubería L2.



- Se procederá a abonar el terreno con el biol extraído.



- Verificar de la trampa de agua cada día, si el nivel del agua está en el rango adecuado (al borde del agujero), caso contrario llenar hasta su límite con una jeringa.



- Inspeccionar el filtro de ácido sulfhídrico, si existen fugas de gas, se comprobará mediante el olfato el gas tiene un olor a huevo podrido; la sustitución del este filtro se lo especifica en las recomendaciones generales de funcionamiento.



- Verificar que la válvula de paso V5 se encuentre en posición abierta para que exista flujo continuo de biogás al reservorio T5.



- Comprobar que no existan fugas en el reservorio T5.
- Si existiera fugas en el reservorio proceder a repararlo como se lo indica en la solución de problemas.

- Verifique si la válvula de paso de la salida del reservorio (V6) se encuentre abierta, caso contrario abrirla para la utilización en los calentadores.



- Abrir las válvulas de cada calentador para la quema de biogás.



- En el caso de no utilizar el biogás asegurarse de que la válvula de paso V6 se encuentre cerrada para evitar la fuga del mismo.

Una vez cada dos meses se recomienda vaciar los lodos acumulados en el tanque de almacenamiento T2.



- Dirigirse a la tubería L3 ubicada dentro del invernadero en la parte inferior del T2.
- Abrir la válvula de paso V3 durante 2 minutos.



- Transcurrido este tiempo cerrar la válvula V3.



- Esperar varios días hasta que este componente se haya secado en el tanque T4.



- Retirar los lodos secos del tanque T4 y estos son utilizados como fertilizante.