

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

*Trabajo de titulación previo a la obtención  
del título de Ingeniero Ambiental*

**TRABAJO EXPERIMENTAL:**

**“DISEÑO Y EMPLAZAMIENTO DE UN BIODIGESTOR PARA EL  
APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS EN LA GRANJA DE  
EXPLOTACIÓN PORCINA “MIS TRES MARÍAS” ARENILLAS-EL  
ORO-ECUADOR”**

**AUTOR:**

Geovanny Manuel Apolo Valarezo

**TUTOR:**

Manuel Ernesto Delgado Fernández, PhD

Cuenca - Ecuador

2019

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, Geovanny Manuel Apolo Valarezo, con documento de identificación N° 0705772911, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: **DISEÑO Y EMPLAZAMIENTO DE UN BIODIGESTOR PARA EL APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS EN LA GRANJA DE EXPLOTACIÓN PORCINA “MIS TRES MARÍAS” ARENILLAS-EL ORO-ECUADOR**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Ambiental*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, febrero del 2019



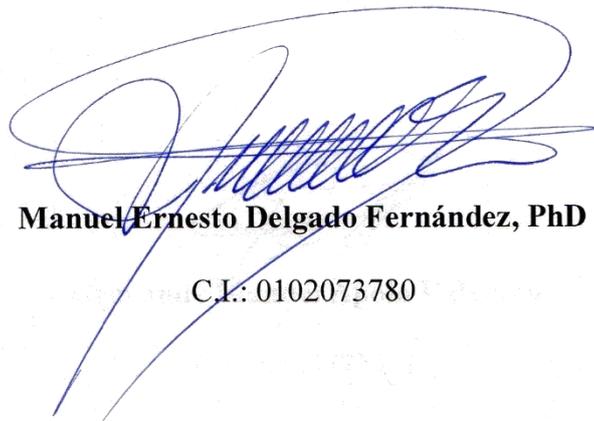
**Geovanny Manuel Apolo Valarezo**

C.I.: 0705772911

## CERTIFICACIÓN

Yo Manuel Ernesto Delgado Fernández, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DISEÑO Y EMPLAZAMIENTO DE UN BIODIGESTOR PARA EL APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS EN LA GRANJA DE EXPLOTACIÓN PORCINA “MIS TRES MARÍAS” ARENILLAS-EL ORO-ECUADOR**, realizado por Geovanny Manuel Apolo Valarezo, obteniendo el *Trabajo Experimental* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, febrero del 2019



**Manuel Ernesto Delgado Fernández, PhD**  
C.I.: 0102073780

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Geovanny Manuel Apolo Valarezo, con número de cédula 0705772911, autor del trabajo de titulación: **DISEÑO Y EMPLAZAMIENTO DE UN BIODIGESTOR PARA EL APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS EN LA GRANJA DE EXPLOTACIÓN PORCINA “MIS TRES MARÍAS” ARENILLAS-EL ORO-ECUADOR**, certifico que el total contenido del *Trabajo Experimental* es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, febrero del 2019



**Geovanny Manuel Apolo Valarezo**

C.I.: 0705772911

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de grado va dedicado a Dios, quien ha estado siempre presente, bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas. A mi madre Mayra y hermano Bryan que siempre estuvieron apoyándome incondicionalmente durante mi etapa de formación estudiantil. A mi abuelita Melva que estuvo presente ayudándome de una u otra manera. A mi abuelito Manuel que debe estar muy contento desde el cielo, ver que estoy culminando con mi formación profesional. A Karlita mi betsfriend que se mantuvo junto a mi apoyándome indispensablemente hasta lograr mi objetivo, todos ellos con amor, paciencia y compromiso me dieron las fuerzas para seguir y no claudicar hasta alcanzar mis metas.

¡Gracias Totales!

## **AGADECIMIENTO**

Me gustaría agradecer la ayuda, que muchas personas me han prestado durante el proceso de investigación y experimentación de este trabajo.

En primer lugar, a Dios que sin su bendición nada de esto fuera posible.

A mi familia, madre, hermano y abuelitos presentes durante todo el proceso ayudándome en lo que fuerza necesario para cumplir con los objetivos propuestos.

A mi tutor del trabajo de grado Manuel Delgado Fernández PhD. quien fue el guía para desarrollar la investigación y posterior experimentación del trabajo de la mejor manera, aplicando sus conocimientos y experiencia en la ciencia.

A karlita quien fue mi compañera y fotógrafa.

A Hugo que me ayudo con mano de obra e ideas para la experimentación.

A mis tíos Fabricio y Marisol, que me dieron la facilidad de experimentar mi trabajo en su propiedad.

## RESUMEN

El propósito de este estudio fue diseñar y emplazar un biodigestor tipo tubular para el aprovechamiento de biogás en la granja de explotación porcina “Mis Tres Marías” Arenillas-El Oro-Ecuador. El volumen de carga del biodigestor es de 28.8 m<sup>3</sup> capacidad de carga líquida 75% y capacidad de carga gaseosa 25%, la mezcla estiércol-agua es de 1.44 m<sup>3</sup> (1:4 de estiércol-agua). Se consideraron algunas variables en el proceso de digestión del estiércol, entre las principales tenemos: temperatura ambiente, pH, tiempo de retención, capacidad de carga y volumen de biogás.

La producción de biogás a partir de la primera carga fue de 7.72 m<sup>3</sup> con un tiempo de retención de 15 días, temperatura ambiente promedio de 29 °C y un pH de 7.5. El biogás se aprovechó como combustible para el abastecimiento de quemadores de un sistema de calefacción para lechones.

El sistema de calefacción consume 2.06 m<sup>3</sup>/día, la temperatura en los cubículos para lechones fue de hasta 37.2 °C, cubriendo un área de 4.5 m<sup>2</sup>; se logró un ahorro para el productor porcino de \$33.50 quincenal, por concepto de energía eléctrica. El bioabono (producto de la digestión anaerobia) se está aplicado a una plantación de cacao, evidenciándose una mejora sustancial en el cultivo.

## Índice General

1	Introducción .....	15
1.1	Antecedentes .....	15
1.2	Justificación .....	16
1.3	Objetivos .....	17
1.3.1	Objetivo General .....	17
1.3.2	Objetivos Específicos .....	17
1.4	Fundamentos Teóricos .....	17
1.4.1	Principios para la obtención de biogás.....	17
1.4.2	Bacterias metanogénicas .....	20
1.4.3	Productos de la digestión anaerobia.....	21
1.4.4	Estiércol porcino .....	21
1.4.5	Biodigestores.....	22
1.4.5.1	Definición.....	22
1.4.5.2	Reseña histórica. ....	22
1.4.5.3	Tipos de biodigestores. ....	23
1.4.5.4	Clasificación de los biodigestores.....	24
1.4.5.5	Modelos de biodigestores.....	25
1.4.5.6	Partes de un biodigestor. ....	28
1.4.6	Usos del biogás .....	28
1.4.6.1	Calefacción para porcinos .....	29
2	Materiales y Métodos .....	31
2.1	Condiciones geográficas y meteorológicas.....	31
2.2	Identificación del lugar de ensayo .....	31
2.2.1	Descripción de la granja.....	32
2.3	Materiales para el emplazamiento de un biodigestor de producción continua.....	33
2.3.1.1	Herramientas. ....	34

2.4	Métodos .....	35
2.4.1	Variables para la producción de biogás .....	35
2.4.1.1	Temperatura. ....	35
2.4.1.2	pH y alcalinidad. ....	35
2.4.1.3	Tiempo de retención.....	35
2.4.1.4	Concentración de carga orgánica. ....	36
2.4.1.5	Nutrientes .....	36
2.4.1.6	Relación C/N.....	36
2.4.1.7	Agentes promotores e inhibidores de la fermentación.....	37
2.4.2	Ubicación y acondicionamiento del área para el emplazamiento del biodigestor .....	37
2.4.3	Disponibilidad de materia orgánica (estiércol) .....	37
2.4.4	Carga del Biodigestor.....	39
2.4.5	Tiempo de Retención Hidráulica .....	39
2.4.6	Volumen del biodigestor .....	39
2.4.7	Producción de Biogás.....	40
2.4.8	Tamaño del biodigestor.....	40
2.4.9	Tamaño de la zanja .....	41
2.4.10	Diseño del sistema de calefacción para lechones.....	42
2.4.10.1	Dimensión y modelo del calefactor. ....	43
2.4.10.2	Emplazamiento del biodigestor y un sistema de calefacción. ....	44
2.4.10.3	Cubierta y mantenimiento del biodigestor. ....	46
2.4.11	Socialización .....	46
3	Resultados .....	47
3.1	Descripción de la zanja para emplazamiento del biodigestor.....	47
3.2	Pozos de revisión. ....	47
3.3	Producción diaria de estiércol por etapa fisiológica del cerdo .....	47

3.4	Calculo de la producción de estiércol porcino .....	48
3.5	Variables de análisis .....	48
3.6	Producción de biogás .....	49
3.7	Uso del biogás.....	50
3.8	Cuantificación del bioabono .....	50
3.8.1	Uso del bioabono .....	51
3.9	Sistema de calefacción.....	51
3.9.1	Temperatura en los cubículos para lechones.....	51
3.10	Socialización a los productores porcinos del cantón Piñas .....	52
4	Discusión.....	53
5	Conclusiones .....	54
5.1	Recomendaciones .....	54
6	Referencias .....	56
7	Anexos.....	61

## **Índice de Ilustraciones**

<b>Ilustración 1.</b> Proceso de la digestión anaerobia. ....	19
<b>Ilustración 2.</b> Biodigestor tipo chino. ....	25
<b>Ilustración 3.</b> Biodigestor tipo hindú. ....	26
<b>Ilustración 4.</b> Modelo de un biodigestor tubular. ....	27
<b>Ilustración 5.</b> Biodigestor Media bolsa ....	27
<b>Ilustración 6.</b> Partes de un biodigestor tubular. ....	28
<b>Ilustración 7.</b> Mapa de la Finca Mis Tres Marías. ....	33
<b>Ilustración 8:</b> Medidas de la zanja del biodigestor en mm. ....	42
<b>Ilustración 9.</b> Diagrama de flujo emplazamiento del biodigestor y sistema de calefacción. ....	44

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Equivalencias poder calorífico del biogás. ....	29
<b>Tabla 2.</b> Rango de temperatura optimo en alojamientos de maternidad.....	30
<b>Tabla 3.</b> Condiciones meteorológicas, Arenillas - El Oro .....	31
<b>Tabla 4.</b> Población de cerdos en el lugar de estudio .....	38
<b>Tabla 5.</b> Promedio del peso de los animales en la granja. ....	38
<b>Tabla 6.</b> Dimensiones de la zanja para el biodigestor.....	41
<b>Tabla 7.</b> Producción diaria de excretas por cerdo por etapa. ....	47
<b>Tabla 8.</b> Producción Diaria Total por etapa. ....	48
<b>Tabla 9.</b> Variables en la producción de biogás porcino. ....	49
<b>Tabla 10.</b> Producción de biogás y temperatura por periodos de 15 días. ....	49
<b>Tabla 11.</b> pH y Producción de Bioabono. ....	50
<b>Tabla 12.</b> Temperatura en los cubículos de lechones. ....	52

## Índice de Anexos

<b>Anexo 1.</b> Excavación de la zanja.....	61
<b>Anexo 2.</b> Zanja excavada con las medidas específicas. ....	61
<b>Anexo 3.</b> Pozo de revisión de entrada. ....	61
<b>Anexo 4.</b> Pozo de revisión de salida.....	61
<b>Anexo 5.</b> Colocación de codos en los pozos de revisión.....	62
<b>Anexo 6.</b> Colocación de la sección de tubo para las mangas del biodigestor. ...	62
<b>Anexo 7.</b> Distribución de aserrín en el fondo de la zanja.....	62
<b>Anexo 8.</b> Saquillos dispuestos en el fondo de la zanja.....	62
<b>Anexo 9.</b> Recubrimiento de la zanja con plástico. ....	63
<b>Anexo 10.</b> Colocación del biodigestor en la zanja. ....	63
<b>Anexo 11.</b> Refuerzo de las mangas del biodigestor con ligas en los tubos de pozos de revisión. ....	63
<b>Anexo 12.</b> Instalación de los accesorios para la salida del biogás. ....	63
<b>Anexo 13.</b> Manguera para la conducción del biogás producido.....	64
<b>Anexo 14.</b> Entrada de agua residual de los corrales porcinos, por medio del pozo de revisión, hacia el biodigestor. ....	64
<b>Anexo 15.</b> Biodigestor cargado, para inicio de sus operaciones. ....	64
<b>Anexo 16.</b> Canecas con cebador – promotor de la fermentación. ....	64
<b>Anexo 17.</b> Introducción del cebador en la primera carga del biodigestor. ....	65
<b>Anexo 18.</b> Proceso de generación de biogás. ....	65
<b>Anexo 19.</b> Biodigestor generando biogás.....	65
<b>Anexo 20.</b> Llave esférica para el control de la salida de biogás.....	65
<b>Anexo 21.</b> Manguera de politubo para transporte de biogás. ....	66
<b>Anexo 22.</b> Instalación del quemador para la calefacción de lechones. ....	66

<b>Anexo 23.</b> Conexión de la manguera polituvo al quemador. ....	66
<b>Anexo 24.</b> Quemador instalado en los cubículos de los lechones. ....	66
<b>Anexo 25.</b> Quemador encendido irradiando a lechones. ....	67
<b>Anexo 26.</b> Quemador en funcionamiento con biogás. ....	67
<b>Anexo 27.</b> Temperatura de los cubículos para lechones. ....	67
<b>Anexo 28.</b> Medición de pH en una muestra del pozo de revisión. ....	67
<b>Anexo 29:</b> Socialización a la comunidad .....	68
<b>Anexo 30 :</b> Socialización a la comunidad. ....	69
<b>Anexo 31 :</b> Entrega de trípticos en la socialización a la comunidad. ....	69
<b>Anexo 32 :</b> Registro de asistencia de la socialización a la comunidad. ....	70
<b>Anexo 33:</b> Registro de asistencia de la socialización a la comunidad. ....	71
<b>Anexo 34:</b> Registro de asistencia de la socialización a la comunidad. ....	72
<b>Anexo 35 :</b> Registro de asistencia de la socialización a la comunidad. ....	73
<b>Anexo 36 :</b> Registro de asistencia de la socialización a la comunidad. ....	74
<b>Anexo 37 :</b> Registro de asistencia de la socialización a la comunidad. ....	75
<b>Anexo 38 :</b> Esquema de los corrales porcinos, biodigestor y sistema de calefacción. ....	76

# **1 Introducción**

## **1.1 Antecedentes**

Los primeros estudios sobre la digestión anaerobia se remontan a 1804 – 1810 cuando Dalton, Henry y Davy establecieron la composición química del metano, años más tarde en 1884 Gayon fermentó el estiércol a una temperatura de 35 °C, de lo que obtuvo 100 litros de metano por Kg de estiércol. Ya en 1896 el gas proveniente de aguas residuales servía para iluminar calles en Exerte, Inglaterra, y en la India 1897, en el asilo Matinga Leper en Bombay el gas de los desechos humanos proporcionaba iluminación.

En el siglo XX, específicamente a finales de 1920 Buswell comienza con los estudios de la digestión anaerobia, explicando cuestiones como la producción de energía de los residuos agrícolas. Ya con conocimientos más afianzados sobre la digestión anaerobia, se empieza a profundizar en el estudio de bacterias metanogénicas y la importancia de los factores influyentes en esta reacción química. (Marchaim, 1992)

En Ecuador existe poca difusión de este tipo de tecnología, existen referencias a nivel principalmente de pregrado, de los cuales podemos mencionar los siguientes trabajos: Diseño y construcción de un biodigestor tipo campana flotante con la utilización de desechos porcinos para la finca “El Recuerdo” (Báez Cazares & Benítez Olives, 2015), Estudio de un sistema de energía renovable para la producción de biogás a partir de excretas de ganado porcino para disminuir el consumo de gas doméstico en la hacienda “El Márquez” de sector de Cunchibamba de la provincia de Tungurahua (Jara Salazar, 2011) y Valoración de estiércol bovino y porcino en la producción de biogás en un biodigestor de producción por etapas. (Durazno Coronel, 2018). Estos estudios han contribuido a la masificación de esta tecnología en el país, cuyo propósito principal es aprovechar los desechos orgánicos y evitar la contaminación ambiental.

## 1.2 Justificación

La constitución de la República del Ecuador establece como deberes primordiales del estado la promoción del desarrollo sustentable y la redistribución equitativa de los recursos y riqueza, así como proteger el patrimonio natural y cultural del país. El art 14, reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. El art. 15 expresa que el Estado promoverá en el sector público y privado el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. (Asamblea Constituyente, 2008)

El programa de las naciones unidas para el desarrollo propuso los Objetivos de Desarrollo Sostenible, como un llamado universal a la adopción de medidas para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que gocen de paz y prosperidad las personas, siendo así, que nuestro trabajo está relacionado con dos ODS; 1. Energía asequible y no contaminante, generando energía para aprovechamiento de la finca a partir de desechos orgánicos la convierte en energía limpia y 2. Producción y consumo responsables, la industria porcina es muy contaminante por sus desechos orgánicos provenientes de los animales, pero al realizar este tipo de tratamiento a los residuos generados en está. Estaríamos reduciendo la huella ecológica en esta industria. (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2018). La producción de desechos agropecuarios ocasiona problemas de índole sanitario, por el gran número de organismos patógenos presentes en mencionados residuos, y por la contaminación del agua y suelo. (Calza, Lima, Nogueira, Siqueira, & Santos, 2015) Además, que en los últimos años se ha enfocado la atención en el alto potencial de emisión de gases de efecto invernadero, provenientes de las lagunas de estabilización. (Orrico Júnior, Orrico, & Júnior, 2009). Este modelo de desarrollo está enfocado principalmente para pequeñas granjas de producción pecuaria, que mediante la implementación de los biodigestores generan su propia fuente de energía, para satisfacer sus necesidades energéticas y se permitan controlar un problema

ambiental en su producción, que es la generación de desechos agrícolas los cuales afectan a la comunidad asentada a los alrededores de la granja.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar y emplazar de un biodigestor para el aprovechamiento de biogás en la granja de explotación porcina “Mis Tres Marías” Arenillas-El Oro-Ecuador

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Calcular la carga diaria y dimensiones del biodigestor.
- Valorar y optimizar el proceso de digestión anaerobia.
- Proyectar un sistema de calefacción para el aprovechamiento del biogás.
- Fomentar este tipo de tecnología en zonas aledañas a la granja “Mis tres Marías”.

### **1.4 Fundamentos Teóricos**

#### **1.4.1 Principios para la obtención de biogás**

##### **Biodigestión anaerobia y producción biogás**

Proceso estrictamente microbiano, de tipo anaerobio, en donde la materia orgánica se transforma en biomasa y compuestos inorgánicos, la mayoría volátiles (Borzacconi, López , & Viñas, 1995). La biodigestión de estiércol animal tiene por objetivo convertir los desechos orgánicos en biogás y sustrato digerido llamado también bioabono (Holm-Nielsen, Al Seadi, & Oleskowicz-Popiel, 2009).

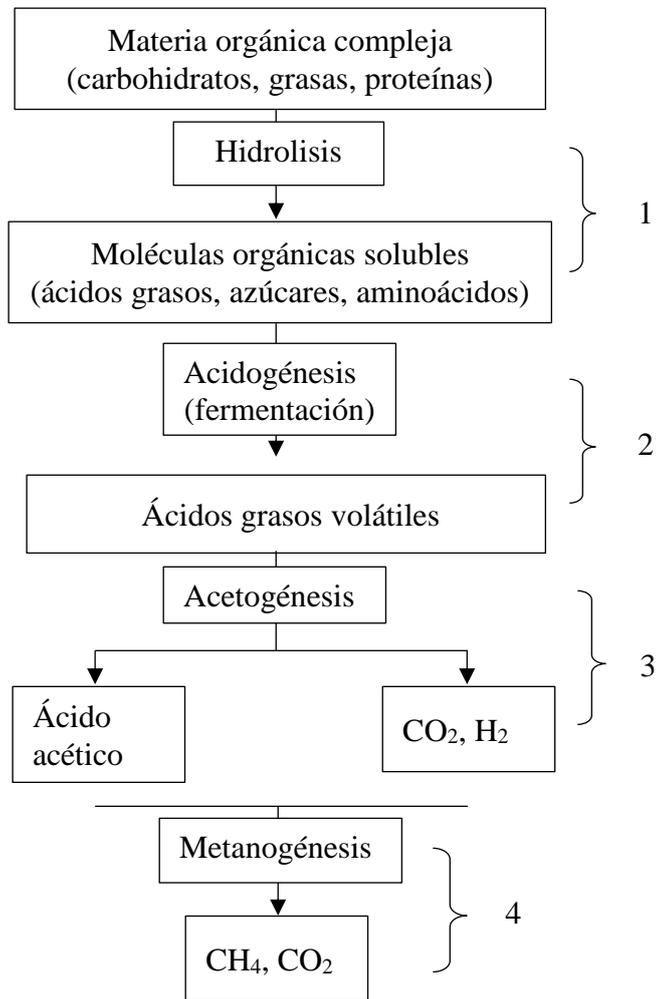
El biogás es una mezcla combustible  $\text{CH}_4$  -  $\text{CO}_2$  en grandes proporciones y trazas de otros gases ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ), que se produce por la degradación anaeróbica de la materia orgánica, es un combustible con buen poder calorífico, Para que haya presencia de metano en el biogás deben estar presentes bacterias metanogénicas, ya que se podría producir otros gases por la degradación anaeróbica (Abbasi, Tauseef, & Abbasi, 2012).

## **Digestión anaerobia**

Descomposición de compuestos orgánicos biodegradables complejos por medio de un procedimiento en cuatro etapas:

1. Las macromoléculas de grasas, proteínas y los polímeros de carbohidratos (celulosa, almidón) se dividen en monómeros solubles en agua (aminoácidos, azúcares). Esto lo provocan exoenzimas (hidrolasa) presentes en bacterias anaerobias facultativas y obligatorias.
2. Los productos anteriores se fermentan durante la **acidogénesis** formando ácidos grasos volátiles de cadena corta, como son; ácido propiónico, valérico, butírico y láctico.
3. En la **acetogénesis** los microorganismos homoacetogénicos consumen estos productos de fermentación y producen ácido acético, hidrogeno y dióxido de carbono.
4. Los organismos metanogénicos anaeróbicos, consumen hidrógeno, acetato y dióxido de carbono, produciendo metano (Abbasi, Tauseef, & Abbasi, 2012).

**Ilustración 1.** Proceso de la digestión anaerobia.



*Las etapas de la digestión anaerobia: 1 etapa hidrolítica, 2 etapa acidogénica, 3 etapa acetogénica y 4 etapa metanogénica. Modificado por el autor **Fuente:** (Abbasi, Tauseef, & Abbasi, 2012)*

### **Etapas de la digestión anaerobia**

En la digestión anaerobia se presentan 3 fases: hidrolisis, acidogénesis y metanogénesis, de las cuales se derivan cuatro etapas (Castells, 2005), que describimos a continuación:

Hidrolisis: Los compuestos orgánicos complejos, como proteínas, lípidos e hidratos de carbono, son degradados, por la labor de enzimas hidrolíticas, en elementos fácilmente degradables y solubles como ácidos grasos de cadena larga, alcoholes, azúcares y aminoácidos.

Se trata de un proceso enzimático extracelular, las bacterias responsables del proceso son las bacterias hidrolítico-acidogénicas.

Acidogénesis: Los elementos derivados de la etapa anterior se transforman en ácidos grasos de cadena corta, como ácidos valérico, acético, butírico y propiónico. Algunas especies de las bacterias acidogénicas que intervienen en la etapa son *Propionibacterium*, *Butyrivibrio*, *Ruminococos*, *Bifidobacterium*, *Clostridium*, *Enterobacterias*, *Lactobacillus* y *Streptococos*.

Acetogénesis: Los elementos intermedios son transformados por bacterias acetogénicas. Como productos principales obtenemos hidrógeno, dióxido de carbono y ácido acético. El metabolismo acetogénico depende mucho de la concentración de estos productos. En el grupo de estas bacterias se incluyen las homoacetogénicas, capaces de producir ácido acético a partir de dióxido de carbono e hidrógeno, pertenecientes a los géneros *Acetobacterium*, *Clostridium*, *Acetogeniu*, *Eubacterium* y *Acetianaerobium*.

Metanogénesis: Es la etapa final del proceso, en la que los elementos como el dióxido de carbono, ácido acético e hidrógeno son transformados a CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>. Se pueden diferenciar dos tipos de organismos, los que descomponen el ácido acético (bacterias metanogénicas acetoclásticas) y los que consumen hidrógeno (metanogénicas hidrogenófilas). Las primeras bacterias nombradas son la principal vía para producir metano en forma general con alrededor del 70%. Los microorganismos solo de los géneros *Methanosarcuna* y *Methanothrix* son capaces de producir metano a partir de ácido acético, otros organismos metanogénicos son *Methanococos*, *Methanogenium*, *Metganobrevibacter* o *Methanobacterium*

#### **1.4.2 Bacterias metanogénicas**

Grupo exclusivo de arqueas anaerobias estrictas y activas a potenciales redox entre 350 y 450 mV<sup>1</sup>; pueden utilizar el dióxido de carbono como aceptor de electrones, reducen el CO<sub>2</sub>

---

<sup>1</sup> Potencial de Oxidación y Reducción.

utilizando el hidrogeno molecular producido en el proceso de la fermentación, dado que utilizan el CO<sub>2</sub> como única fuente de carbono. (Atlas & Bartha, 2002). Algunas bacterias metanogénicas, como *Methanosarcina barkeri*, pueden metabolizar metanol, acetato y metilaminas, produciendo metano y CO<sub>2</sub>. Estas bacterias dependen de los productos de fermentación de otros microorganismos, que les sirven de sustrato (Atlas & Bartha, 2002).

### **1.4.3 Productos de la digestión anaerobia**

El resultado del proceso de digestión anaerobia es el biogás y bioabono.

Biogás: Producto principal de la digestión anaerobia, es una mezcla gaseosa de metano (50 a 70%) y dióxido de carbono (30 a 50%), con porciones pequeñas de otros componentes como (nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno), composición dependiente de la materia prima y el proceso en sí. El volumen de gas producido es muy variable, aunque puede oscilar alrededor de los 350 l/kg de sólidos degradables. A este producto se lo puede utilizar como fuente de calor para cocina o alumbrado, combustión en calderas de vapor y como combustible de motores generadores de electricidad (Lorenzo Acosta & Obaya Abreu, 2005).

Bioabono o Efluente: Producto resultante de la digestión anaerobia y se lo puede catalogar como la mezcla del influente estabilizado y la biomasa microbiana producida para un mismo residuo, los parámetros de operación empleados y el tipo de reactor determinan la calidad del lodo digerido en lo que respecta al nivel de contaminación y de organismos patógenos. Como se conoce, durante el procedimiento de la digestión anaerobia parte de la materia orgánica se transforma en metano, por lo que el contenido en materia orgánica es menor que en el influente (Martí Ortega, 2006).

### **1.4.4 Estiércol porcino**

Depende del tipo de alimentación de los animales, el organismo del animal almacena los nutrientes necesarios para las funciones fisiológicas; y los elementos de la digestión no

utilizados se expulsan como heces. (Dominguez Araujo, Galindo Barboza, Salazar Gutiérrez, Barrera Camacho, & Sanchez Garcia, 2014). Los cerdos consumen alimentos con elevado factor proteico, pero son ineficientes transformadores de alimentos y desperdician gran porcentaje de proteínas y micronutrientes disponibles en los granos. (Paiva Periche, 2016) El estiércol natural es una mezcla de excretas sólidas, compuesta por solidos totales y solidos volátiles (Ferre, Gamiz, Almeida, & Ruiz, 2009), lo cual es una característica muy importante para la generación de biogás mediante la digestión anaerobia.

#### **1.4.5 Biodigestores**

##### **1.4.5.1 Definición**

Contenedor hermético generalmente de plástico o de concreto al cual entra una mezcla estiércol-agua. Los microorganismos anaerobios que habitan en el estiércol descomponen la materia orgánica, resultando una mezcla de gases, llamado biogás, rico en metano; y bioabono que se le llama al efluente degradado. (Barichello, Hoffmann, Da Silva, Deimling , & Filho, 2015)

##### **1.4.5.2 Reseña histórica.**

En el año de 1890 se construye el primer biodigestor a escala real en la India y ya en 1896 en Exeter Inglaterra, las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad (Ramón, Romero , & Simanca).

La difusión de los biodigestores a nivel rural comienza en la segunda guerra mundial. China e India se convierten en países de referencia. La difusión se ve interrumpida por el fácil acceso a los combustibles fósiles y en la crisis energética de la década de los 70 se reinicia con gran ímpetu la investigación y extensión en todo el mundo incluyendo la mayoría de los países latinoamericanos. Los últimos 20 años han sido fructíferos en cuanto a descubrimientos sobre

el funcionamiento del proceso microbiológico y bioquímico. Estos progresos en la comprensión del proceso han estado acompañados por importantes logros de la investigación aplicada, obteniéndose grandes avances en el campo tecnológico (Calza, Lima, Nogueira, Siqueira, & Santos, 2015).

#### **1.4.5.3 Tipos de biodigestores.**

Dependiendo el modo de contacto entre sustrato a digerir y los microorganismos dentro del biodigestor, se detallan dos tipos de biodigestores

- a. Digestor de mezcla completa: Se los denomina así porque el sustrato a ser degradado y los microorganismos que lo degradan, componen una sola unidad. (Guevara Vera, 1996)
- b. Reactores de filtro anaerobio: Estas unidades se basan en la tendencia que tienen algunos microorganismos, especialmente las bacterias metanogénicas en adherirse a superficies sólidas.

Dependiendo su régimen de carga, se tiene los siguientes tipos:

- a. Biodigestores batch.- Las cargas se las puede realizar de una sola vez o por intervalos, la descarga se la realiza después de que se haya dejado de producir biogás en el reactor. Estos biodigestores son adecuados para cuando la materia orgánica es disponible en forma discontinua. (Barichello, Hoffmann, Da Silva, Deimling , & Filho, 2015)
- b. Biodigestores semicontinuos.- Esto biodigestores los utilizan más en la agricultura, se cargan por acción de la gravedad una sola vez al día. Produciendo una cantidad frecuente de biogás al día. Ejemplo biodigestores tipo chino o tipo hindú. (Ramón, Romero , & Simanca)
- c. Biodigestores continuos.- Son apropiados para tratar grandes volúmenes de materia orgánica y aguas residuales. Algunas veces requieren sistemas eléctricos para el ingreso de la materia orgánica y un control permanente. Por lo antes expuestos son costosos y

necesitan un mantenimiento para su adecuado funcionamiento. (An, Rodríguez, Sarwatt, Preston, & Dolberg, 1996)

- d. Biodigestores combinados.- Son unidades donde se pueden combinar los regímenes batch o continuos. Sus tiempos de retención varían de 10 a 30 días. Son recomendados para residuos con altas concentraciones de sólidos totales, con el objetivo de lograr un mayor contacto entre la materia orgánica y la biomasa microbiana. (Ramón, Romero , & Simanca)
- e. Biodigestores de dos etapas.- Este tipo de biodigestores demandan de distintas condiciones de pH y un tiempo de retención establecido, para el crecimiento de los distintos tipos de bacterias que actúan dentro del reactor. El biodigestor cuenta con dos recamaras para la digestión anaerobia. En la primera recamara se produce la etapa de hidrólisis y la acidogénesis, y en la segunda recamara ocurre la acetogénesis y metanogénesis del material acidificado en la recamara anterior. (Ramón, Romero , & Simanca)

#### **1.4.5.4 Clasificación de los biodigestores.**

Los biodigestores por su estructura y forma pueden clasificarse en:

- a. Según el almacenamiento del gas:
  - Cúpula fija.
  - Cúpula móvil
  - Con depósito flotante, o de presión constante
  - Con gasómetro de Caucho o material plástico en forma de bolsa.
- b. Según su forma geométrica:
  - Cámara esférica
  - Cámara vertical cilíndrica
  - Cámara rectangular
  - Cámara ovalada
  - Cámara cuadrada

c. Por los materiales de construcción:

- Ladrillo
- Mampostería
- Hormigón
- Hormigón armado
- Plástico

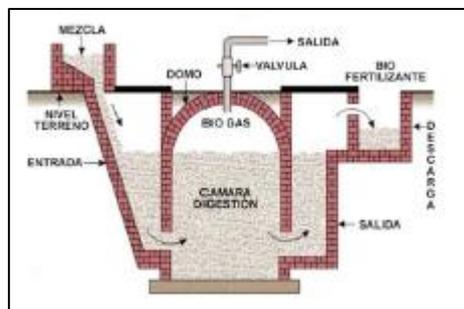
d. Según su posición respecto a la superficie terrestre:

- Subterráneos
- Semienterrados
- Superficiales

#### 1.4.5.5 Modelos de biodigestores

- a. Modelo chino: Es el modelo de biodigestor más popular en el mundo, consiste de una base enterrada de ladrillo u hormigón y una cúpula fija de hormigón. Es del tipo batch y mezcla debido a las dos cargas diferentes que se le pueden hacer. Cuando empieza a generar biogás este se mueve a la cúpula desplazando el bioabono a un tanque. Tiene una duración mínima de 20 años. (Groppelli, 2012)

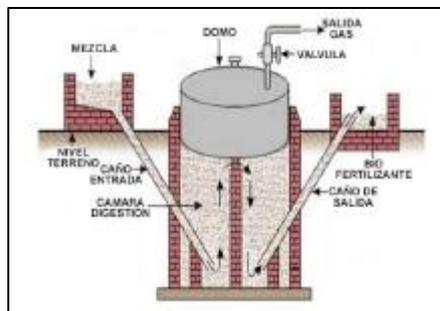
*Ilustración 2. Biodigestor tipo chino.*



*Fuente: (Ramón, Romero , & Simanca).*

- b. Modelo hindú: Su forma puede ser cilíndrica o de un domo, hecho de hormigón o ladrillo y en la parte superior una cúpula flotante que se desplaza en forma vertical, al producirse biogás el desplazamiento es hacia arriba y si se consume el biogás el desplazamiento es hacia abajo. La cúpula puede ser de acero, pero en los últimos años han fabricado cúpulas de plástico reforzado con fibra de vidrio. Su carga es diaria, una operación es fácil y con un tiempo de vida útil de aproximadamente 15 años. (Groppelli, 2012)

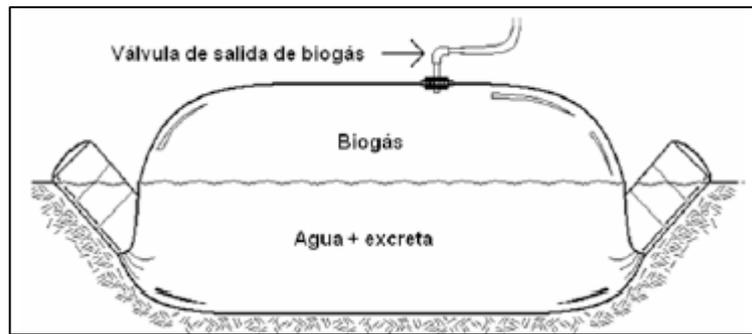
**Ilustración 3.**Biodigestor tipo hindú



**Fuente:** (Ramón, Romero , & Simanca)

- c. Modelo Taiwán o tubular: Es un biodigestor de material sintético como geomembrana o polietileno de forma tubular horizontal y semienterrado. La mezcla estiércol-agua entra por un extremo del biodigestor desplazándose horizontalmente hasta el otro extremo de salida del bioabono, el gas sube verticalmente y se almacena en la misma unidad para su consumo. Su operación es sencilla y tiene un bajo costo. La vida útil de la unidad depende del material de fabricación en el caso de plástico es de 5 años y geomembrana es de 10 años. (Groppelli, 2012)

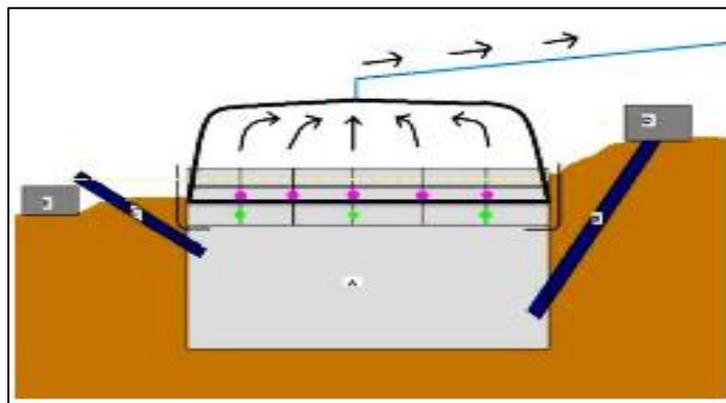
**Ilustración 4.** Modelo de un biodigestor tubular.



**Fuente:** (An, Rodríguez, Sarwatt, Preston, & Dolberg, 1996)

- d. Modelo Media Bolsa: Este modelo es muy parecido al modelo anterior, ya que su funcionamiento es el mismo. La diferencia radica en su estructura, se compone de un tanque o zanja de concreto cubierto por una bolsa de plástico.

**Ilustración 5.** Biodigestor Media bolsa



**Fuente:** (Forget, 2011)

#### 1.4.5.6 Partes de un biodigestor.

Un biodigestor principalmente está formado por un contenedor hermético donde se realiza el proceso de digestión anaeróbica, manga de entrada, manga de salida, tuberías, válvulas y reservorio. (Barichello, Hoffmann, Da Silva, Deimling , & Filho, 2015)

**Ilustración 6.** Partes de un biodigestor tubular.



**Elaboración:** Autor

#### 1.4.6 Usos del biogás

El biogás puede ser usado en el hogar, utilizándolo principalmente en la cocción de alimentos ahorrando dinero al no comprar cilindros de GLP doméstico, el biogás podría utilizarse hasta 12 horas diarias para proveer a una familia de 5 a 8 miembros. También se lo podría utilizar en la producción de energía eléctrica ahorrando en el consumo de energía eléctrica de la red estatal. (Beteta Herrera & González Sobalvarro, 2005)

Otra aplicación del biogás puede ser en la unidad de producción para calefacción de crías recién nacidas de aves y cerdos, de esta manera se ahorraría combustibles fósiles o energía eléctrica empleados para la calefacción de animales, aquí también se puede realizar el secado de café, cacao o maíz. (Beteta Herrera & González Sobalvarro, 2005)

La tabla 1, muestra las equivalencias del poder calorífico del biogás, tomando como base de 1 m<sup>3</sup>.

**Tabla 1.** Equivalencias poder calorífico del biogás.

---

1 m <sup>3</sup> de biogás (aproximadamente 6 kWh/m <sup>3</sup> ) equivale a:
0.5 kg de queroseno o diésel (aproximadamente 12 kWh/Kg)
1.3 kg de madera (aproximadamente 4.5 kWh/Kg)
1.2 kg de estiércol de vaca (aproximadamente 5 kWh/Kg)
1.3 kg de residuos vegetales (aproximadamente 4.5 kWh/Kg)
0.7 kg de carbón (aproximadamente 8.5 kWh/Kg)
1.1 m <sup>3</sup> de gas natural (aproximadamente 5.3 kWh/Kg)
0.24 m <sup>3</sup> de propano (aproximadamente 25 kWh/Kg)

---

*Fuente: (Botero Botero & Preston, 1987)*

#### **1.4.6.1 Calefacción para porcinos**

En la explotación porcina los costos por calefacción para lechones están considerados como uno de los más altos. Una opción viable para la reducción de gastos es la utilización de biogás como combustible. (Guerrero Vargas, Pérez Albuerne, Botero Botero, & Cerrato, 2014) La calefacción en instalaciones porcinas es de mucha importancia ya que permite mantener por medio de quemadores que irradian calor hacia los cubículos porcinos una temperatura adecuada para los lechones.

Se define como la zona de confort térmico al rango de temperaturas entre 35 a 37 °C., el cual garantiza un crecimiento máximo del animal durante las tres primeras semanas de vida. Por debajo de este rango de temperatura, el lechón consume alimento sin poderlo convertir adecuadamente en incremento de peso, ya que lo destina a suplir la falta de temperatura combatiendo el frío, y por encima del rango sucede lo contrario al proceso anteriormente dicho. (Paiva Periche, 2016)

**Tabla 2.** *Rango de temperatura optimo en alojamientos de maternidad*

<b>Rango de temperatura optimo en alojamientos de maternidad</b>	
	Zona de confort térmico (°C)
<b>Nacimiento</b>	35-37
<b>Destete</b>	26-28

**Fuente:** (Paiva Periche, 2016).

## CAPITULO II

### 2 Materiales y Métodos

#### 2.1 Condiciones geográficas y meteorológicas

El Cantón Arenillas tiene una población de 26844 habitantes y una superficie de 808.27 Km<sup>2</sup>. (INEC, 2018). Cuenta con un clima tropical, la temperatura oscila entre 20 – 33 °C y la precipitación entre 0 – 80 mm/mes, la humedad relativa entre el 72 y 79%. (INAMHI, 2017).

**Tabla 3.** Condiciones meteorológicas, Arenillas - El Oro

<b>CONDICIONES METEOROLOGICAS</b>	
<b>Temperatura (°C)</b>	20 – 33
<b>Humedad Relativa (%)</b>	72 – 79
<b>Precipitación (mm/mes)</b>	0 – 80

*Fuente: (INAMHI, 2017)*

#### 2.2 Identificación del lugar de ensayo

La granja de explotación porcina se encuentra en la provincia de El Oro al sur – este del cantón Arenillas, parroquia Arenillas con coordenadas (618168 X, 9594850 Y) aproximadamente a 219 m.s.n.m. en la cordillera Dumarí – Tahuín. La granja inició su producción en el 2016 y en la actualidad se dedican a la producción de lechones destetados y cerdos de engorde, dos obreros se encargan del mantenimiento de la explotación porcina (alimentación, aseo, vacunación y asistir en los partos).

**Imagen 1.** Ubicación de la granja porcina "Mis Tres Marías"



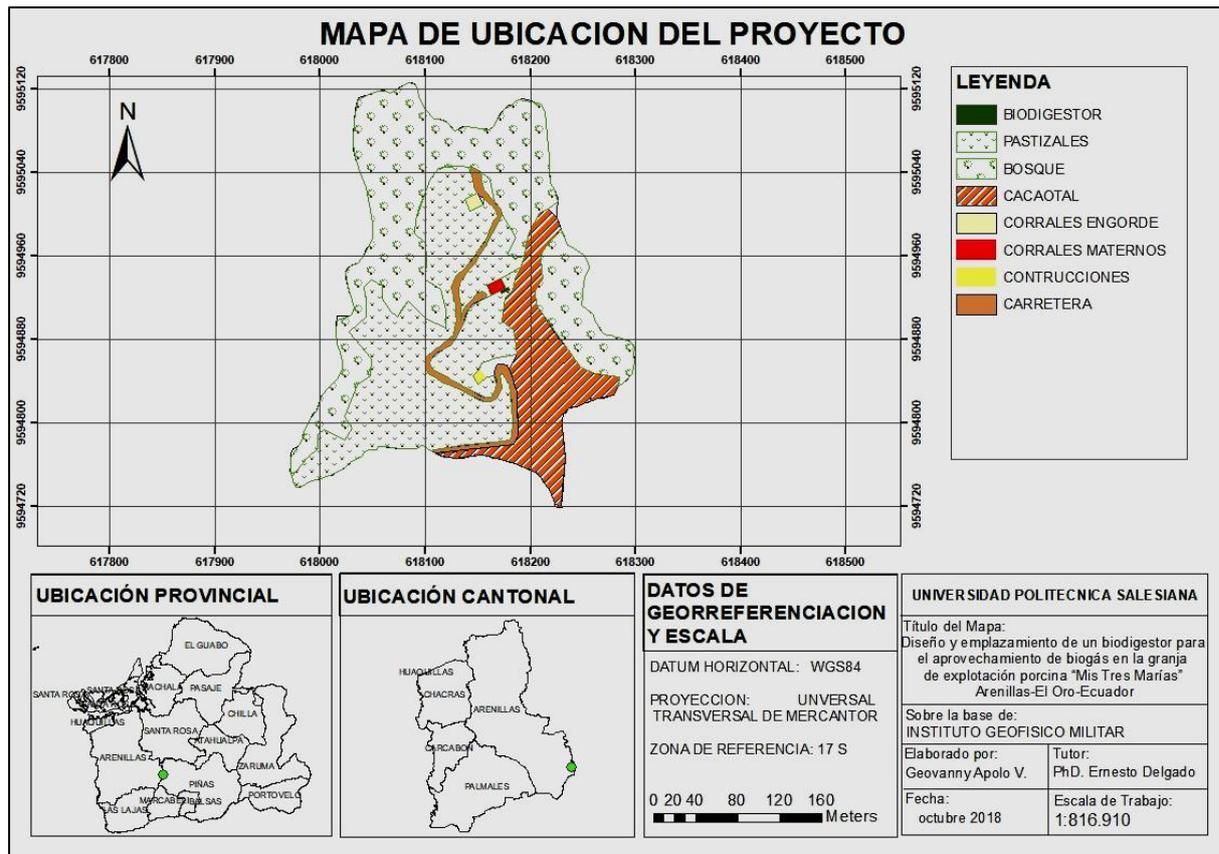
*Fuente: Google Earth, 2018*

### **2.2.1 Descripción de la granja.**

Se cuenta con un área de 8 ha. de terreno, en donde se encuentran pastizales, sembríos de cacao y bosques secundarios, 583 m<sup>2</sup> se ocupan en la producción porcina, en el lugar se encuentran corrales para hembras, sementales, lechones y corrales para los cerdos de engorde, se cuenta con abastecimiento de agua no potable que se toma desde las vertientes naturales, se cuenta con abastecimiento de energía eléctrica por medio de red estatal y vías de acceso de tercer orden.

La explotación porcina cuenta con un total de 101 cerdos (25 hembras de parto, un semental, 30 lechones de 0 a 6 semanas y 45 lechones destetados de 6 a 16 semanas).

**Ilustración 7. Mapa de la Finca Mis Tres Marías**



**Fuente:** Autor

### 2.3 Materiales para el emplazamiento de un biodigestor de producción continua

- ✓ Bolsa plástica de PERMAX PVC, de 1000 mc de grosor y dimensiones (8m de largo y 2,2 de diámetro.
- ✓ Un calefactor de latón con 25 cm de ancho, 80 cm de largo y 20 cm de alto
- ✓ Tubo de PVC de 4" (2m)
- ✓ Manguera de ¾" (25m)
- ✓ 2 codos de acero de ½"
- ✓ 2 codos de PVC - 45° de 4"
- ✓ 2 neplos perdidos de PVC de ½"
- ✓ 2 neplos de acero de ½"
- ✓ 1 neplo hembra de acero de ½"

- ✓ 2 nepllos de PVC de ¾"
- ✓ 2 nepllos de PVC de ½"
- ✓ 1 llave de paso de PVC de ½"
- ✓ 1 llave de paso de acero de ½"
- ✓ Plástico para recubierta de la zanja (32 m<sup>2</sup>)
- ✓ Plástico para techo (48 m<sup>2</sup>)
- ✓ 2 baldes de 5 galones
- ✓ Cinta de teflón
- ✓ Ligas (tubos viejos de llantas para carros)
- ✓ ½ lb. De alambre galvanizado
- ✓ 40 bloques macizos de 7 cm.
- ✓ 2 sacos de cemento
- ✓ 1 m<sup>3</sup> de arena fina

#### **2.3.1.1 Herramientas.**

- ✓ Cierra para tubería
- ✓ Tijeras para plástico
- ✓ Pala
- ✓ Barreta
- ✓ SERRUCHO
- ✓ Martillo
- ✓ Alicata
- ✓ Cinta métrica
- ✓ Nivel
- ✓ Cintas medidoras de pH.
- ✓ Un termómetro ambiental

## **2.4 Métodos**

### **2.4.1 Variables para la producción de biogás**

#### **2.4.1.1 Temperatura.**

En el proceso de digestión anaerobia para que haya un adecuado desarrollo de los microorganismos existen tres intervalos de temperatura.

- Psicrófilo .- con rangos de temperatura de 18 a 25 °C
- Mesófilo .- con rangos de temperatura de 25 a 45 °C
- Termófilo .- con rangos de temperatura de 45 a 60 °C

Con temperatura entre 30 y 38 °C. se obtienen los mejores rendimientos del biodigestor, considerando la eficiencia energética superior a los otros intervalos de temperatura (Flotats, Campos, Palatsi, & Bonmatí, 2001), específicamente para nuestro proyecto se estará trabajando con temperaturas comprendidas entre 26 y 32 °C (INAMHI, 2017), ideal para un mayor rendimiento energético de nuestro biodigestor.

#### **2.4.1.2 pH y alcalinidad.**

Las bacterias responsables del mecanismo de producción de biogás son altamente sensibles a cambios en el pH, por lo tanto al interior del biodigestor el pH debe mantenerse entre 6.5 y 8.5, siendo posible que por debajo de 6.0 y por encima de 8.5 el proceso de digestión anaerobia se detenga (San Miguel & Gutiérrez Martín , 2015), realizando mediciones con papel indicador de pH en el pozo de revisión de entrada al biodigestor obtenemos un valor promedio de 7.5.

#### **2.4.1.3 Tiempo de retención.**

Promedio de tiempo en que la materia orgánica es degradada por microorganismos al interior de un sistema anaerobio (biodigestor) que se relaciona directamente con la temperatura

ambiente, volumen del biodigestor y tiempo de retención (Oyala Arboleda & Gonzáles Salcedo , 2009), para nuestro caso de estudio, el tiempo de retención fue de 15 días.

#### **2.4.1.4 Concentración de carga orgánica.**

La concentración de carga orgánica dentro del biodigestor debe estar entre 8 y 10% (Chávez Jácome & Velasco Olave, 2012) debido a que esta es un factor importante a considerar para el diseño del biodigestor, pues no debe sobrepasar los límites permitidos para el tipo de biodigestor que se está diseñando, si se excede estos valores podría fracasar el proceso de digestión, al ser incapaz el biodigestor de dirigir la materia orgánica. (San Miguel & Gutiérrez Martín , 2015).

#### **2.4.1.5 Nutrientes**

Para el proceso de digestión anaerobia los principales elementos a considerar son: Ni, Mb, B, Zn, Fe, Co, Se, W y Mn. Estos microelementos son uno de los aspectos más relevantes de la digestión anaerobia, debido a que, si un biodigestor tiene un bajo rendimiento sin ninguna causa, se deberá comprobar la disponibilidad de microelementos en el biodigestor, ya que se puede presentar una quelación o precipitación de los microelementos, impidiendo que estos sean aprovechados por los microorganismos presentes en el biodigestor. (San Miguel & Gutiérrez Martín , 2015)

#### **2.4.1.6 Relación C/N**

La adecuada relación C/N del sustrato que ingresa al biodigestor es de mucha importancia para el adecuado desarrollo de los microorganismos que intervienen en su proceso de degradación. Para los organismos presentes en las primeras fases de la degradación la relación C/N va desde los 10 a 45, mientras que microorganismos presentes en la metanogénesis son más exigentes en la demanda, y se desarrollan en valores entre 20 y 30. (Oyala Arboleda & Gonzáles Salcedo , 2009)

#### **2.4.1.7 Agentes promotores e inhibidores de la fermentación.**

Se conoce como agentes promotores a los materiales o elementos que pueden fomentar la degradación del sustrato y a su vez aumentar la producción de biogás, pudiendo ser: sales inorgánicas, enzimas, urea y carbonato de calcio. (Chávez Jácome & Velasco Olave, 2012)

Mientras los inhibidores son elementos que van a afectar la actividad de los microorganismos, como la concentración de ácidos volátiles, amoníaco libre y metales pesados. (Flotats, Campos, Palatsi, & Bonmatí, 2001)

#### **2.4.2 Ubicación y acondicionamiento del área para el emplazamiento del biodigestor**

Es recomendable el emplazamiento en un área muy cercana a la explotación porcina, la idea es facilitar la carga del biodigestor a través de un sistema de tuberías. (Rodríguez & Preston, 2018).

Las dimensiones de la zanja donde se emplazará el biodigestor dependerán del tamaño del biodigestor (capacidad). Se debe considerar que las paredes deberán soportar la presión del biodigestor, la cúpula del biodigestor deberá estar por encima del nivel de la zanja ocupando en 25% del volumen total del biodigestor. (Martí Herrero, 2008)

#### **2.4.3 Disponibilidad de materia orgánica (estiércol)**

A partir de la población de cerdos se calculará la disponibilidad de estiércol y el tamaño del biodigestor (Dominguez Araujo, Galindo Barboza, Salazar Gutiérrez, Barrera Camacho, & Sanchez Garcia, 2014)

**Tabla 4.** Población de cerdos en el lugar de estudio

<b>ETAPA</b>	<b>TIPO DE CERDO</b>	<b>POBLACION</b>
<b>Reproducción</b>	Hembras Lactantes	5
	Hembras Gestantes	5
	Hembras Secas	15
	Sementales	1
	Lechones	30
<b>Cría</b>	Destete	45
<b>Total Población Porcina</b>		<b>101</b>

Fuente: (SEMARNET - SEGARPA - FIRCO, 2010)

Luego se deben de considerar los pesos promedio de los cerdos para cada etapa fisiológica (SEMARNET - SEGARPA - FIRCO, 2010), desarrollando la siguiente tabla.

**Tabla 5.** Promedio del peso de los animales en la granja.

<b>Etapa</b>	<b>Tipo de Cerdo</b>	<b>Población</b>	<b>Peso promedio (Kg)</b>
<b>Reproducción</b>	Hembras Lactantes	5	191
	Hembras Gestantes	5	182
	Hembras Secas	15	150
	Sementales	1	163
	Lechones	30	2.7
<b>Cría</b>	Destete	45	14.6
<b>Total Población Porcina</b>		101	

Fuente: (SEMARNET - SEGARPA - FIRCO, 2010)

A partir de la población porcina, se hicieron los cálculos para determinar el volumen de estiércol porcino diario-día (SEMARNET - SEGARPA - FIRCO, 2010).

#### **Cálculos de excretas:**

$$PEe = PAE * TDE \text{ (ecuación 1)}$$

*PEe*: Producción diaria de excretas (Kg/ día-animal)

*PAE*: Peso del animal (Kg/animal)

*TDE*: Tasa diaria de excretas (%)

$$PDT = PE * PAT \text{ (ecuación 2)}$$

*PDT*: Producción total de excretas (Kg/día)

*PE*: Producción de excretas por etapa (Kg/día-animal)

*PAT*: Número de animales por etapa.

Con los valores de PDT, se realiza la sumatoria de producción total de excretas por etapa.

$$PTU = \sum PDT \text{ (ecuación 3)}$$

#### **2.4.4 Carga del Biodigestor**

La carga diaria, relación 1:4 (estiércol-agua) garantizará el flujo hacia el biodigestor, y una biodegradación adecuada (Martí Herrero, 2008). Para hacer el cálculo de la carga diaria, se multiplica el volumen de excretas por 4, valor que es determinado por la relación solido-agua.

$$CD = (PT * 4) + PT$$

$$CD = (289.73 * 4) + 289.73$$

$$CD = 1448.65 \text{ l} \approx 1.44 \text{ m}^3$$

#### **2.4.5 Tiempo de Retención Hidráulica**

Para este parámetro consideramos directamente la temperatura de la zona, al ser un clima cálido consideramos un tiempo de retención de 15 días (Forget, 2011), tiempo adecuado para temperaturas promedio 30 °C.

#### **2.4.6 Volumen del biodigestor**

Una vez determinado el TRH, se procede con este valor a calcular el volumen del biodigestor:

$$V_L = 1.44 \text{ m}^3 * 15 \text{ días}$$

$$V_L = 21.6 \text{ m}^3$$

Por volumen del biodigestor entendemos la parte líquida y gaseosa del mismo, normalmente se da en un espacio del 75% del volumen total a la fase líquida, y del 25% restante a la fase gaseosa. (Martí Herrero, 2008)

$$V_G = V_T * 0.25$$

$$V_G = (V_L + 21.6) * 0.25$$

$$V_G = 0.25 V_G + 5.4$$

$$V_G - 0.25 V_G = 5.4$$

$$0.75 V_G = 5.4$$

$$V_G = 5.4/0.75$$

$$V_G = 7.2 \text{ m}^3$$

El volumen total es de:

$$V_T = V_L + V_G$$

$$V_T = 21.6 + 7.2$$

$$V_T = 28.8 \text{ m}^3$$

#### 2.4.7 Producción de Biogás

Según (Varnero Moreno, 2011) para estimar la producción de biogás se utiliza una cantidad promedio de generación estrictamente para estiércol porcino, que es 0.06 m<sup>3</sup>/kg.

Para el cálculo de la producción de biogás en nuestro trabajo debemos multiplicar la cantidad de excretas producidas por día, por el volumen de biogás generado y dividirlo para la disponibilidad, así tenemos la ecuación siguiente:

$$\text{producción biogás} = \text{Excretas producidas} \times \frac{\text{volumen de biogás}}{\text{disponibilidad}}$$

$$\text{producción biogás} = 289.73 \text{ Kg} \times \frac{0.06 \text{ m}^3}{2.25 \text{ kg}}$$

$$\text{producción biogás} = 7.72 \text{ m}^3$$

#### 2.4.8 Tamaño del biodigestor

El biodigestor es un tubo plástico con una entrada y una salida, el volumen total de este tubo equivale al volumen de un cilindro (m<sup>3</sup>) que se calcula multiplicando pi \* r<sup>2</sup> \* L.

Se procede a obtener la sección eficaz (pi \* r<sup>2</sup>) para el radio de nuestro biodigestor, luego con estos valores, estimamos la longitud que se necesita para alcanzar el volumen total

deseado. Con el volumen total del biodigestor ya conocido y calculando la sección eficaz para nuestro radio, podremos con estos datos aplicar la siguiente formula  $L = \frac{V_T}{(\pi \times r^2)}$  (ecuación 1),

con la cual obtendremos nuestra longitud del biodigestor. (Martí Herrero, 2008)

El radio de nuestro biodigestor será de 1,1 m, con lo cual el diámetro sería de 2,2 m, se ocupa este radio para que la longitud de nuestro biodigestor no sea muy elevada, teniendo estos datos precedemos a utilizar la ecuación 2, para calcula la longitud.

$$L = \frac{V_T}{(\pi \times r^2)}$$

$$L = \frac{28.8 \text{ m}^3}{(3.1415 \times 1.1^2) \text{ m}^2}$$

$$L = \frac{28.8 \text{ m}^3}{3.80 \text{ m}^2} = 7.57 \text{ m} \approx \mathbf{8 \text{ m}}$$

#### 2.4.9 Tamaño de la zanja

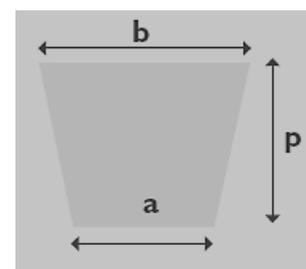
El tamaño de la zanja dependerá del tamaño del biodigestor (longitud y diámetro). Se pueden considerar las siguientes referencias:

**Tabla 6.** Dimensiones de la zanja para el biodigestor

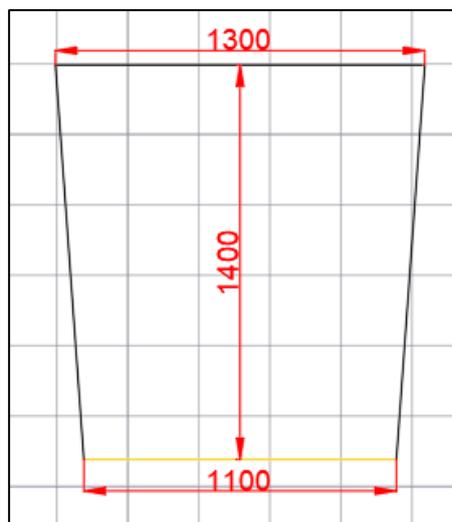
<b>Dimensiones para la zanja según su Diámetro (d)</b>					
<b>d (m)</b>	1.28	1.43	1.59	1.75	<b>2</b>
<b>a (m)</b>	0.7	0.8	0.9	1.0	<b>1.1</b>
<b>b (m)</b>	0.9	1.0	1.1	1.2	<b>1.3</b>
<b>p (m)</b>	1.0	1.1	1.2	1.3	<b>1.4</b>

**Fuente:** (Martí Herrero, 2008)

Teniendo como referencia los valores antes descritos, y con un diámetro de nuestro biodigestor cercano a 2 m. se utiliza las medidas recomendadas para dicho valor. Teniendo las siguientes medidas para nuestra zanja en la ilustración:



**Ilustración 8:** Medidas de la zanja del biodigestor en mm.



**Elaboración:** Autor

#### **2.4.10 Diseño del sistema de calefacción para lechones**

Los calentadores infrarrojos son sistema adecuado para la calefacción de granjas porcinas, teniendo en cuenta los siguientes factores amplia gama de radiadores, larga duración, funcionamiento perfecto, mantenimiento sencillo alta capacidad de ajuste de la potencia y bajo consumo de gas, haciendo que el radiador infrarrojo o campana sea el dispositivo más avanzado del mercado (Paiva Periche, 2016).

Con estos antecedentes se procede al diseño de una campana de estructura y dimensiones específicas para las instalaciones de la granja, para la conducción del gas hasta los calefactores se hará mediante la instalación de una manguera PVC de 1/2" desde el biodigestor, en el trayecto de la tubería se instalarán llaves de paso para el control del flujo de gas, una válvula de seguridad, una trampa de agua y una trampa de ácido sulfúrico.

#### 2.4.10.1 Dimensión y modelo del calefactor.

Para las dimensiones del calefactor y su forma, se tomarán en cuenta los cubículos de lechones en la granja “Mis Tres Marías”, así la campana tendrá una forma rectangular para aprovechar los corrales donde pasan los lechones recién nacidos, y las medidas estarán en función de los corrales maternos, por tal motivo las campanas medirán 80 cm de largo, 25 cm de ancho y 20 cm de alto.

Ya construida la campana metálica con la forma y dimensiones antes mencionadas, se instalan los complementos necesarios para disponer de un quemador funcional para la calefacción de lechones, siendo así instalamos neplios de acero  $\frac{1}{2}$ " y los adherimos a la campana por medio de soldadura, en el lado inferior de la campana instalamos un codo de acero  $\frac{1}{2}$ " y un neplio de acero (5" de largo) para terminar con un codo de acero en dirección al lado interno de la campana, para finalizar colocamos una llave de paso esférica antes de la campana con el fin de regular el flujo de biogás al quemador.

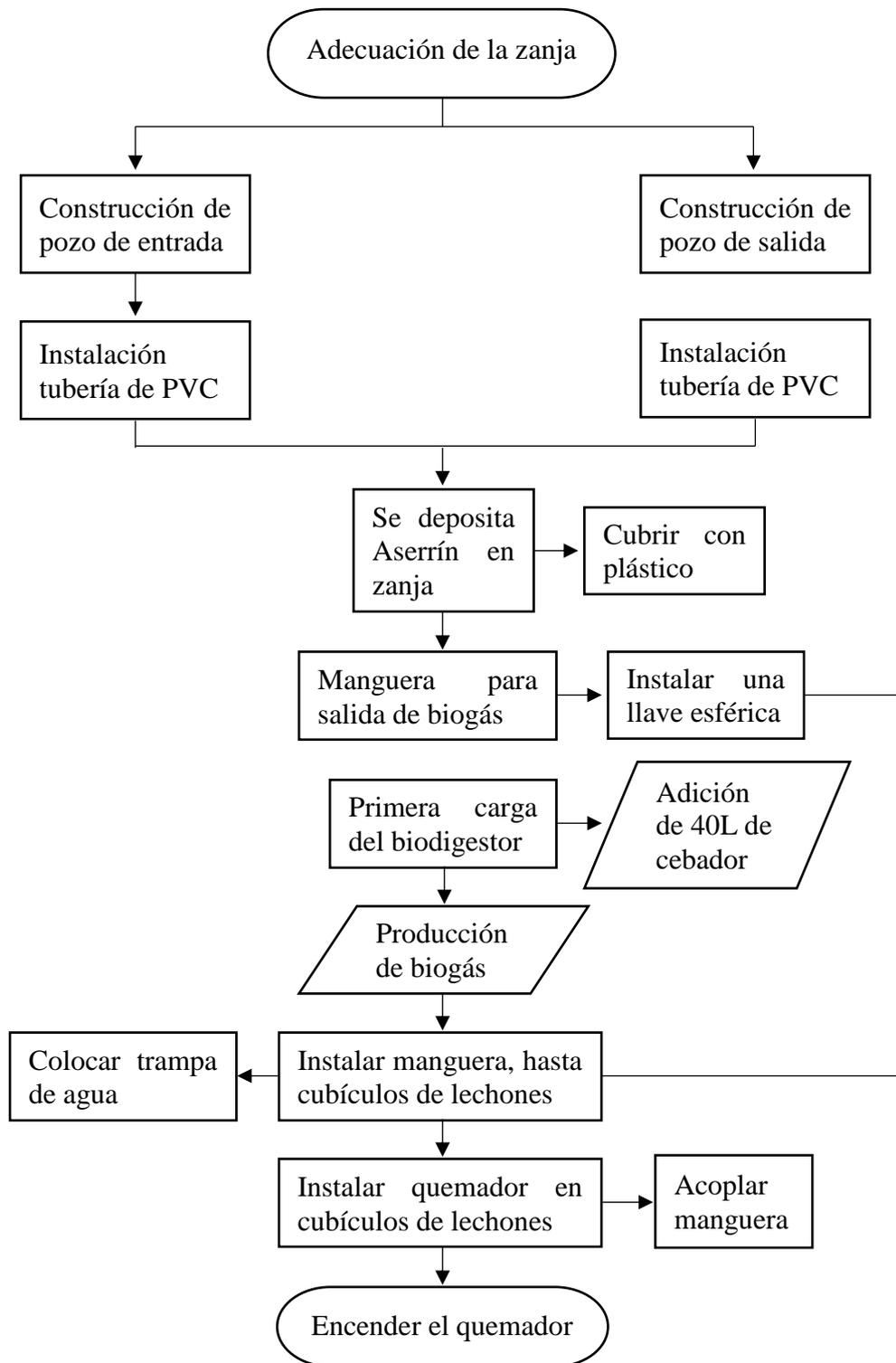
**Fotografía 1:** Calefactor para uso en la granja.



*Elaboración: Autor.*

## 2.4.10.2 Emplazamiento del biodigestor y un sistema de calefacción

Ilustración 9. Diagrama de flujo emplazamiento del biodigestor y sistema de calefacción.



Elaboración: Autor

En el diagrama de flujo se describe el proceso necesario para el emplazamiento de un biodigestor tubular continuo, hay que seguir en orden las etapas de instalación de los diferentes componentes, para evitar inconvenientes al momento de realizar la primera carga del biodigestor.

La adecuación de la zanja es de suma importancia para el funcionamiento y preservación de la vida útil del biodigestor, debe tener las medidas adecuadas, además estar las paredes y pisos lisos para resguardar la integridad física del biodigestor, los pozos de revisión son de concreto y bloque y las tuberías de PVC de 4 Pulg.

Es necesario aislar el biodigestor del suelo, por lo cual se utiliza el aserrín y plástico en toda el área de la zanja, también hay que tener control de la salida de biogás, así se instala una llave esférica de paso.

Se inspeccionan todas las instalaciones y la posición del biodigestor, para proceder con la primera carga y empezar con el proceso de digestión anaerobia. Permitiendo que entre la mezcla agua-estiércol provenientes de los cubículos porcinos. Para la adición del cebador se procede con 20L el primer día y 20L luego de tres días.

La producción de biogás comienza, haciendo que el biogás ocupe la parte superior de la bolsa, el volumen va aumentando y expandiendo el biodigestor hasta su capacidad máxima de expansión. Por seguridad antes hacer uso del biogás se debe dejar escapar la primera producción de biogás.

Para el sistema de calefacción de los lechones, debemos de instalar una manguera desde la salida de biogás en el biodigestor, hasta la ubicación del quemador en los cubículos de lechones. El quemador se instala a 30 cm de altura desde el lomo de los lechones hasta la boquilla del quemador, esto garantiza que la temperatura sea la optima para los lechones y evitar quemaduras en los lechones.

Se realiza una inspección a todas las conexiones para proceder a encender el quemador, que se alimenta con el biogás como combustible.

#### **2.4.10.3 Cubierta y mantenimiento del biodigestor.**

Se recomienda proteger el biodigestor de factores físicos externos (sol, lluvia) para alargar la vida útil del equipo. Es recomendable que no se situé al alcance de niños, que por curiosidad o juego pueden dañar la bolsa.

#### **2.4.11 Socialización**

Las acciones participativas buscan demostrar en una determinada área social los conocimientos y percepciones del conjunto de actores que intervienen en los proyectos comunitarios (Correa & de la Cruz, 2014) La participación social y ciudadana hace referencia a procesos a través de los cuales la sociedad civil, o los actores sociales en general, se organizan y se expresan públicamente, esto garantiza a que la población esté informada sobre los proyectos que se estén construyendo en su comunidad. (Krainer & Chaves, 2017)

Para fomentar este tipo de tecnología, se hizo una socialización a través de charlas informativas a la comunidad.

## CAPÍTULO III

### 3 Resultados

#### 3.1 Descripción de la zanja para emplazamiento del biodigestor.

Se establecieron las siguientes dimensiones, 8 metros de longitud, 1.3 metros de ancho superior, 1.1 de ancho inferior y 1.4 de profundidad, teniendo en cuenta que las paredes laterales y el piso de la zanja no deben tener raíces ni piedra que broten, deben ser totalmente lisas.

#### 3.2 Pozos de revisión.

Se construyen dos pozos de revisión (entrada y salida de la mezcla agua-estiércol) al biodigestor, estos pozos tienen las siguientes dimensiones 60 x 60 centímetros en cada lado y con una profundidad de 60 cm. ubicados a los extremos de la zanja. Los pozos fueron contruidos con paredes de bloque macizo enlucidos y piso de hormigón, dejando tubos metálicos de 4" como entrada y salida de los pozos.

#### 3.3 Producción diaria de estiércol por etapa fisiológica del cerdo

Aplicando la ecuación para el cálculo de la producción diaria de excretas para cada etapa fisiológica de los cerdos, obtenemos los siguientes resultados

**Tabla 7.** Producción diaria de excretas por cerdo por etapa.

<b>Etapa</b>	<b>Tipo de Cerdo</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Tasa diaria de excreción por etapa (% Peso Vivo)</b>	<b>Producción Diaria Excretas por cerdo por etapa (Kg)</b>
<b>Reproducción</b>	Hembras Lactantes	191	8.08	15.43
	Hembras Gestantes	182	3.35	6.10
	Hembras Secas	150	5.04	7.56
	Sementales	163	2.93	4.78
	Lechones	2.7	9.00	0.24
<b>Cría</b>	Destete	14.6	8.60	1.25

**Elaboración:** Autor **Fuente:** (SEMARNET - SEGARPA - FIRCO, 2010)

### 3.4 Cálculo de la producción de estiércol porcino

Con la ecuación para el cálculo de la producción diaria total por animal, obtenemos la producción de excretas en la granja.

**Tabla 8.** Producción Diaria Total por etapa.

Etapa	Tipo de Cerdo	Población	Producción Diaria Excretas por cerdo por etapa (Kg)	Producción Diaria Total por etapa (Kg)
<b>Reproducción</b>	H. Lactantes	5	15.43	77.15
	H. Gestantes	5	6.10	30.5
	H. Secas	15	7.56	113.4
	Sementales	1	4.78	4.78
	Lechones	30	0.24	7.2
<b>Cría</b>	Destete	45	1.26	56.7
<b>Total de Excretas Producidas por los animales</b>				<b>289.73</b>

Elaboración: Autor

La producción diaria de estiércol (101 cerdos) fue de 289.73 Kg; que es una variable directamente proporcional a los sistemas de producción y alimentación. (SEMARNET - SEGARPA - FIRCO, 2010)

### 3.5 Variables de análisis

Volumen de agua utilizada 1448.65 L, volumen de la mezcla estiércol – agua de 1.44 m<sup>3</sup>, relación estiércol – agua 1:4, pH del estiércol 7.5, temperatura promedio 26 °C, tiempo de retención 15 días, concentración de carga orgánica 9 %, promotores de la fermentación (cebador) 40 L.

**Tabla 9.** Variables en la producción de biogás porcino.

<b>Agua utilizada (L)</b>	1448.65
<b>Volumen estiércol-agua (m<sup>3</sup>)</b>	1.44
<b>Relación estiércol-agua</b>	1:4
<b>pH (estiércol)</b>	7.5
<b>Temperatura promedio (°C)</b>	26
<b>Tiempo de retención (días)</b>	15
<b>Concentración carga O. (%)</b>	9
<b>Promotores fermentación (L)</b>	40

Elaboración: Autor

### 3.6 Producción de biogás

La cantidad de biogás producido en un periodo de 15 días desde su primera carga el día 19 de octubre, fue de 7.72 m<sup>3</sup>, con condiciones ambientales favorables para el proceso de digestión anaerobia (temperatura, pH, carga orgánica, agentes promotores de la fermentación).

**Tabla 10.** Producción de biogás y temperatura por periodos de 15 días.

PERIODO (15 días)	TEMPERATURA °C	CANTIDAD BIOGAS m <sup>3</sup>
19 oct – 03 nov	26	7.72
03 nov – 18 nov	28	7.72
18 nov – 03 dic	29	7.72
03 dic – 18 dic	29	7.72
18 dic – 02 ene	30	7.72
02 ene – 17 ene	29	7.72

Elaboración: Autor

### 3.7 Uso del biogás

Como combustible para el funcionamiento de quemadores de un sistema de calefacción para lechones (2.06 m<sup>3</sup>/día).

Con este consumo de biogás podemos decir que se esta subutilizando el biogás, debido a que hay una buena producción de biogás y a su vez un bajo consumo, por tal motivo se proyecta el uso de biogás en la generación de energía eléctrica para la granja, por medio de un generador eléctrico.

### 3.8 Cuantificación del bioabono

La entrada de la mezcla estiércol-agua es de 1.44 m<sup>3</sup> de lo cual obtenemos un valor promedio de 0.89 m<sup>3</sup> de bioabono, en el periodo comprendido del 19 de octubre del 2018 al 17 de enero del 2019.

**Tabla 11.** *pH y Producción de Bioabono.*

<b>PERIODO (15 días)</b>	<b>pH BIOABONO</b>	<b>CANTIDAD BIOABONO m<sup>3</sup></b>
<b>19 oct – 03 nov</b>	7.0	0.84
<b>03 nov – 18 nov</b>	7.0	0.90
<b>18 nov – 03 dic</b>	7.0	0.88
<b>03 dic – 18 dic</b>	7.0	0.87
<b>18 dic – 02 ene</b>	7.0	0.95
<b>02 ene – 17 ene</b>	7.0	0.92

**Elaboración:** Autor

### **3.8.1 Uso del bioabono**

El aprovechamiento del bioabono se lo realiza, aplicando el bioabono directamente desde el pozo de revisión a la plantación de cacao de la finca, por medio de canales, aprovechando la topografía del terreno.

### **3.9 Sistema de calefacción**

La instalación del quemador tipo campana nos permitió aprovechar el biogás producido en el biodigestor, el quemador permanece encendido 24 horas/ día por el periodo de dos semanas (tiempo que necesitan los lechones un rango de temperatura entre 35 – 37 °C), consumiéndose 0.086 m<sup>3</sup>/h.

El quemador transmite calor hacia los cubículos de lechones, cubriendo un área en total de 4.5 m<sup>2</sup> para los 10 cubículos de lechones existentes en la granja, evitando utilizar focos incandescentes de 100 Watts para el mismo propósito, generando un ahorro para el productor de \$3.35 por cubículo de lechones, y un ahorro de \$33.5 en todos los cubículos destinados para lechones.

#### **3.9.1 Temperatura en los cubículos para lechones**

Alcanza un rango que va desde los 35°C hasta los 37.2 °C (Tabla 12).

**Tabla 12.** Temperatura en los cubículos de lechones.

<b>PERIODO (15 días)</b>	<b>TEMPERATURA °C</b>
<b>03 nov</b>	36.8
<b>04 nov</b>	37
<b>05 nov</b>	36.7
<b>06 nov</b>	36.1
<b>07 nov</b>	36.8
<b>08 nov</b>	36.9
<b>09 nov</b>	37.2
<b>10 nov</b>	36.5
<b>11 nov</b>	36.1
<b>12 nov</b>	35.5
<b>13 nov</b>	35
<b>14 nov</b>	35.4
<b>15 nov</b>	36
<b>16 nov</b>	36.7
<b>17 nov</b>	37

Elaboración: Autor

### **3.10 Socialización a los productores porcinos del cantón Piñas**

La reunión se efectuó el día 4 de enero del 2019 a las 09:30 horas, en el salón Haraldo Gallardo del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Piñas asistieron a la misma productores porcinos del cantón y público, se proyectó un video informativo grabado en las instalaciones de la granja donde se muestra la funcionalidad del biodigestor y sistema de calefacción. Además se entregaron trípticos informativos mostramos el proceso detrás de la biodigestión para la obtención del biogás y con ello todos los beneficios que este proporciona a la granja porcina, como la disminución de gastos en la calefacción de lechones, evitar la contaminación ambiental por las agua residuales de la granja en suelo y cuerpos de agua, pudieron conocer los asistente a la

reunión; posterior a finalizar la exposición, se pudieron resolver todas las interrogantes que surgieron por parte de los asistentes a la socialización.

#### **4 Discusión**

- Según (Flotats, Campos, Palatsi, & Bonmatí, 2001) en un estado mesófilo que va con temperaturas desde los 30 – 40 °C. Se aumenta la velocidad de crecimiento de la población bacteriana, velocidad en la producción de gas y la disminución del tiempo de retención, que en nuestro caso la temperatura alcanza hasta los 30 °C, coincidiendo al igual con los anuarios de temperatura del (INAMHI, 2017).
- Al momento de la primera carga del biodigestor se procedió a colocar 40 litros de cebador que actúa como un promotor de la degradación del sustrato y disminuye los tiempos de retención (Chávez Jácome & Velasco Olave, 2012) en nuestro proceso de biodigestión.
- Según (Flotats, Campos, Palatsi, & Bonmatí, 2001) el pH debe oscilar entre 6.0 y 8.0, generando un ambiente agradable para las bacterias y mejorando el proceso de biodigestión, realizando el control de pH en el pozo de revisión de entrada se obtuvo un promedio de 7.5, que está dentro de los valores deseables.
- Los precios de la calefacción para cerdos, representa altos costos para los productores cuando son por medio de energía eléctrica o gas licuado de petróleo (Guerrero Vargas, Pérez Albuérne, Botero Botero, & Cerrato, 2014), representando \$33,50 quincenales en energía eléctrica para la alimentación de los focos empleados actualmente en la granja.
- La zona de confort para los lechos hasta 14 días de nacidos es de 35 a 37 °C (Paiva Periche, 2016), temperaturas iguales a las alcanzadas en los cubículos para lechones con el sistema de calefacción propuesto en nuestro trabajo experimental, que alcanzo hasta los 37.2 °C. (Paiva Periche, 2016)

## **5 Conclusiones**

- Se construyó un biodigestor de PERMAX PVC, con dimensiones de 8 M. de largo y 2.2 M. de diámetro, y se lo emplazó en una zanja de 8 M de longitud, 1.3 M de ancho superior, 1.1 de ancho inferior y 1.4 de profundidad, generando 7.72 m<sup>3</sup> de biogás para aprovecharlo mediante la combustión en el sistema de calefacción para lechones instalado en la granja de estudio.
- Con 289.73 Kg/día de estiércol producido por los animales de la granja, producen 7.72 m<sup>3</sup> de biogás con 15 días de tiempo de retención, logrando la optimización del proceso de biodigestión con la adición de cebador en el biodigestor.
- El sistema de calefacción por medio de quemadores, se lo diseñó en base a la ubicación del biodigestor, con campanas de 80 cm de largo, 25 cm de ancho, 20 cm de alto y de forma rectangular, en base a los cubículos maternos. Aprovechando al máximo el calor irradiado por la combustión de 2.06 m<sup>3</sup> de biogás de los 7.72 m<sup>3</sup> de biogás producido.
- La difusión de la tecnología de energías renovables y de bajo costo por medio de la instalación de biodigestores, se desarrolló mediante una reunión con productores porcinos de zonas aledañas, donde se dio a conocer el proceso para la biodigestión, la generación de biogás, el aprovechamiento de biogás, beneficios de la implementación de biodigestores y se pudo resolver las inquietudes de los asistentes en referencia al tema expuesto.

### **5.1 Recomendaciones**

- Debido a que el consumo de biogás por parte del sistema de calefacción para lechones es menos de la mitad del biogás producido en el biodigestor, se debe proyectar un uso adicional para el biogás, como implementar candelabros que funcionen con biogás para la iluminación de la granja, generar energía eléctrica por medio de un generador eléctrico o cocción de alimento mediante estufas.

- Realizar estudios complementarios en análisis fisicoquímico del bioabono y seguimiento a las plantaciones que se le aplica el bioabono procedente del biodigestor.
- Registrar el crecimiento de los lechones con temperaturas por debajo del rango de temperatura optimo y compararlo con el registro del crecimiento de lechones con un rango de temperatura adecuado.
- Se debe promocionar de la mejor manera este tipo de tecnología entre los productores porcinos de la zona, ya que hay un desconocimiento total sobre el proceso y costos de la biodigestión, esto ayudara a la masificación de los biodigestores en la zona y disminuir la contaminación ambiental en ríos y suelos por parte de las aguas residuales de las granjas porcinas.

## 6 Referencias

- Abbasi, T., Tauseef, S., & Abbasi, S. (2012). Anaerobic digestion for global warming control and energy generation - An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 3228-3242.
- Aliaga Orellana, L. L. (2006). *Evaluación de producción de biogás utilizando desechos porcícolas de Zamorano*. Zamorano.
- An, B. X., Rodríguez, L., Sarwatt, S. V., Preston, T. R., & Dolberg, F. (1996). Installation and performance of low-cost polyethylene tube biodigesters on small-scale farms. *WORLD ANIMAL REVIEW*.
- Asamblea Constituyente. (2008). Constitución de la República del Ecuador. Montecristi.
- Atlas, R., & Bartha, R. (2002). *Ecología microbiana y Microbiología ambiental*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN S.A.
- Báez Cazares, G. E., & Benítez Olives, D. E. (2015). *Diseño y construcción de un biodigestor tipo campana flotante con la utilización de desechos porcinos para la finca "El Recuerdo"*. Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana, Quito.
- Barichello, R., Hoffmann, R., Da Silva, S. C., Deimling, M. F., & Filho, N. C. (2015). Biodigesters in small-and middle-sized farms, with special emphasis on value aggregation: A case study in the northwestern region of the state of Rio Grande do Sul, Brazil. *Revista em Agronegocio e Medio Ambiente*, 333-355.
- Borzacconi, L., López, I., & Viñas, M. (1995). Application of anaerobic digestion to the treatment of agroindustrial in Latin America. *Water Science and Technology*, 105-111.
- Botero Botero, R., & Preston, T. R. (1987). *Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas*. San José.

- Calza, L. F., Lima, C. B., Nogueira, C., Siqueira, J. A., & Santos, R. F. (2015). Cost assessment of biodigester implementation and biogas-produced energy. *Enenharia Agrícola*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n6p990-997/2015>
- Castells, X. E. (2005). *Tratamiento y valorización energética de residuos*. España: Ediciones Díaz de Santos.
- Cervantes, F., Saldívar-Cabrales, J., & Yescas, J. F. (2007). Estrategias para el aprovechamiento de desechos porcinos en la agricultura. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 3-12.
- Chávez Jácome, F., & Velasco Olave, E. (2012). *Modelación, implementación y automatización de una microplanta de biogás a partir de biomasa residual*. Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Correa, A., & de la Cruz, P. (2014). La Cartografía Social, una herramienta para la socialización de proyectos ambientales en comunidades campesinas. *ResearchGate*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/269692026\\_La\\_Cartografia\\_Social\\_una\\_herramienta\\_para\\_la\\_socializacion\\_de\\_proyectos\\_ambientales\\_en\\_comunidades\\_campesinas](https://www.researchgate.net/publication/269692026_La_Cartografia_Social_una_herramienta_para_la_socializacion_de_proyectos_ambientales_en_comunidades_campesinas)
- de Oliveira Florentino, H. (2003). Mahematical tool to size rural digesters. *Scientia Agricola*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162003000100028>
- Dominguez Araujo, G., Galindo BArboza, A., Salazar Gutiérrez , G., Barrera Camacho, G., & Sanchez Garcia, F. (2014). *Las excretas porcinas como materia prima para procesos de reciclaje utilizandos en actividades agropecuarias*. Tapatitlán de Morelos: INIFAP.

- Durazno Coronel, A. D. (2018). *Valoración de estiércol bovino y porcino en la producción de biogás en un biodigestor de producción por etapas*. Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.
- Ferre, I., Gamiz, M., Almeida, M., & Ruiz, A. (2009). Pilot project of biogas production from pig manure and urine mixture at ambient temperature in Ventanilla (Lima, Peru). *Waste Management*, 168-173.
- Flotats, X., Campos, E., Palatsi, J., & Bonmatí, A. (2001). Digestión anaerobia de purines de cerdo y codigestión con residuos de la industria alimentaria. *Monografías de actualidad*, 51-65.
- Gómez Muñoz, S. (2012). *Diseño, construcción y puesta a punto de un biodigestor tubular Carazo - Nicaragua*. Leganés.
- Guerrero Vargas, C., Pérez Albuerne, A., Botero Botero, R., & Cerrato, M. (24 de octubre de 2014). *ResearchGate*. Obtenido de ResearchGate:  
<https://www.researchgate.net/publication/266871376>
- Gutiérrez García, G., Mondaca Fernández, I., Meza Montenegro, M. M., Félix Fuentes, A., Balderas Cortés, J., & Gortáres Moroyoqui, P. (2012). Biogás: una alternativa ecológica para la producción de energía. *Ide@s CONCYTEG* 7, 881-894.
- Holm-Nielsen, J., Al Seadi, T., & Oleskowicz-Popiel, P. (2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource Technology*, 5478-5484.
- INAMHI. (2017). *Anuario Meteorológico Nro. 53-2013*. Quito: INAMHI.
- INEC. (31 de 10 de 2018). *ecuadorencifras*. Obtenido de  
<http://www.ecuadorencifras.gob.ec/resultados/>
- Jara Salazar, F. X. (2011). *Estudio de un sistema de energía renovable para la producción de biogás a partir de excretas de ganado porcino para disminuir el consumo de gas*

- doméstico en la hacienda “El Márquez” de sector de Cunchibamba de la provincia de Tungurahua.* Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato, Ambato.
- Krainer, A., & Chaves, A. (2017). *Naaturaleza y cultura, Un acercamiento desde la investigación.* Quito: FLACSO.
- Lorenzo Acosta, Y., & Obaya Abreu, M. C. (2005). La Disgestión anaerobia. Aspectos teóricos. *ICIDCA*, 35-48.
- Marchaim, U. (1992). *Procesos de biogás para el desarrollo sostenible.* FAO.
- Martí Herrero, J. (2008). *Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación.* La Paz: GTZ-Energía.
- Martí Ortega, N. (2006). *Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process.* Boca Raton: DISSERTATION.COM.
- Molina, K., Caicedo, L., & Duque, C. (1999). Tratamiento de las excretas de cerdo mediante un reactor anaeróbico SCFBR a nivel de banco. *REVISTA COLOMBIANA DE BIOTECNOLOGÍA.*
- Orrico Júnior, M. P., Orrico, A. A., & Júnior, J. d. (2009). Production potential of biogas remaining on effluents from biodigesters that operate with swine manure, with and without solid fractions separation under different hydraulic retention times. *Engenharia Agrícola.* Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162009000400018>
- Oyala Arboleda, Y., & Gonzáles Salcedo, L. (2009). *Fundamentos para el diseño de biodigestores.* Palmira.
- Paiva Periche, P. F. (2016). *Propuesta de aprovechamiento del biogás obtenido a partir del tratamiento de las aguas residuales generadas en la empresa rico cerdo F&G S.A.C., para su uso como biocombustible en los sistemas de calefacción de las áreas de maternidad.* Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (27 de 05 de 2018). *PNUD*. Obtenido de

<http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>

Ramón, J., Romero , L., & Simanca, J. (s.f.). Diseño de un biodigestor de canecas en serie para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excremento de cerdo. *Revista Ambiental Aua, Aire y Suelo*.

Rodriguez , L., & Preston, T. (02 de 05 de 2018). *FAO ORG*. Obtenido de FAO Information:

<http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGA/AGAP/FRG/Recycle/biodig/manual.htm#Back%20to%20contents>

SEMARNET - SEGARPA - FIRCO. (2010). *Especificaciones Técnicas para el Diseño y Construcción de Biodigestores en México*. Mexico DF.

## 7 Anexos

**Anexo 1.** Excavación de la zanja.



**Anexo 2.** Zanja excavada con las medidas específicas.



**Anexo 3.** Pozo de revisión de entrada.



**Anexo 4.** Pozo de revisión de salida.



**Anexo 5.** Colocación de codos en los pozos de revisión.



**Anexo 6.** Colocación de la sección de tubo para las mangas del biodigestor.



**Anexo 7.** Distribución de aserrín en el fondo de la zanja.



**Anexo 8.** Saquillos dispuestos en el fondo de la zanja.



**Anexo 9.** Recubrimiento de la zanja con plástico.



**Anexo 10.** Colocación del biodigestor en la zanja.



**Anexo 11.** Refuerzo de las mangas del biodigestor con ligas en los tubos de pozos de revisión.



**Anexo 12.** Instalación de los accesorios para la salida del biogás.



**Anexo 13.** Manguera para la conducción del biogás producido.



**Anexo 14.** Entrada de agua residual de los corrales porcinos, por medio del pozo de revisión, hacia el biodigestor.



**Anexo 15.** Biodigestor cargado, para inicio de sus operaciones.



**Anexo 16.** Canecas con cebador – promotor de la fermentación.



**Anexo 17.** Introducción del cebador en la primera carga del biodigestor.



**Anexo 18.** Proceso de generación de biogás.



**Anexo 19.** Biodigestor generando biogás.



**Anexo 20.** Llave esférica para el control de la salida de biogás.



**Anexo 21.** Manguera de politubo para transporte de biogás.



**Anexo 22.** Instalación del quemador para la calefacción de lechones.



**Anexo 23.** Conexión de la manguera politubo al quemador.



**Anexo 24.** Quemador instalado en los cubículos de los lechones.



**Anexo 25.** Quemador encendido irradiando a lechones.



**Anexo 26.** Quemador en funcionamiento con biogás.



**Anexo 27.** Temperatura de los cubículos para lechones.



**Anexo 28.** Medición de pH en una muestra del pozo de revisión.



**Anexo 29:** Socialización a la comunidad



Anexo 30 : Socialización a la comunidad.



Anexo 31 : Entrega de trípticos en la socialización a la comunidad.



Anexo 32 : Registro de asistencia de la socialización a la comunidad.

SOCIALIZACIÓN DE TRABAJO EXPERIMENTAL "DISEÑO Y EMPLAZAMIENTO DE UN BIODIGESTOR PARA EL APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS EN LA GRANJA DE EXPLOTACIÓN PORCINA MIS TRES MARIA ARENILLAS-EL ORO ECUADOR		LUGAR: SALÓN DE LA CIUDAD GADM - PIÑAS		
FECHA: 04-01-2019	HORA: 09:30			
OBSERVACIONES:				
NOMBRES	CEDULA	TELEFONO	DOMICILIO	
FIRMA				
JOSÉ C. MORENO	0700063634	2922275	MARALTA	
Edgar H. Booyza	0702499344	2977792	Natalcapa	
Diego A. Vargas G.	0904895805	0994668390	MORONDO	
Belgica Minerva Cabrera C.	0704036425	0996844616	Poloselo	
Leticia Escalada	11021119	0486735334	PIÑAS	
Jose Bolivar Booyza B. Gm	0700977412	2974374	San Roque - Piñas	
Lorena Lejoo	070041588		La Cruz	
Genoveva E. Cruz V.	0701145278	099483046	Manabaco	
Sandra Brava A.	0700906655	0958841986	Piñas	
Marcina Sandoz	0701728222	0993057902	Piñas	
Mario Lejoo	0701223428	099766671	Ciudadela el Caimán	

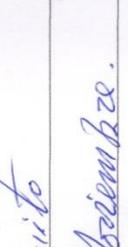
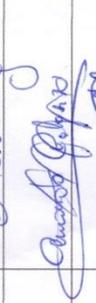
Anexo 33: Registro de asistencia de la socialización a la comunidad.

SOCIALIZACIÓN DE TRABAJO EXPERIMENTAL "DISEÑO Y EMPLAZAMIENTO DE UN BIODIGESTOR PARA EL APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS EN LA GRANJA DE EXPLOTACIÓN PORCINA MIS TRES MARIA ARENILLAS-EL ORO ECUADOR			
FECHA: 04-01-2019	HORA: 09:30	LUGAR: SALÓN DE LA CIUDAD GADM - PIÑAS	
OBSERVACIONES:			
NOMBRES	CEDULA	TELEFONO	DOMICILIO
Ambrosio y Jorjaza	0700947613	0994516455 2974674	San Roque
Teresa Cerera	0701234963	3092726	Sitio El Polto
Alvita Zambrano	0702605056	3092726	Sitio El Polto
Larmita Zambrano	0701578544	3092739	Sitio El Polto
German Uchoa	0700254426	091263354	San Jacinto
Angel Paladinos	0988797938	0707435612	Melana
Jorge Jaramilla	0700920747	0993195591	Morona
Josue Jaramilla	0701242737	3125 096848	Morona
Wilson Blacio	0702055302	09683028 24	Polosolo
MARCO RAMERO	0702480217	0994892456	LA LIBERTAD.
PEDRO ZALAZAR	0700773966	0982674076	LA LIBERTAD

Anexo 34: Registro de asistencia de la socialización a la comunidad.

SOCIALIZACIÓN DE TRABAJO EXPERIMENTAL "DISEÑO Y EMPLAZAMIENTO DE UN BIODIGESTOR PARA EL APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS EN LA GRANJA DE EXPLOTACIÓN PORCINA MIS TRES MARIA, ARENILLAS-EL ORO ECUADOR		LUGAR: SALÓN DE LA CIUDAD GADM - PIÑAS	
FECHA: 04-01-2019	HORA: 09:30		
OBSERVACIONES:			
NOMBRES	CEDULA	TELEFONO	DOMICILIO
Luis Angel Reyes Loayza	070227529-1	0991401776	La Bocana
Mireya Lisbeth Romero Ramirez	070591041-2	0981661167	Molana
Doris Draufina Valarego	0702946526	0981128563	capiro
Jennifer Michelle Romero Valarego	0706149515	0989228323	Capiro
Leonela Susana Valarego	070490746-8	0989228323	Capiro
Fernando Maldonado R.	0701017253	0981351510	PIÑAS
Ricky Amaro L.	0702395182	2977270	PIÑAS.
Renato Rubio Valarego	070760662	0980170316	PIÑAS
Mauricio Romero	171294072	2977632	PIÑAS
Shannel Loayza	070227529-1	0991401776	PIÑAS
NO RENA			

Anexo 35 : Registro de asistencia de la socialización a la comunidad.

SOCIALIZACIÓN DE TRABAJO EXPERIMENTAL "DISEÑO Y EMPLAZAMIENTO DE UN BIODIGESTOR PARA EL APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS EN LA GRANJA DE EXPLOTACIÓN PORCINA MIS TRES MARIA ARENILLAS-EL ORO ECUADOR				
FECHA: 04-01-2019		LUGAR: SALÓN DE LA CIUDAD GADM - PIÑAS		
HORA: 09:30				
OBSERVACIONES:				
NOMBRES	CEDULA	TELEFONO	DOMICILIO	
FIRMA				
George B. Zambrano	0700494463	09146338	San Roque	
Mario Zambrano	0700149575	29764748	D' Nobrembe.	
Patricio Ulloa buena	073451112	2864483	LA UNION	PT9
Keuman chora	0989663533	-010944535	San Pedro	
Montin de Jesus Golorza	0703210880	0967061821	Conchicho	Montin G
Emmanuel de Jesus Palacios	0702103219	0969411855	Conchicho	
Julian Harin Guayala	0704491130	0986865378	El Peruwado	Julian Guayala
Filiberto Evaris	0403094443	0855645	Lo Churo	
Chercedes Hidalgo	0703409862	0959701292	Atalacapa	
Seidy Celi	0703384859	0959701292	Atalacapa	

Anexo 36 : Registro de asistencia de la socialización a la comunidad.

SOCIALIZACIÓN DE TRABAJO EXPERIMENTAL "DISEÑO Y EMPLAZAMIENTO DE UN BIODIGESTOR PARA EL APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS EN LA GRANJA DE EXPLOTACIÓN PORCINA MIS TRES MARIA ARENILLAS-EL ORO ECUADOR		LUGAR: SALÓN DE LA CIUDAD GADM - PINAS		
FECHA: 04-01-2019	HORA: 09:30			
OBSERVACIONES:				
NOMBRES	CEDULA	TELEFONO	DOMICILIO	
FIRMA				
Fausto Alfredo Lopez	0701719577	0982800074	Pinas grande	
José Gustavo Obou Sanchez	0705348134	0992383624	San Jacinto	
JORGE ENRIQUE	0701134058	0977992047	BUZA	
Guillermo Janso	070087288	0939931497	San B. Santa	
Pomulo Vicente	0701490401		Nochata	
Ramon Arroyo	0702298316	0990852882	La Chuva	
Byron Ramirez	0704030402	0993985593	La Chuva	
VICENTE JAVIER	0700332885	0997409049	Pinas	
VICENTE RAMIREZ	0703411785	0985673503	LA CHUVA	
Manuel Narvaez	0700110023	0968323311	Moromoro	
MARIA DEL CARMEN RAMIREZ	0704030832	0983673503	LA CHUVA	

Anexo 37 : Registro de asistencia de la socialización a la comunidad.

SOCIALIZACIÓN DE TRABAJO EXPERIMENTAL "DISEÑO Y EMPLAZAMIENTO DE UN BIODIGESTOR PARA EL APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS EN LA GRANJA DE EXPLOTACIÓN PORCINA MIS TRES MARIA ARENILLAS-EL ORO ECUADOR		LUGAR: SALÓN DE LA CIUDAD GADM - PIÑAS		
FECHA: 04-01-2019	HORA: 09:30			
OBSERVACIONES:				
NOMBRES	CEDULA	TELEFONO	DOMICILIO	FIRMA
Teresa Ortega A.	0702291749	2974626	Adejo Piñas	
Eduardo Ramírez Romero	0700250902	2976565	9 de Octubre y García Moreno	
Vanessa Valladolid Cuena	0705175701	0985066067	cala. Daquilema - Calle Babuani Habano	
Ricarda Equihua	0701487647	0999491186	San Pedro de Piñas	
Alcántara E. Leizaola	0700953637	2092765	San Pedro de Piñas	
Manuel Tejero. S.	0700640374	2977346	Esmeraldas 28 mayo. Piñas	
Roberto Espinoza	0700867450	096656370	Bueno Oliver Piña	
Carlos Espinoza	0701332669	3092713	Bueno Aires	
José Alfonso Cuervo S	0700935760	3092800	Bueno Aires	
Reginaldo Alvarez	1100397411	098298005	Azuay espartero SA	
Carmen Madrone Cabrera	0704636411	098074268	P. Dorado	

**Anexo 38 :** Esquema de los corrales porcinos, biodigestor y sistema de calefacción.

