



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**“DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA LA GENERACIÓN  
DE BIOGAS Y BIOL EN LA COMUNIDAD DE ILLAGUA  
DEL CANTÓN GUARANDA.”**

**Trabajo de titulación**

**Tipo: Proyecto técnico**

**Presentado para optar al grado académico de:**

**INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTORA: HILDA MARLENE ROCHINA CHIMBO**

**TUTOR: ING. DIEGO BURBANO**

**RIOBAMBA- ECUADOR**

**2018**

**©2018, Hilda Marlene Rochina Chimbo**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el derecho de autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: el proyecto técnico: **“DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA LA GENERACIÓN DE BIOGAS Y BIOL EN LA COMUNIDAD DE ILLAGUA DEL CANTÓN GUARANDA”** es de responsabilidad de la señorita egresada Hilda Marlene Rochina Chimbo, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Diego Burbano

\_\_\_\_\_

06-02-2018

\_\_\_\_\_

**DIRECTOR DEL TRABAJO**

**DE TITULACIÓN**

Ing. Marco Chuiza

\_\_\_\_\_

06-02-2018

\_\_\_\_\_

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Yo, Hilda Marlene Rochina Chimbo, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente, están debidamente citados y referenciados.

Como autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Hilda Marlene Rochina Chimbo

020208115-4

Yo, Hilda Marlene Rochina Chimbo, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de titulación y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación, pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Hilda Marlene Rochina Chimbo

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación se lo dedico en primer lugar a mi hijo Cristhian Jesús quien siempre ha sido mi gran motivación y mi mayor fortaleza para terminar mi carrera profesional.

También se lo dedico a mi mamita Francisca y a mi papito Luis pues el sacrificio que hicieron por mí no ha sido en vano, realmente son los padres más maravillosos que Diosito me pudo haber dado.

**Hilda**

## **AGRADECIMIENTO**

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Facultad de Ciencias especialmente a la Escuela de Ciencias Químicas por realizarme como profesional y de esta manera ser una ayuda para la sociedad.

A los docentes en particular al Ing. Diego Burbano, Ing. Marco Chuiza, quienes dedicaron su tiempo guiándome con sus conocimientos y apoyaron en el desarrollo de la presente trabajo de titulación.

A mi familia por su apoyo y comprensión.

**Hilda**

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

GLP: Gas licuado de petróleo

CIE: Corporación para la Investigación Energética

CH<sub>4</sub>: Metano

SV: Sólidos volátiles

ST: sólidos totales

CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono

H<sub>2</sub>: Hidrógeno

H<sub>2</sub>S: Ácido sulfhídrico

NH<sub>3</sub>: Amoniac

NH<sub>4</sub>: Amonio

DBO<sub>5</sub>: Demanda bioquímica de oxígeno

C/N: Relación carbono nitrógeno

DQO: Demanda química de oxígeno

pH: Potencial de hidrógeno

H<sub>2</sub>O: Agua

T: Temperatura

P<sub>CH<sub>4</sub></sub>: Potencial de producción de metano del residuo utilizado.

TR: Tiempo de retención en días

EF: Estiércol fresco

CE: Cantidad de estiércol

V<sub>l</sub>: Volumen líquido del biodigestor

V<sub>g</sub>: Volumen de gas

PB: Producción de biogás

D: Diámetro

L: Longitud

$V_{Td}$ : Volumen total del biodigestor.

$V_{Rb}$ : Volumen del reservorio de biogás.

$V_{Td}$ : Volumen total del biodigestor.

a: Ancho inferior de la zanja

b: Ancho superior de la zanja

p: Profundidad de la zanja

$V_{te}$ : Volumen del tanque de efluentes ( $m^3$ )

$C_d$ : Carga diaria ( $m^3$ )

$D_{te}$ : Diámetro del tanque (m)

$h_{te}$ : Longitud del tanque (m)

$p_d$ : Profundidad del biodigestor

$h_b$ : Distancia del tanque al biodigestor

## TABLA DE CONTENIDOS

RESÚMEN.....	XIX
SUMMARY .....	XX
INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVOS .....	3
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1 Residuos de origen animal .....	4
1.1.1 Estiércol porcino .....	4
1.1.2 Contaminación por purines de cerdo.....	5
1.1.3 Composición del estiércol de cerdo .....	6
1.2 Biodigestor taiwanés .....	7
1.2.1 Componentes de un biodigestor taiwanés .....	9
1.2.2 Parámetros de diseño.....	10
1.3 Digestión anaerobia.....	19
1.3.1 Condiciones para la digestión anaerobia.....	19
1.3.2 Etapas de la digestión anaerobia .....	20
1.3.3 Principales productos de la digestión anaerobia. ....	23
1.3.4 Beneficios ambientales de la digestión anaerobia.....	34
CAPÍTULO II	
2. MARCO METODOLÓGICO .....	35
2.1. Generalidades del área de estudio .....	35

2.1.1. Lugar de estudio.....	35
2.2 Metodología .....	36
2.2.1 Cuantificación del estiércol.....	36
2.2.2 Muestreo del estiércol .....	36
2.2.2 Muestreo del biol .....	37
2.2.3 Caracterización físico-química y microbiológico del estiércol pre (estiércol) y post degradación (biol). .....	38
2.2.4 Selección del Biodigestor.....	39
2.2.5 Biodigestor prototipo (tubular) .....	40
2.2.7 Cálculos del biodigestor experimental .....	45
2.2.8 Cálculos del biodigestor proyectado .....	48
2.2.9 Elaboración de planos .....	53
2.2.10 Costo/beneficio del diseño e implementación de un biodigestor. ....	53
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>54</b>
<b>3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>54</b>
3.1 Resultado de la caracterización físico-química y microbiológica pre y post degradación .....	54
3.1.1. Relación Carbono/ Nitrógeno (C/N) pre degradación.....	55
3.1.2 Potencial de hidrógeno pre y post tratamiento .....	56
3.1.3 Materia Orgánica pre y post tratamiento.....	57
3.1.4 Nitrógeno pre y post tratamiento.....	58
3.1.5 Fósforo pre y post tratamiento .....	59
3.1.6 Potasio pre y post tratamiento .....	60
3.1.7 Coliformes totales pre y post tratamiento .....	60

3.1.8	Sólidos totales (SST) pre y post tratamiento.....	61
3.1.9	Sulfuros pre y post tratamiento .....	62
3.2	Dimensiones del biodigestor diseñado.....	62
3.3	Monitoreo de temperatura.....	63
3.3.1	Temperatura del invernadero .....	63
3.3.2	Temperatura ambiente.....	64
3.4	Producción de metano diario.....	64
3.5	Análisis de costo y beneficio económico del diseño e implementación del biodigestor.	65
3.5.1	Diseño del biodigestor.....	65
3.5.2	Costos de implementación .....	65
3.5.3	Beneficios económicos de la implementación del biodigestor .....	67
3.5.4	Beneficios económicos anuales.....	68
	CONCLUSIONES .....	70
	RECOMENDACIONES .....	71
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Emisiones de metano de diferentes fuentes de origen animal de diversos países y regiones .....	5
Tabla 2-1: Producción de estiércol según etapa de cerdo .....	6
Tabla 3-1: Diferencias y similitudes del modelo taiwanés frente a otros biodigestores. ....	8
Tabla 4-1 Relación estiércol agua según tipo animal.....	11
Tabla 5-1: Generación de metano en diversos residuos .....	13
Tabla 6-1: Factor de Producción de biogás .....	14
Tabla 7-1 Ancho de plástico más comunes en el mercado .....	15
Tabla 8-1: Ancho de la bolsa de plástico de acuerdo a las dimensiones de la zanja.....	17
Tabla 9-1: Condiciones para la digestión anaerobia .....	19
Tabla 10-1: Propiedades del biogás .....	23
Tabla 11-1: Equivalencias de 1m <sup>3</sup> de biogás con otros combustibles.....	23
Tabla 12-1: Generación de excreta animal diaria.....	24
Tabla 13-1: Relación estiércol-agua según el estiércol utilizado .....	25
Tabla 14-1: Rangos de temperatura según tipo de fermentación. ....	26
Tabla 15-1: Tiempo de retención del biodigestor según temperatura para la producción de biogás .....	27
Tabla 16-1: Tiempo de retención del biodigestor de acuerdo a la temperatura para la producción de un fertilizante de buena calidad.....	27
Tabla 17-1: Efecto de las concentraciones de amoníaco y sulfuros en tratamientos anaeróbicos .....	29
Tabla 18-1: Concentración de algunos elementos inhibidores.....	30
Tabla 19-1: Valor porcentual de sólidos totales dentro de algunos residuos .....	31
Tabla 20-1: Análisis de biol con diferentes tratamientos. ....	32

Tabla 1-2: Análisis fisicoquímico y microbiológico del estiércol porcino .....	38
Tabla 2-2: Análisis fisicoquímico y microbiológico post tratamiento (Biol) .....	38
Tabla 3-2: Matriz de selección del modelo de biodigestor. ....	39
Tabla 4-2: Dimensiones de la zanja según ancho de rollo .....	51
Tabla 1-3: Caracterización físico-química y microbiológica pre y post degradación.....	54
Tabla 2-3: Resultados de los cálculos del biodigestor diseñado .....	62
Tabla 3-3: Resultados del promedio, varianza y desviación típica de la temperatura del invernadero.....	63
Tabla 4-3: Resultados del promedio, varianza y desviación típica de la temperatura ambiente	64
Tabla 5-3: Costo del diseño de un biodigestor .....	65
Tabla 6-3: Costos de materiales para la construcción del biodigestor tubular .....	66
Tabla 7-3: Beneficios económicos de la aplicación de un biodigestor tubular de 4.41 m <sup>3</sup> con una carga anual de 6570 kg de estiércol de cerdo.....	67
Tabla 8-3: Costo/beneficio en un período de 5 años.....	68

## ÍNDICE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Porcentaje de Carbono/Nitrógeno pre y post tratamiento.....	55
Gráfico 2-3: pH pre y post tratamiento .....	56
Gráfico 3-3: Porcentaje de materia orgánica pre y post tratamiento.....	57
Gráfico 4-3: Porcentaje de nitrógeno pre y post tratamiento .....	58
Gráfico 5-3: Concentración de fósforo pre y post tratamiento.....	59
Gráfico 6-3: Porcentaje de potasio pre y post tratamiento .....	60
Gráfico 7-3: Coliformes totales pre y post tratamiento.....	60
Gráfico 8-3: Sólidos totales pre y post tratamiento.....	61
Gráfico 9-3: Sulfuros pre y post tratamiento.....	62
Gráfico 10-3: Generación de biogás según el tiempo de retención.....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2: Ubicación del proyecto .....</b>	<b>35</b>
---	-----------

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía 1-1: Diagrama esquemático de un biodigestor tubular de plástico de bajo costo .....</b>	<b>7</b>
---	----------

<b>Fotografía 2-1: Ubicación del digestor en zanja protegida.....</b>	<b>8</b>
---	----------

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1: Estiércol diario .....	11
Ecuación 2-1: Carga diaria.....	11
Ecuación 3-1: Volúmen total de biodigestor.....	12
Ecuación 4-1: Volúmen líquido .....	12
Ecuación 5-1: Volúmen del gas .....	13
Ecuación 6-1: Sólidos totales .....	14
Ecuación 7-1: Sólidos volátiles.....	14
Ecuación 8-1: Rendimiento de producción de biogás.....	15
Ecuación 9-1: Volumen del cilindro .....	15
Ecuación 10-1: Longitud del biodigestor .....	16
Ecuación 11-1: Relación del volúmen total del biodigestor y volúmen del reservorio.....	16
Ecuación 12-1: Volumen del reservorio de biogás .....	16
Ecuación 13-1: Volúmen del tanque de carga y descarga.....	18
Ecuación 14-1: Longitud del tanque de carga y descarga .....	18

## ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A:** Estiércol porcino generado a diario
- Anexo B:** Registro de temperatura tomada al interior del invernadero
- Anexo C:** Registro de temperatura promedio del ambiente
- Anexo D:** Generación diaria de biogás
- Anexo E:** Biodigestor diseñado
- Anexo F:** Resultados de análisis de laboratorio
- Anexo G:** Fotografías de la experimentación realizada

## RESÚMEN

El objetivo de este estudio fue diseñar un biodigestor para la generación de biogás y biol en la comunidad de Illagua del Cantón Guaranda. Este estudio consistió en la cuantificación del estiércol porcino durante 15 días consecutivos, caracterización fisicoquímica pre y post degradación y selección del biodigestor apropiado para el proyecto. Para esto se elaboró una matriz de decisión llegando a elegir el modelo tubular como el más apropiado. Posteriormente se elaboró un prototipo al cual se dio un monitoreo de temperatura y pH. Además se realizó los cálculos y el diseño para el biodigestor, por último se realizó el análisis del costo y beneficio del proyecto y su viabilidad. Entre los resultados destacados tenemos la presencia de coliformes totales en el estiércol, que al inicio del proceso fue  $1.10E+07$  y al término del proceso de biodigestión alcanzó un valor  $<1$ , obteniendo una remoción del 99.99%. De la misma forma en cuanto al fósforo se obtuvo una disminución del 96.94% que se puede atribuir a la asimilación de bacterias durante su actividad metabólica en el proceso. En función a los resultados de los datos preliminares como disponibilidad de estiércol (18 kg), necesidad de producción de gas (1 tanque), requerimiento de área ( $1.756 \text{ m}^2$ ), mano de obra, operación, mantenimiento y factor económico; se tomó la decisión de diseñar el biodigestor tubular de estructura flexible de 3.42 m de longitud;  $4.41 \text{ m}^3$  de volumen total del biodigestor y con un diámetro de 1.28 m. Una vez concluido el proyecto de titulación se sugiere la implementación y su seguimiento a fin de contribuir al desarrollo comunitario y disminuir la contaminación a causa de los residuos generados por las actividades agrícolas.

**Palabras clave:** <BIOTECNOLOGÍA>, <BIODIGESTOR>, <BIOGÁS>, <DIGESTIÓN ANAEROBIA>, <EXCRETA PORCINA>, <BIOL>, <ILLAGUA (COMUNIDAD)>, <GUARANDA (CANTÓN)>

## SUMMARY

The objective of this research was to design a biodigester for the generation of biogas and biol in the community of Illagua, Guaranda Canton. This study consisted in the quantification of porcine manure for 15 consecutive days, physicochemical characterization pre and post degradation and selection of the appropriate biodigester for the project. For this, a matrix of decision was elaborated and the tubular model was chosen as the most appropriate one. Subsequently, a prototype was developed to which gave a monitoring of temperature and pH. In addition, the calculations and design for the biodigester were carried out. Finally, it was made an analysis of the costs and benefits of the project and its feasibility. Among the outstanding results we have the presence of total coliforms in the manure which at the beginning of process was  $1.10E+07$ , and at the end of the biodigestion process reached a value of  $<1$ , obtaining a removal of 99.99 %. In the same way as for phosphorus was obtained a decrease of 96.94 % that can be attributed to the assimilation of bacteria during their metabolic activity in the process. According to the results of the preliminary data such as availability of manure (18 kg), need for gas production (1 Tank), requirement of area ( $1.756 \text{ m}^2$ ), labor, operation, maintenance and economic factor; The decision was taken in the design of the tubular biodigester systems of flexible structure of length 3.42 m;  $4.41 \text{ m}^3$  of total volume of the biodigester and with a diameter of 1.28 m. Once the titling project is concluded, it is suggested that it be implemented and followed up in order to contribute to the Community development and reduce pollution due to the waste generated by agricultural activities.

**KEY WORDS:** <BIOTECHNOLOGY>, <BIODIGESTOR>, <BIOGAS>, <ANAEROBIC DIGESTION>, <EXCRETA PORCINE>, <BIOL>, <ILLAGUA>, <COMMUNITY>, <GUARANDA - CANTON>.

## INTRODUCCIÓN

### Identificación del Problema

Según estadísticas del Banco Mundial en nuestro país las emisiones de metano se han incrementado de 6.621,78 kilo tonelada (kt) a un 15.786,336 kt en los años 1970 y 2012 respectivamente (BBC, 2016). Las mismas que están relacionados con emisiones generados por actividades ganaderas y agrícolas. En la comunidad de Illagua, la mayoría de los habitantes se dedican a la agricultura y ganadería. Estas actividades según la FAO son fuentes de contaminación del aire, ya que la excreta animal representa aproximadamente el 40% de las emisiones globales, contribuyendo al calentamiento global y deteriorando progresivo del ambiente, afectando directamente a los moradores del sector. (FAO, 2016)

Otra de las problemáticas de suma importancia, es que algunos de los agricultores de esta comunidad aplican el estiércol y materia orgánica en diversos cultivos, y al realizar esto no tienen la debida higiene, contrayendo una serie de enfermedades producidas por hongos y bacterias presentes en éstos. Y las personas que lo hacen apilan las excretas de animal generando olores desagradables y proliferación de vectores (mosquitos).

Además la lejanía a la ciudad, y las condiciones viales dificultan el acceso al gas doméstico, que se hace necesario principalmente en invierno cuando toda la leña está mojada. Es así que la combustión de biomasa de plantas como comburente en cocinas de leña desprende dióxido de carbono, óxido nitroso y partículas de humo, ocasionando un riesgo para el desarrollo de enfermedades respiratorias según la inhalación prolongada (Pérez-Padilla, 2007).

Todo esto es motivo de gran preocupación, por ser de lo más común en esta localidad y se debe dar una oportuna solución, optando por el uso de tecnologías ambientalmente sostenibles, mediante el aprovechamiento de recursos de los cuales se dispone en sector rural.

## **Justificación del proyecto**

Los biodigestores son unidades que en su parte interna cargan cierta cantidad de residuos orgánicos y excretos de animal el cual mediante un proceso de biodigestión genera biogás y biol, por ende es una alternativa al uso de GLP, leña y fertilizantes químicos (Cepero, 2012). Logrando además un tratamiento de la materia orgánica desechada por ganado, cerdos, etc y al mismo tiempo disminuye las emisiones de metano presentes en el estiércol animal y reduce la contaminación de aguas subterráneas o acequias (Fregoso, 2010).

Es por esto que la comunidad está interesada en emprender proyectos como este que son nuevos e innovadores y al no contar con recursos económicos suficientes para su estudio, la realización del diseño sería de gran ayuda a fin de que en lo posterior mediante gestiones a entidades públicas o privadas se lo pueda construir e iniciar un proyecto magno.

El estudio y luego la implementación de biodigestores es primordial en comunidades rurales para la obtención de buenos resultados, porque si se implementa directamente sin previa investigación existe la posibilidad de gastos innecesarios de recursos humanos, naturales y económicos (Pazmiño Macas, 2016). Por lo que con el desarrollo del presente trabajo se busca evitar esto.

En la provincia Bolívar entre el 2004 y 2006 la Corporación para la Investigación Energética (CIE) ha realizado la instalación de pequeños biodigestores para la generación de biogás y biol sin mayores problemas, obteniéndose muy buenos resultados en cuanto a la generación de biogás (CIE, 2010).

De igual forma en el cantón las Naves se ha realizado el estudio y diseño de un biodigestor tipo hindú en base a datos reales de la situación actual, demostrándose los beneficios del biogás como fuente de energía y del efluente como fertilizante con un ahorro anual de 301.2\$ y 627\$ (Martínez, 2010). Por la cual los biodigestores son una alternativa viable a problemas ambientales y de salud, al adaptarse fácilmente a las condiciones ambientales que se presenten.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar un biodigestor para la generación de biogás y biol en la comunidad de Illagua del cantón Guaranda.

### **Específicos**

- ✓ Caracterizar físico-química y microbiológicamente el estiércol pre y post degradación.
- ✓ Dimensionar un biodigestor en base a parámetros óptimos de diseño obtenidos previamente de la elaboración de un prototipo.
- ✓ Evaluar el costo/beneficio del diseño e implementación de un biodigestor.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

### 1.1 Residuos de origen animal

Los residuos de origen animal que se generan en las chacras provienen de porcinos, ganado vacuno, aves entre otros. Los que poseen microorganismos patógenos y materia orgánica y al mismo tiempo desprenden malos olores. También ser fuente directa de bacterias y nitratos, los cuales son principales contaminantes del agua potable y sobretodo causantes de enfermedades a las personas (PEDREÑO, et al, 1995).

En el campo los agricultores utilizan con frecuencia los desechos de origen animal a manera de fertilizante, aplicándolo directamente al suelo. Al emplear cantidades excesivas o en forma indebida puede llegar a contaminar fuentes de agua subterránea, arroyos y lagos, poniendo en riesgo la salud humana. (RIVAS, 2011)

Se considera que las excretas procedentes de animales como porcinos, bovinos, equinos y caprinos son sustratos ideales para la obtención de biogás y biol, sin embargo el más indicado es el estiércol de cerdo, ya que no flota en la superficie del medio acuoso y se descompone con gran facilidad en el entorno, favoreciendo la descomposición por bacterias, aparte de que los cerdos suelen ser alimentados con abundante materia orgánica propicios para la generación y desarrollo de bacterias. (PEDREÑO, et al, 1995).

#### *1.1.1 Estiércol porcino*

Los purines de cerdos proporcionan azufre, magnesio, calcio y oligoelementos. A diferencia de otras excretas de animal, la de cerdos posee cantidades muy elevadas de zinc y cobre, ya que éstos se adhieren al alimento que se suministran a dichos animales. (SIMPSON, K.,1991)

### 1.1.2 Contaminación por purines de cerdo

La actividad porcícola produce contaminación de aguas, suelo y aire; esto variará según el estado fisiológico y la dieta del animal, además el grado de afectación dependerá de si ha existido o no separación de sólidos, de la cantidad de agua utilizada, y del tratamiento proporcionado a los residuos (CONCELLÓN, 1974)

La siguiente tabla hace referencia a las emisiones de la excreta de cerdo el cual representan cerca de la mitad de las emanaciones de estiércol generado en el sector pecuario. Por tanto, el aprovechamiento de metano en biodigestores proporciona una excelente oportunidad para disminuir los efectos del cambio climático y al mismo tiempo provisión de energía disponible (GMI, 2011).

**Tabla 1-1: Emisiones de metano de diferentes fuentes de origen animal de diversos países y regiones**

Región /país	Emisiones (millones de toneladas de metano por año y fuente)						Total
	Ganado de leche	Otro ganado	Búfalos	Ovejas y cabras	Cerdos	Aves de corral	
África Subsahariana	0.10	0.32	0.00	0.08	0.03	0.04	0.57
Asia	0.31	0.08	0.09	0.03	0.50	0.13	1.14
India	0.20	0.34	0.19	0.04	0.17	0.01	0.95
China	0.08	0.11	0.05	0.05	3.43	0.14	3.84
América Central y América del Sur	0.10	0.36	0.00	0.02	0.74	0.19	1.41
Asia Occidental y África del Norte	0.06	0.09	0.01	0.05	0.00	0.11	0.32
América del Norte	0.52	1.05	0.00	0.00	1.65	0.16	3.39
Europa Occidental	1.16	1.29	0.00	0.02	1.52	0.09	4.08
Oceanía y Japón	0.08	0.11	0.00	0.03	0.10	0.03	0.35

<b>Europa Oriental y CEI</b>	0.46	0.63	0.00	0.01	0.19	0.05	1.38
<b>Otros países desarrollados</b>	0.01	0.03	0.00	0.01	0.04	0.02	0.11
<b>Total</b>	3.08	4.41	0.34	0.34	8.38	0.97	17.52

**Fuente:** Steinfeld, Gerber, Wassenaar, Castel, Rosales, & Haan, 2009, pág. 108

**Realizado por:** Rochina Hilda, 2017

### **1.1.3 Composición del estiércol de cerdo**

Las excretas de cerdo son en su totalidad heterogéneas, compuestas principalmente por una gran diversidad de materiales orgánicos. Además los efluentes de cerdo pueden estar constituidos por líquidos en gran proporción, provenientes de aguas de lavado; también de sólidos generalmente orgánicos. Su consistencia permite que sea excelente para su utilización en biodigestores (Flores, J. 2009).

#### **1.1.3.1 Producción de estiércol diario**

Según Flores, (2009) en su estudio describe que la generación de la excreta dependerá básicamente de factores como el peso, estado fisiológico y la dieta; es así que una cerda en lactancia puede llegar a generar mayor cantidad de excretas que demás categorías de cerdos, a esto se suma la dieta suministrada en esta etapa para que logre alimentar a los cerdos recién nacidos. Esto se puede apreciar en la siguiente tabla 4-1:

**Tabla 2-1: Producción de estiércol según etapa de cerdo**

Categoría de cerdos	Estiércol (kg)
<b>Cerdas en gestación</b>	3.60
<b>Cerdas en lactancia</b>	6.40
<b>Lechones destetados</b>	0.35
<b>25-100 kg</b>	2.30
<b>Machos</b>	3.00

**Fuente:** Oliveira, FATMA (Brasil) Committee of National Pork Producers Council

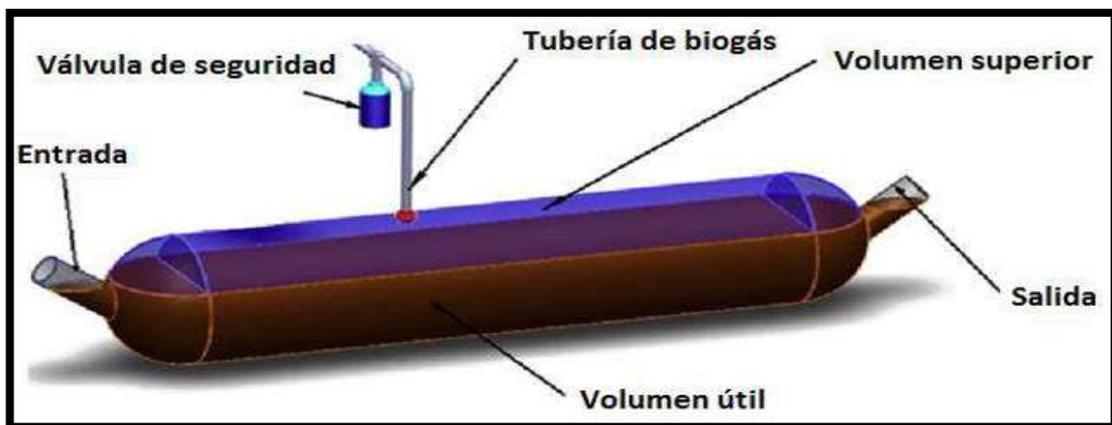
**Realizado por:** Rochina Hilda, 2017

## 1.2 Biodigestor taiwanés

Este tipo de biodigestor llamado también de balón, tubular o bolsa, fue introducido en Taiwán en el año de 1960. Construido de plástico inflable y es muy utilizado en China. Estos biodigestores se hallan en volúmenes de 2.2 a 13.5 m<sup>3</sup>, al ser los de 6 m<sup>3</sup> los que generalmente se utilizan. (TAUSEEF, 2013)

Según MAZUMDAR, (1982) este tipo de biodigestor de bajo costo fue creado por Chung Po de Taiwán a partir de goma de neopreno. En este modelo se puede encontrar la cámara de digestión, sedimentación y el depósito de gas todo esto combinados en una sola unidad. Tanto así que la materia orgánica ingresada no ocupa todo el espacio del biodigestor, puesto que lo restante será para cuando la bolsa se infle a medida que el gas que se va formando. (véase figura 1-1).

En la figura 1-1 se muestra las partes principales de un biodigestor taiwanés conocido como modelo salchicha o tubular, en donde en la bolsa se desarrolla todo el proceso; dando la acumulación del gas a medida que se da la digestión anaerobia, por lo el 75% corresponde a la materia que ingresa y el restante es el espacio para el biogás a generar:



**Fotografía 1-1:** Diagrama esquemático de un biodigestor tubular de plástico de bajo costo

Fuente: (FERRER, 2011)

Buscando sobresalir ante las desventajas de otros modelos como el chino e hindú, respecto a su alto costo, complejidad, Thomas Preston y Lylian Rodríguez en 1985 desarrollaron en Taiwán el modelo de biodigestor tubular de bajo costo, el cual reemplaza a la cámara acero (hindú) o de concreto (modelo chino) por plástico de polietileno, disminuyendo el costo en materiales y mano

de obra. Similar al desarrollado por Chung Po y a diferencia del modelo hindú y chino, éste se lo ubica en una zanja, cubierto por un invernadero en zonas frías (Véase figura 2-1)



**Fotografía 2-1:** Ubicación del digestor en zanja protegida con tapiales de adobe

Fuente: Martí. 2008

**Tabla 3-1: Diferencias y similitudes del modelo taiwanés frente a otros biodigestores.**

Modelos de Biodigestores			
Factor	Salchicha o Digestor Tubular	Hindú ó Cúpula Flotante	Chino ó Cúpula Fija
Tiempo de vida útil (años)	6-8	$\geq 15$	$\geq 20$
Restricción a sustratos	Sin restricción	Materiales fibrosos suelen atascar la cúpula flotante	Sin restricción
Presión de biogás	Presenta una presión de gas variable y baja	No presenta escapes de gas si se da un correcto mantenimiento a la cúpula flotante de acero	Presión de gas variable
Mantenimiento del sistema	Simple y sencillo	Altos niveles de mantenimiento a la cúpula	Fácil después de una cuidadosa

		flotante, eliminación de óxido, necesidad de pintar regularmente la cúpula de gas	familiarización con la planta
Tamaños típicos	4-100 m <sup>3</sup>	5-15 m <sup>3</sup>	≥5 m <sup>3</sup>
Producción diaria de gas	Alta	Media	Media
Materiales de construcción	La lona de plástico (geomembrana)	Cemento, ladrillo o bloque y cúpula flotante de acero anticorrosivo	Cemento, ladrillo o bloque y varilla de hierro.
Usos recomendados	Soluciones rápidas	Fiable en grandes tamaños	Bueno para residuos agrícolas

Fuente: (VERA, 2014)

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

### 1.2.1 Componentes de un biodigestor taiwanés

Existen elementos comunes en la elaboración de biodigestores en países en vías de desarrollo como China, India y otros; descritos en líneas posteriores (TAUSEEF, 2013):

- Fosa/zanja: Lugar donde se ubicará el biodigestor semienterrado con las siguientes características; inclinación de las paredes laterales de la zanja del 10% y la parte inferior de la zanja una pendiente mínima del 0.5% facilitando el flujo diario del material que ingresa y sale por gravedad.
- Tanque de mezclado: El material a ingresar en el biodigestor se mezcla con cantidad de agua requerida para obtener una mezcla homogénea, y así evitar el taponamiento de la tubería al ingresar la carga.
- Tubería de entrada: el sustrato se ingresa al interior del digestor por medio del tubo de entrada.
- Digestor: En su mayoría son de polietileno, éste debe ser instalado sobre una superficie seca, plana y sin material que pudieran dañarlo. El material se degrada al interior del digestor y el biogás se genera como producto final de la actividad bacteriana.

La cantidad de materia a ingresar dentro de la bolsa depende del tamaño de la misma, se debe tomar en cuenta que se debe cargar cerca del 75% de la bolsa, dejando un 25% para generación de biogás.

- Tubería de gas: Se ubica en la parte superior de la bolsa, en el cual lleva el biogás al lugar de almacenamiento.
- Tubería de salida: El material degradado se descarga al tanque o depósito de salida a través de la tubería de salida.
- Válvula de seguridad. Consiste en una botella de plástico o similar con agua, el cual tiene la función de permitir el paso del biogás de manera normal, pero a su vez sirva como una trampa de agua, dejando escapar el exceso de presión existente dentro del sistema, evitando la ruptura del plástico o bolsa. Se coloca en un lugar próximo al biodigestor. (TAUSEEF, 2013)

### ***1.2.2 Parámetros de diseño***

Para el diseño de un biodigestor se tiene que tomar en cuenta lo siguiente: factores humanos: disponibilidad de materiales construcción; materia prima como: residuos agrícolas, pecuarios; mano de obra; área disponible; factores biológicos: plagas y enfermedades; factores físicos: geografía, localización, aspectos climáticos, características del suelo y vías de acceso, factores utilitarios: finalidad del biodigestor si es de tipo energético, sanitario, fertilizante o integral (UREL, 2013)

Adicionalmente el diseño del biodigestor dependerá directamente de los factores de generación del biogás y biol, cuya descripción se encuentra en el apartado correspondiente a los factores que intervienen en la generación de biogás. (VARNERO, M. T, 2011,p.29)

#### ***1.2.2.1 Criterios de diseño y dimensionamiento para un digestor taiwanés***

Este modelo de biodigestor puede ser aplicada a dependiendo de los requerimientos y necesidades del lugar a implementarse, por esta razón se han establecido diversos criterios:

### 1.2.2.1.1 Carga de mezcla diaria de entrada (Cd)

Cada día el biodigestor es alimentado por una carga llamada mezcla de estiércol y agua, para este fin se toma en cuenta lo siguiente:

**Tabla 4-1 Relación estiércol agua según tipo animal**

Tipo de animal	Estiércol/Agua
<b>Bovino</b>	1/1
<b>Porcino</b>	1/3
<b>Aves</b>	1/3

Fuente: GARCÍA,2016

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

El cálculo de la cantidad de estiércol diario se da de la siguiente manera:

#### **Ecuación 1-1**

$$Ced = \text{kg de estiércol} \times N^{\circ} \text{ de cerdos}$$

De este modo la relación 1:3 será la que se aplique en la parte experimental del trabajo, a esta combinación se la conoce como mezcla de carga diaria.

#### **Ecuación 2-1**

$$C_d = EF \text{ (kg)} + H_2O \text{ (kg)}$$

Dónde:

$C_d$  :Carga diaria.

EF: Cantidad de estiércol fresco (kg)

$H_2O$ : Proporción de agua en Kg

(GUZMÁN,2014)

#### 1.2.2.1.2 Volumen total de biodigestor

El volumen total se considera a la fracción líquida y gaseosa las cuales regularmente se da un espacio del 75 % para el volumen de la parte líquida, lo restante 25 % para la parte gaseosa dando un volumen total , para la determinación de dichas proporciones se aplican las siguientes ecuaciones 3, 4, 5 y 6. (Herrero, 2008a: p.11)

#### **Ecuación 3-1**

$$V_{Td} = V_l + V_g$$

Donde:

$V_{Td}$ : Volumen total del digestor.

$V_g$ : Volumen de biogás producido

$V_l$ : Volumen líquido.

(CALDERÓN, 2015)

#### 1.2.2.1.3 Volumen líquido

#### **Ecuación 4-1**

$$V_l = C_d \times T_R$$

Dónde:

$V_l$ : Volumen de la fracción líquido.

$T_R$ : Tiempo de retención en días.

$C_d$ : Carga diaria en Kg/día

(CALDERÓN, 2015)

#### 1.2.2.1.4 Volumen del gas

#### Ecuación 5-1

$$V_g = \frac{0.25}{0.75} \times V_l$$

Dónde:

$V_g$  : Volumen que ocupa la fase gaseosa

0.25: Porcentaje que ocupa la parte gaseosa

0.75: Porcentaje que ocupa la parte líquida

$V_l$ : Volumen líquido

(Herrero, 2008a: p.11)

#### 1.2.2.1.5 Potencial de producción de metano

Hace referencia al volumen de metano generado por kilogramo de SV que se encuentran en la materia orgánica, en la siguiente tabla se indica el potencial de producción de metano de diferentes excretas de animales y otras fuentes.

**Tabla 5-1: Generación de metano en diversos residuos**

EXCRETA DE:	$P_{CH_4} \left[ \frac{m^3}{kg SV} \right]$
Excreta de res	0.35
Excreta de Cerdo	0.45
Desecho Municipal	0.2
Aguas negras	0.406
Excreta de Gallina	0.39

Fuente: (GUZMÁN, 2014)

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

**Tabla 6-1: Factor de Producción de biogás**

Tipo de animal	Factor general de biogás (m <sup>3</sup> )
<b>Cerdo</b>	0.39
<b>Bovino</b>	0.27

Fuente: HERRERO, 2008

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

*1.2.2.1.6 Rendimiento de producción de biogás:*

Para calcular la producción de biogás del estiércol fresco primero se requiere determinar la cantidad de sólidos totales y posteriormente los sólidos por medio de las siguientes fórmulas:

**Ecuación 6-1**

$$ST = \frac{\text{kg EF} * 0.17}{V_1(\text{m}^3)}$$

Donde:

ST: Sólidos totales ( $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ )

EF: Estiércol fresco a ingresar en el biodigestor (kg)

V<sub>1</sub>: Volumen líquido del biodigestor (m<sup>3</sup>)

**Ecuación 7-1**

$$SV = ST * 0.77$$

Donde:

SV: Sólidos volátiles

### Ecuación 8-1

$$PB = \text{Factor general (m}^3\text{)biogás} * SV$$

Donde:

PB = Producción de biogás

Diámetro del biodigestor:

**Tabla 7-1 Ancho de plástico más comunes en el mercado**

ANCHO ROLLO (m)	PERIMETRO (m)	DIAMETRO (m)
1	2	0.64
1.25	2.5	0.8
1.5	3	0.96
1.75	3.5	1.12
2	4	1.28

Fuente: HERRERO, 2008

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

#### 1.2.2.1.7 Longitud del biodigestor

Para el dimensionamiento de biodigestores tubulares se emplea la fórmula del volumen de un cilindro que se expresa a continuación:

### Ecuación 9-1

$$V_{Td} = \pi \times \frac{D^2}{4} \times L$$

(GUZMÁN, 2014)

### Ecuación 10-1

$$L = \frac{4 \times V_{Td}}{\pi D^2}$$

(GUZMÁN, 2014)

Donde:

D: diámetro

$V_{Td}$ : Volumen total del biodigestor.

L: Longitud del biodigestor

(GUZMÁN, 2014)

#### 1.2.2.1.8 Reservorio

Para este modelo específico de biodigestor se sugiere que el volumen tanto del biodigestor y del tanque reservorio para fincas pequeñas debe tener una relación de 5:1, para su cálculo se utiliza la ecuación siguiente:

### Ecuación 11-1

$$\frac{V_{Td}}{V_{Rb}} = \frac{5}{1}$$

### Ecuación 12-1

$$V_{Rb} = \frac{V_{Td}}{5}$$

Donde:

$V_{Rb}$ : Volumen del reservorio de biogás.

$V_{Td}$ : Volumen total del biodigestor.

(HERNÁNDEZ, 2012)

### 1.2.2.1.9 Dimensiones de la zanja del biodigestor

La determinación de éste parámetro es fundamental en el diseño final del biodigestor ya que sobre esta zanja donde se adaptará el plástico tubular, para esto se debe seleccionar un lugar apropiado de preferencia cercano a la fuente del sustrato y al sitio de aprovechamiento del biogás, sobretodo en un espacio en el cual el sol lo mantenga cálido. Luego de haber elegido el sitio se puede dimensionar el biodigestor pues de aquello dependerá tanto el ancho y longitud de la zanja (HERRERO,2008)

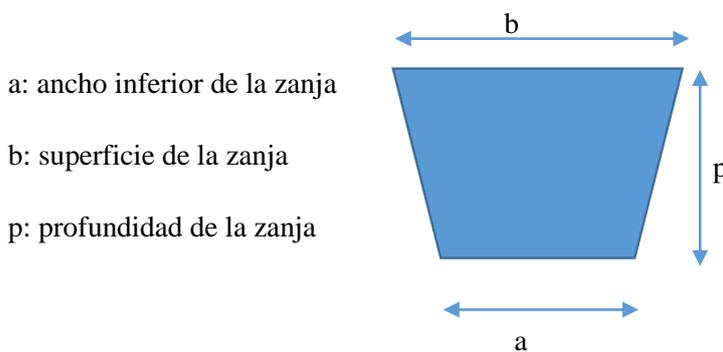
**Tabla 8-1: Ancho de la bolsa de plástico de acuerdo a las dimensiones de la zanja**

Ancho de la bolsa de plástico	Ancho inferior de la zanja (a)	Ancho superior de la zanja (b)	Profundidad de la zanja (p)
2 metros	0.7 m	0.9 m	1 m
1.75 metros	0.6 m	0.8 m	0.9 m
1.5 metros	0.5 m	0.7 m	0.8 m
1.25 metros	0.4 m	0.6 m	0.7 m
1 metro	0.3 m	0.5 m	0.6 m

Fuente: (Herrero, 2008c: p.27)

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

Donde:



#### 1.2.2.1.10 Tanque de carga y descarga de efluentes

Volumen del tanque:

En este tanque se introduce la mezcla de estiércol y agua en relación 1:3, según Galeano (2010) en su estudio sugiere que la capacidad del tanque tanto para la carga y descarga de efluente debe ser 3 veces mayor a la cantidad de mezcla, con la finalidad de contar con un volumen suficiente en caso posibles daños del biodigestor. Para esto se aplica la siguiente ecuación.

**Ecuación 13-1**

$$V_{te} = 3 * C_d$$

Donde:

$V_{te}$ : Volumen del tanque de efluentes ( $m^3$ )

$C_d$ : Carga diaria ( $m^3$ )

Longitud del tanque:

**Ecuación 14-1**

$$h_{te} = p_d - h_b$$

Donde:

$p_d$ : Profundidad del biodigestor

$h_b$ : Distancia del tanque al biodigestor

### 1.3 Digestión anaerobia

Es la degradación de la materia un proceso que llevan a cabo las bacterias, es así que el estiércol fresco actúan microorganismos que al digerirlo son capaces de producir metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). La principal condición para la generación de biogás es que las bacterias actúen en ausencia de aire, llamado también digestión anaerobia proceso ideal para un biodigestor.

Según estudios ejecutados en China la digestión anaerobia reduce considerablemente la transmisión de enfermedades ya que las excretas de animales y humanos al ser tratados disminuye cerca de un 95 % de parásitos y bacterias causantes de problemas en la salud pública” (MCGARRY, 1978).

#### 1.3.1 Condiciones para la digestión anaerobia

Es necesario contar con los parámetros descritos en la tabla 9-1; para generar una degradación óptima; además de establecer un medio apto para el desarrollo de las fases de Hidrólisis, fermentativa, acetogénica y metanogénica (DEUBLEIN, 2008)

**Tabla 9-1: Condiciones para la digestión anaerobia**

Parámetros	Hidrólisis/acidogénesis	Formación de metano
<b>Temperatura</b>	25-35 °C	Mesófilos:32-42°C
		Termófilos: 50-58 °C
<b>Rango de Ph</b>	5.2 – 6.3	6.7 – 7.5
<b>Relación C:N</b>	10 – 45	20-30
<b>Materia seca</b>	< 40% de materia seca	<30% de materia seca
<b>Potencial redox</b>	+ 400 a -300 mV	<-250 mV
<b>Relación C:N:P:S requerida</b>	500:15:5:3	600:15:5:3
<b>Traza de elementos</b>	Sin exigencia especial	Esenciales: Ni, Co, Mo, Se

Fuente: (DEUBLEIN, 2008)

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

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

La mayoría de estas fases son un poco complejas, por la cantidad de reacciones bioquímicas que conlleva y por la diversidad de microorganismos que albergan es por eso que según (VARNERO, M. T., 2011) las clasifica en:

- Hidrólisis
- Fermentativa o acidogénica
- Acetogénica
- Metanogénica

#### ***1.3.2.1 Hidrólisis***

En esta fase las partículas y moléculas complejas (proteínas, lípidos e hidratos de carbono) son hidrolizadas por enzimas que generan los microorganismos acidogénicos o fermentativos, dando lugar a partículas más simples (aminoácidos, ácidos grasos de cadena larga y azúcares). (VARNERO, M. T., 2011)

Además los microorganismos no pueden degradar directamente la materia orgánica por lo que deber ser hidrolizados a compuestos solubles, que puedan atravesar la pared celular. Esta fase es primordial para la degradación anaeróbica de la materia orgánica compleja. (VARNERO, M. T., 2011)

Las moléculas complejas que se hallan en esta fase son hidrolizadas por la acción de enzimas extracelulares originadas por microorganismos hidrolíticos (MARTÍ, 2006). Según estudios de HILBERT (2003), la etapa hidrolítica suele ser una limitante de la velocidad global en el transcurso del proceso sobre todo al tratar residuos con elevado contenido de sólidos.

También la etapa de hidrólisis depende principalmente de la temperatura del proceso, de la composición bioquímica del sustrato (contenido de lignina, proteínas, carbohidratos y grasas), del tiempo de retención hidráulica, del tamaño de partículas, de la concentración de productos de hidrólisis, de la concentración de amonio y del nivel de pH. (VARNERO, M. T., 2011)

### *1.3.2.2 Etapa fermentativa o acidogénica*

Fase en la que se da la fermentación de moléculas orgánicas de fácil degradación a compuestos que tienen que ser usadas por bacterias metanogénicas de forma directa (fórmico, acético, H<sub>2</sub>) y compuestos orgánicos menos complejos (etanol, propiónico, láctico, valérico y butírico) que pueden ser utilizados por bacterias acetogénicas en la etapa posterior del proceso (BUENROSTRO,2000).

La presencia de este grupo de bacterias es muy importante, ya que a más de producir el alimento para grupos de bacterias que intervienen en lo posterior, son capaces de eliminar trazas de oxígeno disuelto en el proceso. A este grupo de microorganismos corresponden bacterias anaeróbicas obligadas y bacterias facultativas, que en conjunto se las conoce como bacterias formadoras de ácidos (DOMINGUEZ, 2000)

Es decir en esta etapa los aminoácidos, ácidos grasos de cadena larga y azúcares son fermentados por bacterias acidogénicas, dando origen a hidrógeno, alcoholes, ácidos grasos de cadena corta, dióxido de carbono, entre otros.

### *1.3.2.3 Etapa acetogénica*

Etapa en la cual ácidos grasos por acción de microorganismos llamados acetogénicos son convertidos en dióxido de carbono, hidrógeno y ácido acético; estos logran ser utilizadas directamente por bacterias metanogénicas, sin embargo otros (ácidos grasos volátiles, etanol y ciertos compuestos aromáticos) tienen que ser convertidos en productos más simples, como hidrógeno H<sub>2</sub> y acetato CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>, mediante bacterias acetogénicas. (ANCÍVAR, 2013)

(ANCÍVAR, 2013), indica que hay un tipo especial de bacterias acetogénicas, que son capaces de desarrollarse heterotróficamente en presencia de compuestos monocarbonados (mezcla H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>) o azúcares, dando lugar a la formación de acetato como único producto.

Al mismo tiempo en esta etapa coexisten bacterias homoacetogénicas las cuales consumen el hidrógeno como sustrato, al metabolizarlo dichos microorganismos logran conservar el hidrógeno

a bajas presiones parciales y por ende, propicia un ambiente ideal para la funcionalidad de las bacterias acidogénicas y acetogénicas (IDAE, 2007).

Ya en esta fase, las bacterias anaeróbicas en su mayoría han obtenido alimento de la biomasa, los cuales son digeridos y dan como resultado productos de desechos de sus células, (VARNERO, M. T., 2011). Productos ácidos volátiles sencillos que, en lo posterior serán utilizados como sustento de bacterias metanogénicas (MARTÍ, 2006).

#### *1.3.2.4 Etapa metanogénica*

Fase en la cual microorganismos metanogénicos generan metano a base de ácido acético, además de bacterias anaeróbicas estrictas, las que trabajan sobre productos provenientes de etapas anteriores. Son considerados como los más significativos en el consorcio de microorganismos anaerobios, son los causantes de la formación del metano y de la destrucción del medio de etapas anteriores (VARNERO, M. T., 2011).

Los microorganismos metanogénicos finalizan el proceso de digestión anaeróbica con la formación de metano a base de sustratos monocarbonados o utilizando dos átomos de carbono con enlace covalente como:  $H_2/CO_2$ , acetato, fórmico, algunas metilaminas y metanol (GÓMEZ et al, 2007). A esta fase corresponde dos grandes grupos de bacterias, según el sustrato principal que metabolizan: acetoclásticos, que consumen metanol, acetato y algunas aminas e hidrogenotróficos, que consumen fórmico,  $H_2/CO_2$  (MARTÍ, 2006).

Según estudios indican que un 70 % del metano generado en los biodigestores anaeróbicos se originan de la descarboxilación de ácido acético, mientras los organismos metanogénicos en su mayoría utilizan el  $H_2$  como potencial aceptor de electrones, únicamente dos géneros son capaces de utilizar acetato (VARNERO, M. T., 2011). Es decir que el metano sobrante procede de los sustratos ácido fórmico, ácido carbónico y metanol, de éstos el de mayor importancia es el carbónico, mismo que es reducido por el hidrógeno, igualmente originado en la etapa anterior (Hilbert, 2003).

### 1.3.3 Principales productos de la digestión anaerobia.

#### 1.3.3.1 Biogás

El biogás es una mezcla constituida de metano en mayor proporción, seguido de dióxido de carbono y otros gases en menor porcentaje como el ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), hidrogeno (H<sub>2</sub>), amoniaco (NH<sub>3</sub>), etc. Su composición dependerá de las condiciones de proceso y de la materia orgánica digerida. (AVENDAÑO, 2010). Además el biogás es inflamable cuando su contenido de metano supera el 45 %; estas particularidades se pueden apreciar en la tabla 10-1.

**Tabla 10-1: Propiedades del biogás**

Características	Valor
Inflamabilidad de biogás en el aire (%)	6-12
Porcentaje de metano (%)	55-70
Porcentaje de dióxido de carbono (%)	27-44%
Temperatura de ignición (°C)	650-750
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1.08
Masa molar (kg/kmol)	16.043
Presión crítica (atmósferas)	74-88
Olor	-Presenta un olor característico (huevo podrido) que indica la presencia de Sulfuro. -No presenta olor si biogás es desulfurado.

Fuente: (VERA, 2014)

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

**Tabla 11-1: Equivalencias de 1m<sup>3</sup>de biogás con otros combustibles**

1 m <sup>3</sup> de Biogás es igual a:	
Carbón mineral(kg)	0.74
Diésel (l)	0.55
Leña (kg)	3.5
Gas de cocina (kg)	0.45
Gasolina (l)	0.61

Fuente: CALDERÓN, 2015

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

El metano por su contenido de metano puede ser utilizado en la cocción de alimentos, generar calor o electricidad, contribuyendo a las necesidades donde se encuentre instalado el biodigestor.

#### *1.3.3.1.2 Factores que intervienen en la generación de biogás.*

Para una mejor producción de biogás, variará acorde a la clase de animal, dieta suministrada y la descomposición de los diversos elementos que intervienen en la degradación de la materia orgánica. Estos factores influyen en la generación y rendimiento de biogás por lo cual se dificulta la obtención resultados comparativos, los cuales se detallan a continuación (VERA, 2014).

- **Estiércol disponible**

El estiércol fresco es el elemento primordial para la producción de biogás, ya que en él se encuentran microorganismos encargados de realizar el proceso de digestión anaerobia. Los residuos a ser utilizados deben ser de fácil descomposición.

El estiércol porcino y el de humano son los más eficientes en la generación de biogás, pero el inconveniente con éstos es que producen un fertilizante muy ácido. (HERRERO, 2008)

**Tabla 12-1: Generación de excreta animal diaria**

Animal	Kilogramos de excreta generada (Peso del animal: 100 kg)
<b>Bovino (kg)</b>	8
<b>Cerdo (kg)</b>	4
<b>Caprino (kg)</b>	4

Fuente: (HERRERO, 2008)

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

La materia orgánica debe poseer una cantidad apropiada de nutrientes como nitrógeno, fosforo y sulfuro, necesarios en la producción del biogás, además tiene que ser de fácil degradación y al mismo tiempo la alimentación al biodigestor debe ser de manera continua para que se dé una mayor producción de biogás. (RAJENDRAN, 2012)

- **Relación estiércol-agua**

Es importante tener presente que de la relación de estiércol y agua, depende el nivel partículas en la solución para la degradación y posterior obtención del biogás y biol, así como el tiempo que éste permanecerá en biodigestor. Además se debe tener presente que el exceso y la falta de agua son dañinos para una fermentación adecuada. Es así que la cantidad de agua fluctuará según el tipo de materia utilizada como se puede apreciar a continuación en la tabla 13-1:

**Tabla 13-1: Relación estiércol-agua según el estiércol utilizado**

Tipo de estiércol	Proporción a utilizar			
	Porción de Estiércol	Porcentaje (%)	Porción de Agua	Porcentaje (%)
<b>Porcino</b>	1 parte	25	3 partes	75
<b>Bovino</b>	1 parte	50	1 parte	50
<b>Gallinaza</b>	1 parte	25	3 partes	75

Fuente: (LUNA,2015)

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

- **Mezcla**

Es de suma importancia que se realice una buena mezcla tanto en el ingreso de la carga al sistema y durante el proceso, pues a menudo el material en descomposición forma natas que imposibilitan la salida de los gases sin embargo el exceso de mezcla elimina los microorganismos (RAJENDRAN, 2012).

En el caso del biodigestor modelo taiwanés, que no cuentan con un sistema de agitación y mezclado, se lo realiza dando movimientos leves de un lado hacia otro de la bolsa. (CANO-HERNÁNDEZ, 2016)

- **Temperatura del proceso**

Se estima que es el factor más importante para el funcionamiento del biodigestor, por ende es un parámetro al cual se tiene que dar mayor atención al momento de diseñar el biodigestor. Al mismo tiempo que se incrementa la temperatura, se acelera la velocidad de crecimiento de las bacterias y por consiguiente también sucede con el proceso de digestión anaerobia y la producción de biogás. (VARNERO, M. T., 2011)

En cada uno de los rangos de temperaturas, se presentan valores apropiados u óptimos de operación, así como se indica en la tabla 13-1, en el cual además se exponen los rangos del período de fermentación.

**Tabla 14-1: Rangos de temperatura según tipo de fermentación.**

Fermentación	Mínimo (°C)	Máximo (°C)	Óptimo (°C)	Tiempo de Fermentación (Días)
<b>Termofílica</b>	25 - 45	75 - 80	50 - 60	10 - 15
<b>Mesofílica</b>	15 - 20	35 - 45	25 - 35	30 - 60
<b>Psicrofílica</b>	4 - 10	20 - 25	15 - 18	>100

Fuente: (PAGUAY,2015)

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

Como norma general, la actividad microbiana se duplica cuando la temperatura asciende cada 10 °C, siempre que se encuentre en el intervalo de temperatura óptima, tal como lo muestra la figura 2-1. (VARNERO, M. T., 2011)

- **Tiempo de retención**

Es el tiempo en el cual la materia orgánica se puede descomponer al interior del biodigestor mediante la digestión anaerobia lo que indica que es el periodo que necesitan estas bacterias para degradar el lodo y generar biogás. El valor del tiempo de retención dependerá de la temperatura

del sitio en el cual se instalará el biodigestor. Algunas bacterias suelen reducir su actividad cuando las temperaturas son bajas, razón por la cual el tiempo de retención será alto mientras las bacterias digieran y generen biogás. (UMPE, 2003)

**Tabla 15-1: Tiempo de retención del biodigestor según temperatura para la producción de biogás**

Región Característica	Temperatura	Tiempo de retención hidráulico
<b>Trópico</b>	30 °C	30 días
<b>Valle</b>	20 °C	40 días
<b>Altiplano</b>	10 °C	60 días

Fuente: MARTÍ, 2008

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

**Tabla 16-1: Tiempo de retención del biodigestor de acuerdo a la temperatura para la producción de un fertilizante de buena calidad**

Región Característica	Temperatura	Tiempo de retención hidráulico
<b>Trópico</b>	30 °C	30 días
<b>Valle</b>	20 °C	40 días
<b>Altiplano</b>	10 °C	75 días

Fuente: MARTÍ, 2008

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

- **pH y alcalinidad**

Para los procesos dentro del sistema del biodigestor se desarrolle satisfactoriamente, el pH no puede bajar de 6.0 ni superar 8.0 En proceso de digestión anaeróbica, el rango de pH óptimo va neutro a ligeramente básico (6.6 a 7.6), al ser el pH neutro el más ideal. (ARRIETA, 2016)

En un biodigestor, el pH es el que determina la producción de biogás y concentración de metano, a valores inferiores a 6, formará un biogás demasiado pobre en metano; este descenso puede darse porque las bacterias metanogénicas no logran asimilar los ácidos grasos volátiles (AGV), especialmente acetato acumulándose al interior del biodigestor.

También puede darse por incremento repentino de la carga orgánica, el ascenso inesperado de la temperatura o el surgimiento de sustancias tóxicas en la carga. Una respuesta a esta problemática sería suspender la alimentación del biodigestor y dejar que las bacterias metanogénicas degraden los AGV. Otra solución sería el agregar sustancias alcalinas tales como bicarbonato de amonio ( $\text{NH}_4\text{CO}_3$ ) y bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ). (VARNERO, M. T., 2011)

En caso de que los valores de pH no sean idóneos, se puede modificar y conservar dentro del rango apropiado, a pH altos se puede retirar una porción del efluente y adicionar materia orgánica fresca en igual cantidad, y si el pH es bajo conviene añadir fertilizante, agua amoniacal diluida o cenizas. (ARRIETA, 2016)

- **Tóxicos e inhibidores**

Los principales inhibidores de la digestión anaerobia son los ácidos grasos volátiles (AGV), por ende su acumulación, es un factor que puede expresar una respuesta inmediata a las variaciones en el sistema; para que la digestión anaerobia del sistema sea eficaz, el rango de AGV tiene que ser bajo de 50-250 mg/l, de igual forma al trabajar con estiércol animal se consideran los siguientes componentes: (ARRIETA, 2016)

- **Antibióticos:** Por lo general son adicionados en la alimentación de los animales para optimizar su producción o para tratar enfermedades. Estos dos condicionantes pueden alterar la población microbiana, sin embargo se puede solucionar dándoles un tiempo considerable de adaptación.
- **Amoníaco:** Al estar presentes el amoníaco gaseoso ( $\text{NH}_3$ ) y el ión amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) genera un ambiente tóxico para las bacterias, principalmente el amoníaco a pH alto, por ejemplo, en el estiércol de pollo.
- **Sulfato y sulfuro:** Los sulfatos ( $\text{SO}_4^-$ ) son capaces de disminuir la producción de  $\text{CH}_4$ . Mientras que el sulfuro ( $\text{S}^-$ ), el cual se genera como producto final de la reducción del sulfato, resulta altamente tóxico en la digestión anaeróbica, el

cual varía según los niveles de pH. En la siguiente tabla se indican rangos de pH referenciales de las concentraciones de sulfuros y amoníacos.

**Tabla 17-1: Efecto de las concentraciones de amoníaco y sulfuros en tratamientos anaeróbicos**

Efecto sobre el tratamiento anaeróbico	$\text{NH}_4^+ \text{NH}_3 \cdot \text{N}$ mg/l	$\text{S}^-$ mg/l
<b>Beneficioso</b>	50 - 200	< 50
<b>Sin efectos adversos</b>	200 – 1000	50 – 100
<b>Inhibitorio a altos valores de Ph</b>	1500-3000	100 – 200
<b>Tóxico</b>	> 3000	> 200

Fuente: (ARRIETA, 2016)

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

- **Cationes:** A mayor concentración de sal soluble en el biodigestor, las microbiota tiende a trabajar más de lo normal ya que se dedica a transportar agua al interior y exterior de sus células. Es así que la toxicidad se incrementa con el peso molecular, además con una mínima cantidad los metales pesados causan toxicidad en la reacción. La secuencia de toxicidad de los metales pesados es (Ni>Cu>Cr>Pb>Zn). (ARRIETA, 2016)
- **Hidrógeno:** Este componente juega un papel decisivo en la digestión anaerobia ya que es capaz de inhibir la acetogénesis y ácidos grasos volátiles que poseen más de dos átomos de carbono.

- **Relación carbono/nitrógeno (C/N)**

Las bacterias que se alimentan de carbono y nitrógeno se conocen como metanogénicas pues requieren de carbono porque les suministra energía y el nitrógeno para la formación de células nuevas, estos microorganismos utilizan 30 veces más cantidad de carbono que nitrógeno, es así que el rango óptimo de estos dos elementos va de 30:1 a 20:1.

Mientras que a una proporción de 8:1 se detiene la actividad bacteriana a causa de la elevada producción de amonio. Cuando esta relación supera a 35:1 se disminuye considerablemente la reproducción y el desarrollo de las bacterias, por lo tanto la degradación de la materia es lenta, llegando a obtener biogás en un tiempo más distante. (VARNERO, M. T., 2011)

**Tabla 18-1: Concentración de algunos elementos inhibidores**

Sustancia	Concentración inhibidora (mg/l)
<b>Ca</b>	2500-4500
<b>Na</b>	3500-5500
<b>Mg</b>	1000-1500
<b>NaCl</b>	40000
<b>Cr</b>	200
<b>SO<sub>4</sub><sup>-2</sup></b>	5000
<b>CN<sup>-</sup></b>	25
<b>Cu</b>	100
<b>Ni</b>	200-500
<b>K</b>	2500-4500

Fuente: (GUEVARA, 1996)

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

- **Sólidos totales**

Los sólidos totales (ST) se encuentran en toda la materia orgánica o llamada también como fracción sólida, excepto el agua que también se halla en la materia orgánica. La cantidad de éste en la mezcla de carga diaria del biodigestor es de suma importancia ya que el valor porcentual determinado para cada materia prima da lugar a un proceso satisfactorio en biodigestores. (VARNERO, M. T., 2011)

**Tabla 19-1: Valor porcentual de sólidos totales dentro de algunos residuos**

Tipo de excreta animal	% Sólidos Totales
<b>Bovinos</b>	13.4 - 56
<b>Porcinos</b>	15.0 - 49.0

Fuente: (VARNERO, M. T., 2011)

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

#### *1.3.3.1.3 Usos del biogás*

El biogás obtenido de la digestión anaerobia presenta varios usos, especialmente en la generación de electricidad o calor en una caldera, además en turbinas o motores para producir electricidad.

Biogás para cocción y calefacción:

En un mes se consume entre 30 y 45 m<sup>3</sup> de biogás, lo que significa un ahorro en el uso del gas licuado de petróleo (GLP) cerca de 11 a 15 kg que representa 1 tanque de gas por mes; un biodigestor puede generar 0.5 m<sup>3</sup>/día de biogás para 4 horas continuas de uso (RAJENDRAN, 2012).

El biogás aparte de tener metano, posee impurezas: agua, monóxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, y compuestos orgánicos volátiles (siloxanos, hidrocarburos halogenados, etc). Por el cual, es preciso la limpieza del combustible, independientemente del uso final. (ALONSO et al, 2006).

Biogás para generación eléctrica:

En países como China, India y países desarrollados el biogás proveniente de biodigestores es utilizado para generar electricidad de uso familiar y a nivel industrial para el movimiento de grandes maquinarias. Se estima que la cantidad de biogás necesario para calentar el agua es de 2 m<sup>3</sup> /día y para generar 982 kW de electricidad es de 6. 7 m<sup>3</sup> /día. (RAJENDRAN, 2012).

### 1.3.3.2 Biol

Es un producto que resulta de la degradación anaerobia, se genera en menor cantidad que el biogás, es la combinación del efluente estabilizado y la biomasa formada, la calidad del mismo depende de la composición del efluente ingresado, sin embargo contiene nitrógeno (N) y fósforo (P), por lo que puede ser utilizado como fertilizante natural. (APARCANA, 2008). Además el biol es un fertilizante orgánico líquido que puede sustituir al fertilizante químico, debido al contenido de nutrientes que posee, mejorando así la producción en un 30 % a 50 % (MARTÍ, 2010).

RIVERA (2010), en su estudio menciona que en el proceso de la digestión anaerobia alcanzó a reducir la carga de coliformes fecales a cantidades muy inferiores a lo establecido en la normativa en donde se requiere un mínimo de 1000 NMP, logrando en éste trabajo una densidad final de 80-90 NMP de coliformes. De igual manera los efluentes, después del tratamiento presentaron características acorde a la normativa, dando paso a la aplicación en los cultivos, al mostrar un pH neutro, el contenido de minerales fue baja obteniendo valores de nitrógeno 0.06; fósforo 0.0043 y potasio 0.0049. No obstante en la investigación, lograron modificar la retención de humedad de un suelo arcilloso de 48.5 a 56.0 % y en un suelo arenoso de 39.25 a 41 %, resultando estadísticamente significativo el primero.

Composición:

Según ANCÍVAR, (2013) las características del biol generado por un biodigestor alimentado con excreta de cerdo o de vaca, sobre base seca posee un 85 % de materia orgánica, 10 a 12 % de fósforo, 2 a 3 % de nitrógeno y 1 % de potasio

**Tabla 20-1: Análisis de biol con diferentes tratamientos.**

Parámetros	Tratamiento 2 (purín de cerdo + agua de pozo)	Tratamiento 1 (purín de cerdo + agua residual)	Unidad
<b>pH</b>	7.11	7.28	-
<b>Sólidos totales</b>	9.83	12.37	g/l
<b>Materia orgánica</b>	5.46	7.1	g/l
<b>Nitrógeno total</b>	621.6	991.2	mg/l

<b>Fósforo total</b>	166.62	221.96	mg/l
<b>Potasio total</b>	136.4	217.93	mg/l

Fuente: PINTO, 2015

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

#### 1.3.3.2.1 Características y propiedades del biol

- Es abundante en microorganismos, nutrientes y fitohormonas (ÁLVAREZ-SOLÍS et al., 2010; SIURA Y DAVILA, 2008).
- Su aplicación al suelo disminuye la contaminación, al lograr la restauración la flora bacteriana y servir como fertilizante foliar (SIURA Y DAVILA, 2008).
- Otra característica es su capacidad para optimizar el intercambio catiónico en el suelo, incrementando la disponibilidad de nutrientes en el suelo.
- El biol obtenido de la digestión anaeróbica en sistemas biobolsa, suele utilizarse como biofertilizantes de diversos cultivos; y si se identifica su eficacia puede tener un uso particular. (CANO-HERNÁNDEZ, 2016)
- Disminuye malos olores, destruye bacterias patógenas, reduce la viscosidad siendo más bueno que el estiércol fresco. Además es un fertilizante de elaboración sencilla y constituido por nutrientes (N, P, K, Ca, S) y hormonas. Al agregar especies vegetales durante la fermentación, se convierte en bio plaguicida disminuyendo el ataque por plagas y enfermedades. (GARCÍA, 2016)
- También estimula el desarrollo de cultivos, elevando el rendimiento y calidad de los productos, restaura al cultivo después de las heladas, es de fácil aplicación y no se requiere mayor protección (GARCÍA, 2016).

#### 1.3.3.2.2 Toma de muestra para posterior análisis del biol

CANO-HERNÁNDEZ (2016) en su estudio producción de biol a partir de purín de cerdo, para la toma de muestra y posterior análisis, primero homogenizó la muestra dando movimientos leves al biodigestor, seguidamente recolectó la muestra de biol, en envases plásticos y tapa de rosca.

Además, recomienda evitar tomar muestras a medio día, ya que a esta hora el calor dilata la biobolsa lo que impide una óptima homogenización, razón por la cual la recolección de la

muestra se dio entre 10:00 y 11:00 h. Estas muestras fueron almacenadas a 4 °C hasta 4 h antes de su respectivo análisis. (CANO-HERNÁNDEZ, 2016)

#### ***1.3.4 Beneficios ambientales de la digestión anaerobia***

El proceso de transformación de residuos orgánicos a biogás, conlleva diversos beneficios sobretodo ambiental, ya que la materia orgánica puede ser aprovechable y tratada de mejor manera.

Según la FAO (2011), en algunos países la producción de biogás posee incentivos económicos, dotando a los agricultores de un ingreso adicional. Además, la ejecución de tecnologías de digestión anaerobia aporta con importantes beneficios ambientales, económicos y energéticos.

Por otra parte, posibilita una gestión mejorada de nutrientes, reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero, y uso de biogás, sin embargo la materia orgánica se somete a una degradación aerobia, dando lugar a agregados de bajo poder energético como el CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. En la cual la mayor parte de la energía se disipa y se libera a la atmósfera (IDAE, 2007)

En la degradación anaerobia, se forman productos del metabolismo con elevado poder energético (metano, alcoholes y ácidos orgánicos), los mismos que se usan como alimento para otros organismos o también son destinados con fines energéticos (biogás) (East Harbour Management Services, 2004).

Otro beneficio ambiental es la significativa disminución de la presión en rellenos sanitarios, reduciendo de esta manera el precio de la disposición de residuos orgánicos y la obtención de subproductos como el biol el cual suele ser utilizado como fertilizante natural. (GÓMEZ et al, 2007)

Además, la digestión anaerobia aporta significativamente a la protección de las aguas subterráneas, disminuyendo el riesgo de lixiviación de nitratos. Al mismo tiempo, la digestión anaerobia suprime el problema de emanación de olores molestos, como son: el olor a amoníaco, orina sin tratar y producto de la acumulación de excretas (HILBERT, 2003)

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Generalidades del área de estudio

##### 2.1.1. Lugar de estudio

El presente trabajo de titulación se llevó a cabo en la comunidad de Illagua al noroeste de la parroquia Guanujo del cantón Guaranda; ubicada en las siguientes coordenadas geográficas de latitud 721021, longitud 9830397, altura de 3007 msnm, y temperatura media de 13 °C.

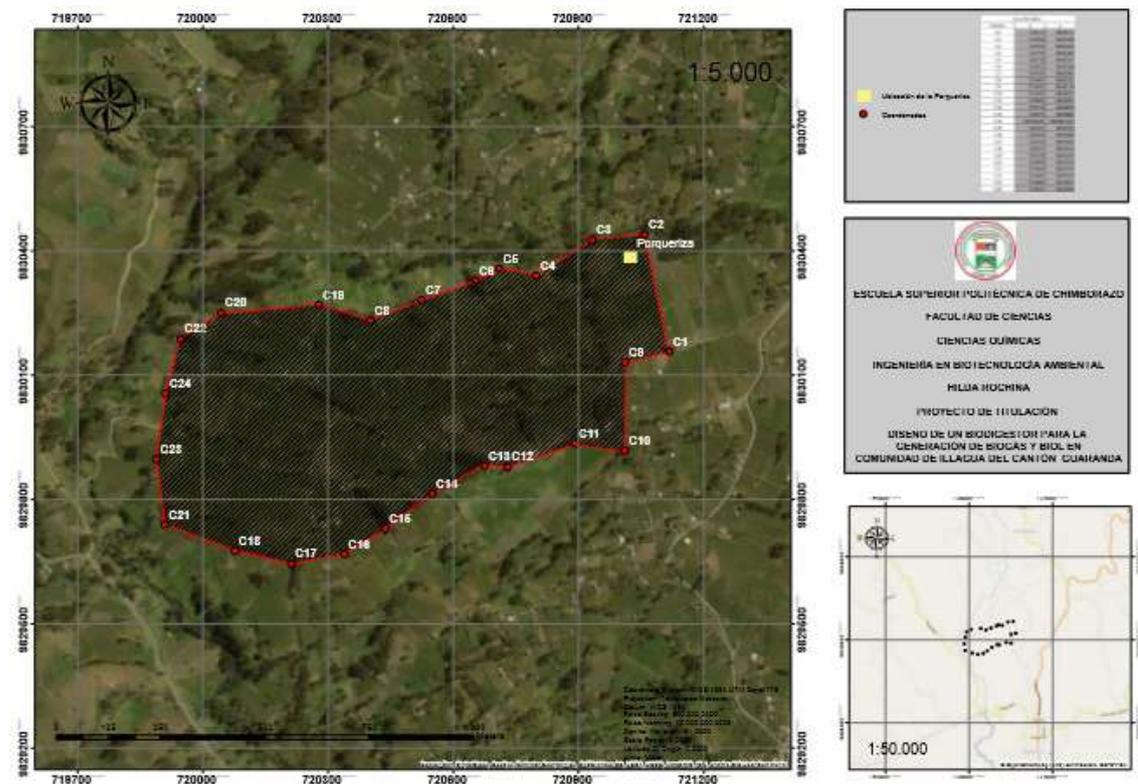


Figura 1-2: Ubicación del proyecto

Realizado por: Ruchina Hilda, 2017

## **2.2 Metodología**

### ***2.2.1 Cuantificación del estiércol***

Materiales:

- Pala manual
- Balde de 15 litros
- Balanza de 25 kg
- Guantes
- Cámara fotográfica

Método:

Para la cuantificación del estiércol diario se contó con 6 porcinos en etapa de engorde. El estiércol fue medido por 15 días consecutivos a una hora determinada estableciendo las 9 de la mañana como tiempo óptimo antes de que sean alimentados. Las mediciones fueron tomadas en cada corral, con una pala se colocó las excretas en un balde de 15 litros, mediante una balanza se procedió a pesar las muestras y finalmente se anotó el dato obtenido.

### ***2.2.2 Muestreo del estiércol***

Materiales:

- Guantes
- Frascos de plástico estériles
- Fundas Ziploc
- Rotulador indeleble
- Pala

- Balde
- Cooler
- Bloques de Hielo

Método:

Se recogió el estiércol de todos los corrales y se homogenizó, logrando una muestra compuesta, de esto en forma aleatoria se procedió a recoger 1 muestra en fundas ziploc y 1 en frasco estéril para su posterior análisis fisicoquímico y microbiológico respectivamente (Hidalgo y Lara, 2012).

### ***2.2.2 Muestreo del biol***

Materiales

- Cooler
- Hielo
- Envase plástico

Método

Tras haber transcurrido 72 días se procedió a la toma de muestra a las 10:00 de la mañana, para lo cual primero se homogenizó la muestra dando movimientos leves al biodigestor, seguidamente se recolectó la muestra de biol, en un envase plástico la misma que fue trasladada a 4 °C.

**2.2.3 Caracterización físico-química y microbiológico del estiércol pre (estiércol) y post degradación (biol).**

Las muestras de estiércol y biol fueron enviadas al laboratorio CESSTA para los análisis respectivos, se consideraron los parámetros que utiliza HIDALGO (2012) en el estudio de biodigestores.

**Tabla 1-2: Análisis fisicoquímico y microbiológico del estiércol porcino**

Ítem	Parámetros	Unidad	Método de Análisis
1	Relación C/N	-	Cálculo
2	Nitrógeno total	%	Kjeldhal
3	Fosforo	%	Espectrofotometría
4	Potasio	%	Absorción Atómica
5	Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	Potenciométrico
6	Materia Orgánica	%	NEN 5754.2005
7	Coliformes totales	UFC/Kg	Stándar Methods No.9222 B
8	Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	mg/Kg	Stándar Methods No.5210 B
9	Demanda Química d Oxígeno	mg/Kg	Stándar Methods No.5220 C
10	Sulfuros	mg/l	Stándar Methods, Ed.22.2012 4500-S <sup>2-</sup> -C y D
11	Sólido totales	%	Stándar Methods No.2540 D

**Fuente:** Laboratorio CESTTA,2017

**Realizado por:** Rochina Hilda, 2017

**Tabla 2-2: Análisis fisicoquímico y microbiológico post tratamiento (Biol)**

Ítem	Parámetros	Unidad	Método de Análisis
1	Nitrógeno total	%	Kjeldhal
2	Fosforo	%	Espectrofotometría
3	Potasio	%	Absorción Atómica

4	Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	Potenciométrico
5	Coliformes totales	UFC/100mL	Stándar Methods No.922 B
6	Materia Orgánica	%	NEN 5754.2005
7	Sulfuros	mg/l	Stándar Methods, Ed.22.2012 450-S <sup>2</sup> -C y D
8	Sólido totales	mg/l	Stándar Methods No.2540 B

**Fuente:** Laboratorio CESTTA,2017

**Realizado por:** Rochina Hilda, 2017

### 2.2.4 Selección del Biodigestor

Para su elección se elaboró una matriz de decisión basada en información de la tabla 3-1 sobre la cual se tomó en consideración los factores económico, operacionales, físicos y de rendimiento; con la finalidad de seleccionar el biodigestor que mejor se acople a las condiciones del estudio.

**Tabla 3-2: Matriz de selección del modelo de biodigestor.**

Aspecto Evaluado	B. Tubular			B. Hindú		B. Chino	
	Peso	Calificación (0-10)	Ponderación (Peso*Calificación)	Calificación (0-10)	Ponderación (Peso*Calificación)	Calificación (0-10)	Ponderación (Peso*Calificación)
Restricción a sustratos	0.1	10	1	5	0.5	10	1
Operación y Mantenimiento	0.2	9	1.8	4	0.8	7	1.4
Requerimiento de área	0.1	5	0.5	7	0.7	9	0.9
Producción diaria de gas	0.3	9	2.7	8	2.4	8	2.4
Costos	0.3	9	2.7	5	1.5	7	2.1
<b>TOTAL</b>	1		8.7		5.9		7.8

**Realizado por:** Rochina Hilda, 2017

Según los aspectos que se han tomado como decisivos en la selección del biodigestor nos dan que el biodigestor que mejor se acomoda a los requerimientos del lugar, es el de tipo tubular de estructura flexible con una calificación de 8.7 equivalente a un 87 %.

### **2.2.5 Biodigestor prototipo (tubular)**

#### *2.2.5.1 Instalación*

Materiales:

- 1 Funda de polietileno negro de 16 litros de capacidad
- 2 Metros de plástico de invernadero
- 3 Llaves de ½”
- 1 Tubo de ¾”
- 1 Codo de 1/2 “
- 1 Metro de manguera
- 3 Roscas de ½”
- 1 T de ½”
- 3 Uniones de ½”
- 2 Equipos de venoclisis
- Tiras de caucho
- 1 Botella plástica pequeña con agua
- 1 Pega tubo (sellador)

Método:

Lo que primero se hizo fue hacer una pequeña abertura en la mitad de la bolsa del biodigestor para la salida y conducción del biogás e inmediatamente se procedió a pegar 1 rosca, posteriormente se colocó 0.50 m de tubo en la entrada del biodigestor apretándolo con tiras de caucho, a la salida del biodigestor se continua con 0.50 cm de tubería. Luego se procede a sacar todo el aire dentro de la funda y en la salida del biogás se acopla una llave a la rosca anteriormente ubicada para que pueda salir el biogás de forma controlada.

A la llave se inserta un codo de  $\frac{1}{2}$  pulgada a esto se le añade 1 unión de  $\frac{1}{2}$ " para acoplar a  $1\frac{1}{2}$  m de manguera para después ubicar 1 T de  $\frac{1}{2}$ " esto sirve para ubicar la bomba de agua el cual consta de una botella plástica con agua a la que se le introduce 10 cm de manguera sujeta a la T, en el extremo libre se adhiere 1 unión que continúa la conducción de biogás, a esto se sujeta  $\frac{1}{2}$  m de manguera y junto con una unión se conecta a una llave de paso para el llenado del biogás en la bolsa de almacenamiento de biogás.

Finalmente en el extremo de la funda de biogás se introduce 1 unión de  $\frac{1}{2}$ " que va sujeta a una llave de  $\frac{1}{2}$ " a esto se introduce el equipo de venoclisis por el cual podrá salir el biogás. También se procedió a revisar toda la instalación y se visualizó que estén bien apretadas pero por seguridad se colocó sellador para evitar fugas.

#### *2.2.5.2 Construcción de la cubierta de invernadero y zanja*

El prototipo se ubicó a un costado del terreno, lugar donde presentaría menor riesgo de ser afectado por cualquier tipo de animal, para el cual se efectuó las siguientes adecuaciones:

Materiales:

- Plástico de invernadero
- Azadón
- Pala

- Clavos
- Paja
- 2 Sacos pequeños
- 4 Postes de madera de 1 m de altura

Método:

Con ayuda de 1 pala se excavó una zanja, retirando todas las raíces para proceder a cubrir el piso y las paredes con plástico evitando así la filtración por lluvia o humedad del suelo muy frecuentes en la zona. Posterior a esto en la zanja se colocó sacos y sobre esto se esparció paja seca en toda la zanja para conservar y aumentar la temperatura favoreciendo la fermentación del sustrato.

Para la cubierta se excavó en 4 esquinas de la zanja, se procedió a la colocación de los postes, sobre el cual se extendió el plástico de invernadero. La utilización de esta cubierta fue con la finalidad de disminuir la transmisión de calor por medio de las paredes evitando la transmisión del frío, conservando una temperatura propicia para los microorganismos.

#### *2.2.5.3 Preparación del sustrato*

La biomasa que se ingresó en el prototipo fue fresca, como indica la bibliografía menor a 7 días después de su generación, con el objetivo de que entre con una buena carga orgánica al biodigestor.

Materiales:

- Pala manual
- Balde
- Termómetro
- 3 Kilogramos de estiércol

- 9 Litros de agua

Método:

El estiércol fresco se recolectó en la mañana, la dilución que se utilizó fue de 1:3 recomendable para biodigestores rurales y para trabajar con estiércol porcino, es decir que por cada kilogramo (kg) de excreta se agregó tres litros de agua. Se procedió a llenar el balde con 3 kg de estiércol al cual se le adicionó 9 litros de agua tibia (20 a 30 °C) para facilitar la fermentación en los primeros días. Se mezcló homogéneamente de manera manual para evitar dejar grumos, además se retiró material grueso y granuloso evitando la acumulación de materia en la tubería al momento de ingresar el sustrato en el biodigestor; por último se vertió lentamente en el biodigestor sin ningún inconveniente (GUZMÁN, 2014).

#### *2.2.5.4 Monitoreo de la temperatura*

Materiales:

- Termómetro
- Lápiz
- Libreta

Método:

Para este fin se utilizó el termómetro situado en el invernadero, para lo cual se realizaron 3 mediciones de temperatura en el siguiente horario, la primera toma a las 9:00 am, la segunda a las 13:00 y la tercera a las 18:00; estos datos se utilizaron para obtener la temperatura promedio al interior del invernadero en el cual se instaló el biodigestor. De igual forma se llevó a cabo para la determinación de la temperatura ambiente del lugar (GUILCAPI, 2016).

#### *2.2.5.5 Determinación del volumen de biogás generado*

Materiales:

- Probeta de 500ml
- Recipiente
- Agua

Método:

Se utilizó la técnica de la probeta invertida la misma que se basa en determinar el volumen de un gas mediante el desplazamiento de un líquido (agua). Para éste fin se llenó la probeta con agua, se ubicó de forma invertida en un recipiente con la misma sustancia y al interior de la probeta se introdujo la manguera por el cual sale el gas, posterior a esto se observó el desplazamiento del agua debido a la presión del gas, éste desplazamiento equivale a la cantidad de gas que se generó. Éste monitoreo se llevó a cabo todos los días a las 18:00 desde el día 19 hasta el día 72 de haber implementado el biodigestor prototipo.

#### *2.2.5.6 Prueba de flama*

Materiales:

- Biodigestor
- Manguera de gas
- Fósforo

Método:

Esta prueba fue realizada el día 54 para lo cual se cogió un extremo de la manguera y se procedió a abrir la llave, teniendo en cuenta las precauciones necesarias y prevenir algún incidente, se acercó una vela encendida a la manguera la misma que generó una flama amarilla intensa.

### ***2.2.6 Determinación de la biodegradabilidad de la excreta***

La relación entre la DQO y la DBO<sub>5</sub> determina la importancia de materia orgánica al interior del biodigestor y sus posibilidades de biodegradación. Los valores referenciales para este fin son los siguientes:

- DQO/DBO<sub>5</sub> = 1.5 ---> Materia orgánica muy degradable
- DQO/DBO<sub>5</sub> = 2.0 ---> Materia orgánica moderadamente degradable
- DQO/DBO<sub>5</sub> = 10 ---> Materia orgánica poco degradable (Toscano, 2016)

En base a los resultados obtenidos:

$$(48500\text{mg/kg}) / (21000\text{mg/kg}) = 2.30$$

Según ésta relación se puede considerar que la materia orgánica (estiércol) en estudio es moderadamente degradable.

### ***2.2.7 Cálculos del biodigestor experimental***

Una vez seleccionado el modelo de biodigestor se procedió a la determinación de la carga de estiércol. Al tratarse de un biodigestor experimental se trabajó con cargas pequeñas, para ello se realizaron los siguientes cálculos:

#### ***2.2.7.1 Cantidad de estiércol diario:***

Para conocer la cantidad necesaria a utilizar en el biodigestor experimental se aplica la siguiente ecuación (HIDALGO, 2012).

$$CE = \frac{\text{estiércol promedio diario kg}}{\text{N}^\circ \text{porcinos}}$$

$$CE = \frac{18.02}{6} = 3\text{Kg/día}$$

### 2.2.7.2 Carga diaria

Para éste cálculo se emplea la ecuación 2 detallada en el capítulo 1.

$$C_d = EF(\text{kg}) + 3H_2O(\text{kg})$$

$$C_d = \frac{3 \text{ kg estiércol}}{\text{día}} + \frac{3 * 3 \text{ kg}}{\text{día}} = 12 \frac{\text{kg}}{\text{día}} = 0.012 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$C_d = 0.012 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

### 2.2.7.3 Tiempo de retención

En base a la información de la tabla 15-1 se hizo una interpolación para poder determinar el TR a una temperatura promedio de 13°C, encontrándose la siguiente ecuación:

$$y = -1.5x + 73.33$$

$$y = (-1.5 * 13) + 73.33$$

$$y = 53.83 \text{ días} = 54 \text{ días}$$

### 2.2.7.4 Volumen líquido

Para la determinar el volumen líquido del biodigestor experimental se utiliza el tiempo de retención hidráulica de 54 días calculado anteriormente. Para este cálculo se usa la ecuación 4:

$$V_l = C_d * T_R$$

$$V_l = \frac{12 \text{ kg de mezcla}}{\text{día}} * 54 \text{ días}$$

$$V_l = 648 \text{ kg}$$

$$V_l = 0.65 \text{ m}^3$$

#### 2.2.7.5 Cálculo del volumen del biogás producido

El volumen total de un biodigestor está constituido en un 75% de la fracción líquida y de un 25% correspondiente a la parte gaseosa, razón por la cual se emplea la ecuación 5:

$$V_g = \frac{0.25}{0.75} \times V_l$$
$$V_g = \frac{0.25}{0.75} \times 0.65 \text{ m}^3$$
$$V_g = 0.22 \text{ m}^3$$

#### 2.2.7.6 Cálculo del volumen total de biodigestor experimental

Para éste cálculo se puede realizar la aplicación de la ecuación 3:

$$V_{Td} = V_l + V_g$$
$$V_{Td} = 0.65 \text{ m}^3 + 0.22 \text{ m}^3$$
$$V_{Td} = 0.87 \text{ m}^3$$

#### 2.2.7.7 Rendimiento de producción de biogás

Se realiza mediante la aplicación de las ecuaciones 6, 7 y 8. La misma que parte de la cantidad de sólidos volátiles

$$ST = \frac{\text{kg EF} * 0.17}{V_l(\text{m}^3)}$$
$$ST = \frac{3\text{kg} * 0.17}{0.65\text{m}^3} = 0.78\text{kg/m}^3$$
$$SV = ST * 0,77$$
$$SV = 0.78\text{kg/m}^3 * 0,77 = 0.60\text{kg/m}^3$$

$$PB = \text{Factor general (m}^3\text{)biogás} * SV$$

$$PB = 0.39 * \frac{0.60\text{kg}}{\text{m}^3} = 0.23\text{m}^3\text{biogás}$$

### 2.2.8 Cálculos del biodigestor proyectado

#### 2.2.8.1 Carga diaria:

Como se indica en el Anexo A la cantidad de excreta diaria generada por 6 cerdos en promedio es de 18.02 kg. Para la carga se mezcla estiércol con agua en una relación de 1:3 al tratarse de excretas porcinas (ver tabla 4-1). Para éste fin se aplica la ecuación 2 detallada en el capítulo 1.

$$C_d = EF(\text{kg}) + 3H_2O(\text{kg})$$

$$C_d = \frac{18 \text{ kg estiércol}}{\text{día}} + \frac{18 * 3 \text{ kg}}{\text{día}}$$

$$C_d = \frac{18 \text{ kg estiércol}}{\text{día}} + \frac{54 \text{ kg}}{\text{día}}$$

$$C_d = \frac{72\text{kg}}{\text{día}}$$

$$C_d = 0.072 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

#### 2.2.8.2 Tiempo de retención

En base a la información de la tabla 15-1 se hizo una interpolación para poder determinar el tiempo de retención a una temperatura promedio de 18°C, dato obtenido del biodigestor experimental realizado (Anexo B) y encontrándose la siguiente ecuación:

$$y = -1.5x + 73.33$$

$$y = (-1.5 * 18) + 73.33$$

$$y = 46.33 \text{ días}$$

$$y = 46 \text{ días}$$

### 2.2.8.3 Volumen líquido

Para la determinar el volumen líquido del biodigestor experimental se utiliza el tiempo de retención hidráulica de 54 días calculado anteriormente. Para este cálculo se usa la ecuación 4:

$$V_l = C_d * T_R$$

$$V_l = \frac{72 \text{kg de mezcla}}{\text{día}} * 46 \text{ días}$$

$$V_l = 3312 \text{ kg}$$

$$V_l = 3.31 \text{ m}^3$$

### 2.2.8.4 Volumen del biogás producido

El volumen total de un biodigestor se constituye del 75 % de la fracción líquida y el 25 % corresponde al biogás, para este fin se hace uso de la ecuación 5:

$$V_g = \frac{0.25}{0.75} x V_l$$

$$V_g = \frac{0.25}{0.75} x 0.65 \text{ m}^3$$

$$V_g = 1.10 \text{ m}^3$$

### 2.2.8.5 Cálculo del volumen total de biodigestor proyectado

Para éste cálculo se puede realizar la aplicación de la ecuación 3:

$$V_{Td} = V_l + V_g$$

$$V_{Td} = 3.31 \text{ m}^3 + 1.10 \text{ m}^3$$

$$V_{Td} = 4.41 \text{ m}^3$$

### 2.2.8.6 Cálculo de la longitud del biodigestor proyectado

Con el dato obtenido del volumen total del biodigestor es posible realizar el cálculo de los demás componentes del biodigestor, en base al ancho del plástico de polietileno tubular seleccionado el mismo que presenta 4m de perímetro y 1.28 m de diámetro; según la tabla 7-1. Con estos datos se puede establecer la longitud, al tratarse de un biodigestor tubular se aplicó la fórmula del cilindro, ecuación 10:

$$L = \frac{4 \times V_{Td}}{\pi D^2}$$
$$L = \frac{4 \times 4,41m^3}{\pi(1.28m)^2}$$
$$L = 3.42m$$

### 2.2.8.7 Cálculo del volumen del reservorio de biogás

Para éste cálculo se hace uso de las ecuaciones 11 y 12:

$$\frac{V_D}{V_{Rb}} = 5$$
$$V_{Rb} = \frac{V_{Td}}{5}$$
$$V_{Rb} = \frac{4.41m^3}{5}$$
$$V_{Rb} = 0.882m^3$$

Conocido el volumen del reservorio se puede calcular sus dimensiones aplicando la ecuación 10, de igual forma que para el biodigestor:

$$L_{Rb} = \frac{4 \times V_{Td}}{\pi D^2}$$
$$L_{Rb} = \frac{4 \times 0.882m^3}{\pi(1.28m)^2}$$
$$L_{Rb} = 0.68m$$

### 2.2.8.8 Zanja del biodigestor proyectado

Se determinó de acuerdo al ancho del plástico seleccionado.

**Tabla 4-2: Dimensiones de la zanja según ancho de rollo**

Ancho del plástico	Ancho inferior de la zanja (a)	Ancho superior de la zanja (b)	Profundidad de la zanja (p)
<b>2 metros</b>	0.7 m	0.9 m	1 m

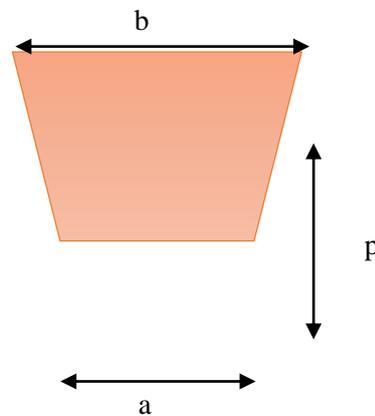
Realizado por: Rochina Hilda, 2017

Donde:

a: 0.7 m; es el ancho inferior de la zanja

b: 0.9 m; ancho superior de la zanja

p: 1 m; profundidad de la zanja



### 2.2.8.9 Tanque de carga y descarga de efluentes del biodigestor proyectado

Según Avendaño (2010) indica que tanto el tanque de carga y descarga deben tener dimensiones similares ya que la cantidad que ingresa es la misma que debe salir. Para este fin se aplican las ecuaciones 13 y 14.

- Volumen del tanque de carga y descarga

$$V_{te} = 3 * C_d$$

$$V_{te} = 3 * 0.072m^3$$

$$V_{te} = 0.216 m^3$$

Donde:

$V_{te}$ : Volumen del tanque de efluentes ( $m^3$ )

$C_d$ : Carga diaria ( $m^3$ )

- Longitud del tanque de carga y descarga

$$h_{te} = p_d - h_b$$

$$h_{te} = 1m - 0.50m = 0.50m$$

#### 2.2.8.10 Cálculo de la cantidad de biogás requerido

La principal actividad en la que se consume energía es en la cocción de alimentos para lo cual se utiliza 1 tanque de GLP al mes.

- Cantidad de gas doméstico ó gas licuado de petróleo (GLP) equivalente a  $m^3$  de biogás:  
1 tanque de gas = 15 kg de GLP al mes

Según la tabla 11-1 indica que 1  $m^3$  de biogás equivale a 0,45 kg de GLP.

$$\text{Cantidad de biogas mensual} = \frac{15 \text{ kg GLP}}{\text{mensual}} \times \frac{1 \text{ m}^3 \text{ de biogás}}{0,45 \text{ kg GLP}}$$

$$\text{Cantidad de biogas mensual} = 33.33 \text{ m}^3 \text{ de biogás al mes}$$

$$\text{Cantidad de biogas diario} = \frac{33.33 \text{ m}^3 \text{ de biogás}}{\text{mensual}} \times \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}}$$

$$\text{Cantidad de biogas diario} = \frac{1.11 \text{ m}^3 \text{ de biogás}}{\text{día}}$$

#### 2.2.8.11 Cantidad de biofertilizante a obtener

$$\text{Bioabono} = \text{Carga EF} - \left( \text{carga EF} * \frac{\%ST}{100} \right)$$

$$\text{Bioabono} = \frac{18 \text{ kg}}{\text{día}} - \left( \frac{18 \text{ kg}}{\text{día}} * \frac{24.67}{100} \right)$$

$$\text{Bioabono} = 13.55 \text{ kg/día}$$

### ***2.2.9 Elaboración de planos***

Materiales:

- Programa autocad
- Cálculos previamente obtenidos

Método:

La elaboración de los planos se realiza con la finalidad de poder apreciar de mejor manera el biodigestor, ya que aunque se haya hecho los cálculos pertinentes, esto no permite visualizar su estructura, por el cual para el diseño se ha utilizado el software AutoCAD2013, posibilitando la apreciación del diseño a escala.

### ***2.2.10 Costo/beneficio del diseño e implementación de un biodigestor.***

Herramientas:

- Excel

Método:

Para el análisis económico realizado al diseño e implementación del biodigestor tubular; en cuanto a beneficios se consideró los siguientes aspectos: ahorro de GLP y biofertilizante en el año; en tanto que para determinar el costo de su implementación se tomó en cuenta: total de materiales para la construcción, requerimiento de mano de obra, transporte de materiales, mantenimiento e imprevistos. Estos aspectos fueron evaluados por un período de 5 años.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

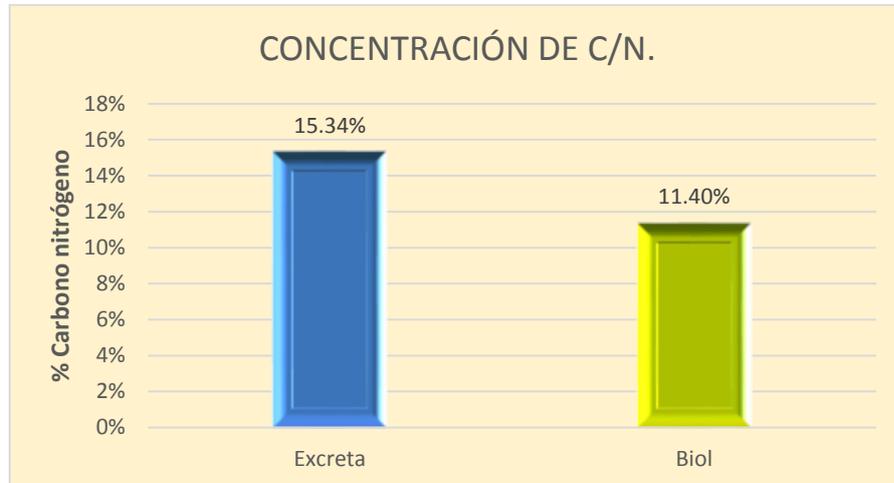
#### 3.1 Resultado de la caracterización físico-química y microbiológica pre y post degradación

**Tabla 1-3: Caracterización físico-química y microbiológica pre y post degradación**

Parámetros	Unidades	Producto inicial (Estiércol)	Producto final (Biol)	Porcentaje de remoción (%)
Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	7.33	6.9	5.86
Materia orgánica	%	76.26	20.84	72.67
Sólidos totales	%	24.67	15.09	38.83
Relación Carbono/ Nitrógeno	%	15.34	11.40	25.38
Nitrógeno total	%	2.89	1.06	63.32
Fósforo	mg/l	21598.30	661.26	96.94
Potasio	mg/l	10412.43	2961.00	71.56
Coliformes totales	UFC/l	$1.1 \times 10^7$	<1	99.99
Sulfuros	mg/l	2.20	<1	99.99

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

### 3.1.1. Relación Carbono/ Nitrógeno (C/N) pre degradación

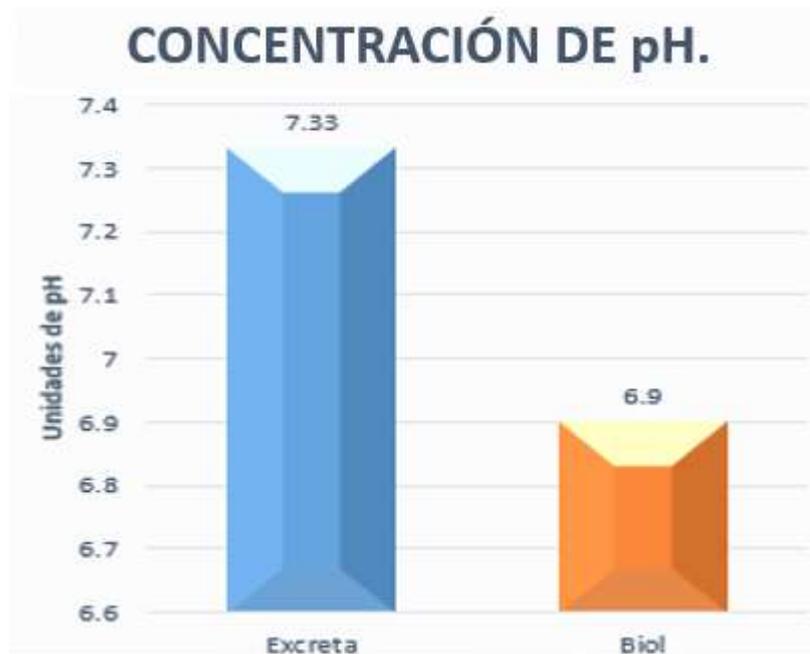


**Gráfico 1-3: Porcentaje de Carbono/Nitrógeno pre y post tratamiento**

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

Como se puede apreciar en la tabla 1-3 la relación carbono/nitrógeno que presentó la excreta fue de 15.34%, valor que se encontró dentro del rango (10 - 45 %) necesario para que se iniciara el proceso de hidrólisis (ver tabla 18-1). El biol presentó 11.40 % de ésta relación, manteniéndose en un porcentaje aceptable, pues a una relación de 8:1 se detiene la actividad bacteriana a causa de la elevada producción de amonio y cuando esta relación supera a 35:1 se disminuye considerablemente la reproducción y el desarrollo de las bacterias, por lo tanto la degradación de la materia es lenta, llegando a obtener biogás en un tiempo más distante. (VARNERO, M. T., 2011)

### 3.1.2 Potencial de hidrógeno pre y post tratamiento



**Gráfico 2-3: pH pre y post tratamiento**

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

El contenido de pH según la gráfica 2-3 en la excreta fue de 7.33 encontrándose en el rango más apropiado para su uso (6 a 8), y del biol fue de 6.9. Lográndose reducir significativamente en un 5.86 %. Esto se debe a diversos factores como: alimentación que reciben los porcinos, a la naturaleza del estiércol, y sobre todo a que la carga diaria estaba compuesta tan solo por mezcla de estiércol y agua, sin otros aditivos. En caso de que existiese una reducción de pH bajo 6 se adicionaría una porción de ceniza y se suspendería la carga por un día hasta que se estabilice el pH, mientras que en el caso de que pH sobrepase de 8 se adicionaría una pequeña porción de excreta fresca. (VARNERO, M. T., 2011)

### 3.1.3 Materia Orgánica pre y post tratamiento

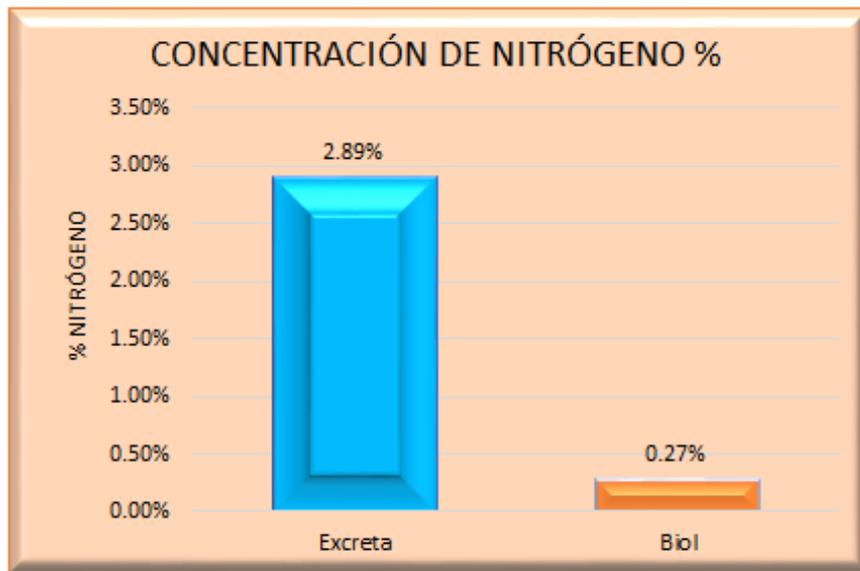


**Gráfico 3-3: Porcentaje de materia orgánica pre y post tratamiento**

**Realizado por:** Rochina Hilda, 2017

El porcentaje de materia orgánica al inicio del proceso fue de 76.26 %, SEAE(2008) presentó un valor de 68.27 % muy cercano al valor obtenido debido al metabolismo propio del animal pues de cada gramo de proteína consumida solamente el 33 % es asimilado, y lo restante es eliminado en las deyecciones (INTA & FAO, 2012). Mientras que al finalizar proceso fue de 20.84 % esta cifra representa a la cantidad de materia orgánica que no pudo ser degradada por las bacterias por su alta complejidad. Logrando una reducción del 72.67 % en el proceso.

### 3.1.4 Nitrógeno pre y post tratamiento

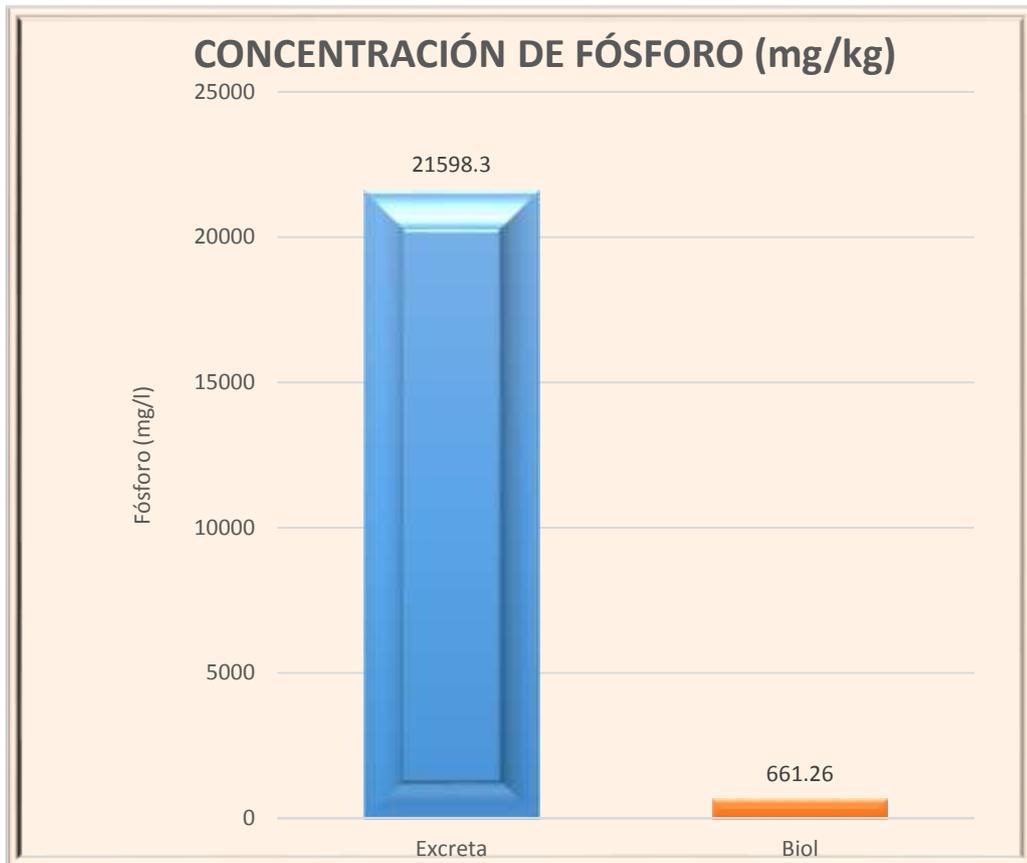


**Gráfico 4-3: Porcentaje de nitrógeno pre y post tratamiento**

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

El contenido de nitrógeno en la excreta al inicio del proceso fue de 2.89 % mientras que al finalizar el proceso fue de 1.06 %. El porcentaje de remoción obtenida fue del 63.32%. Según (INIA,2005) esta disminución se debe a que gran parte de este componente es utilizado por metanobacterias como fuente de alimentación el cual es transformado en amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) elemento más simple que al ser aplicado en cultivos puede ser absorbida directamente por la planta.

### 3.1.5 Fósforo pre y post tratamiento



**Gráfico 5-3: Concentración de fósforo pre y post tratamiento**

**Realizado por:** Rochina Hilda, 2017

El contenido de fósforo en la excreta al inicio del proceso fue de 21598.3 mg/kg y en el biol al final fue 661.26mg/l. Obteniendo una disminución del 96.94%. Ésta reducción podría deberse a que éste componente es asimilado por las bacterias durante su actividad metabólica en el proceso de fermentación anaeróbica al interior del biodigestor (Sánchez et al 2000).

### 3.1.6 Potasio pre y post tratamiento

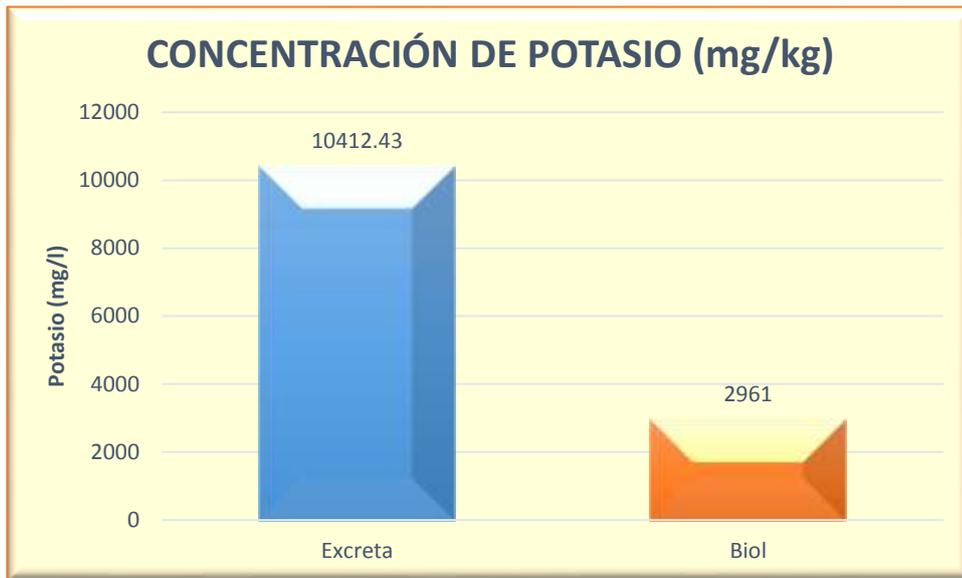


Gráfico 6-3: Porcentaje de potasio pre y post tratamiento

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

La gráfica 6-3 indica la cantidad del potasio presente en el estiércol al inicio del proceso fue de 10412.43 mg/l y del biol obtenido al final fue de 2961 mg/l. Logrando una disminución del 71.56%. Según Sánchez et al (2000) ésta disminución pudo deberse a que éste componente es transformado por las bacterias durante su actividad metabólica en el proceso de fermentación anaeróbica al interior del biodigestor.

### 3.1.7 Coliformes totales pre y post tratamiento

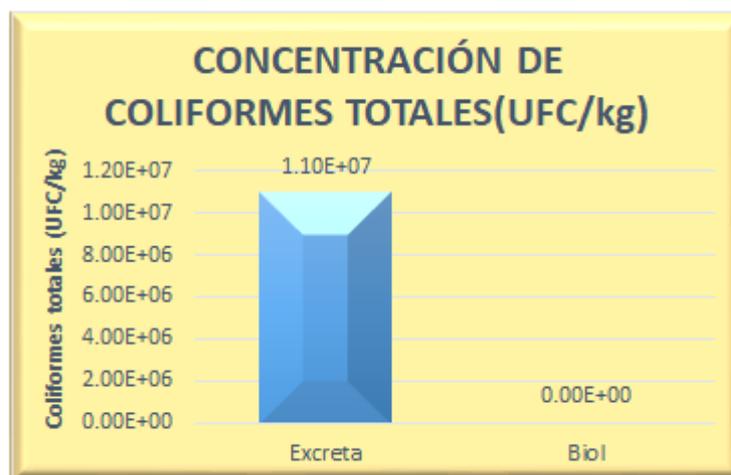
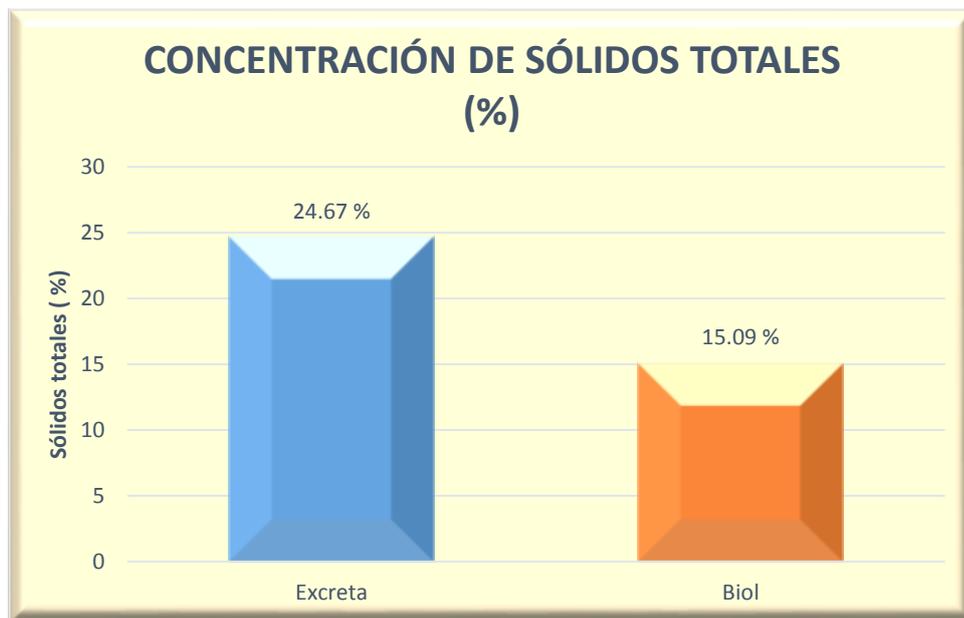


Gráfico 7-3: Coliformes totales pre y post tratamiento

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

La cantidad de coliformes totales presentes en el estiércol al inicio del proceso fue  $1.10E+07$  y en el biol al final fue  $<1$ . Obteniendo una remoción del 99.99%. Esto significa que tras haber transcurrido 72 días el proceso anaeróbico ha concluido quedando un efluente líquido (biol) menos agresivo en poblaciones bacterianas que el estiércol, éste puede ser utilizado como biofertilizante por su contenido de nutrientes (Sánchez et al 2000).

### 3.1.8 Sólidos totales (SST) pre y post tratamiento



**Gráfico 8-3: Sólidos totales pre y post tratamiento**

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

En la gráfica 8-3 se puede apreciar el porcentaje de sólidos totales en la excreta el cual fue de 24.67 % considerándose como un valor aceptable al encontrarse dentro del rango establecido para la biodigestion de excretas porcinas (15-49 %) (VARNERO,2011). En tanto que el valor porcentual del biol fue del 15.09 % esto se debe a que cerca de la mitad de los sólidos totales fueron digeridos por las bacterias durante el proceso de biodigestion. Además según HIDALGO & LARA (2012) la disminución de sólidos totales es indicativo de la efectividad del tratamiento.

### 3.1.9 Sulfuros pre y post tratamiento



**Gráfico 9-3: Sulfuros pre y post tratamiento**

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

Según el análisis realizado como muestra la gráfica 9-3 se puede observar que la cantidad de sulfuro presente en la excreta al inicio del proceso fue de 2.2 mg/l y del biol al final fue de <1. Logrando una disminución del 99.99%. Lo que indica que éste compuesto sale conjuntamente con el biogás en forma de sulfuro de hidrógeno al ionizarse en la solución de biol a pH neutro (MAC CARTY, 1964).

### 3.2 Dimensiones del biodigestor diseñado

**Tabla 2-3: Resultados de los cálculos del biodigestor diseñado**

Parámetro	Resultado	Unidad
Cantidad de estiércol	18	kg
Carga diaria	72	$\frac{\text{kg}}{\text{día}}$
Tiempo de retención	46	días
Volumen líquido	3.31	$\text{m}^3$

Volumen del biogás producido	1.10	m <sup>3</sup>
Volumen total de biodigestor	4.41	m <sup>3</sup>
Diámetro	1.28	m
Longitud del biodigestor	3.42	m
Volumen del reservorio de biogás	0.88	m <sup>3</sup>
Longitud del reservorio de biogás	0.68	m
Zanja del biodigestor:		
Ancho superior (b)	0.9	m
Ancho inferior (a)	0.7	m
Profundidad (p)	1	m

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

El biodigestor se ha diseñado en función de la cantidad de estiércol generado en la localidad, su dimensionamiento está estrechamente relacionado con la temperatura y el tiempo de retención pues a mayor temperatura menor tiempo de retención y menor longitud de la biobolsa ó viceversa. Esto influiría directamente en el espacio y costo en su construcción.

### 3.3 Monitoreo de temperatura

#### 3.3.1 Temperatura del invernadero

**Tabla 3-3: Resultados del promedio, varianza y desviación típica de la temperatura del invernadero**

	T1	T2	T3	T PROMEDIO
<b>POMEDIO</b>	15.2361111	21.6388889	18.4166667	18.4305556
<b>DESV. TÍPICA</b>	3.25957161	3.66403525	3.67706858	3.33260988

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

Según los resultados obtenidos a partir del Anexo B, se estima que la temperatura promedio que presentó el invernadero es de 18.43 °C la misma que podría llegar a una temperatura máxima de 21.76°C ó a una temperatura mínima de 15.09°C. La temperatura promedio alcanzada está acorde

al lugar de estudio y al material utilizado para el invernadero el cual debido a los recursos limitados no se ha construido con un material de alta calidad el cual hubiese mantenido en un mayor nivel de temperatura.

### 3.3.2 Temperatura ambiente

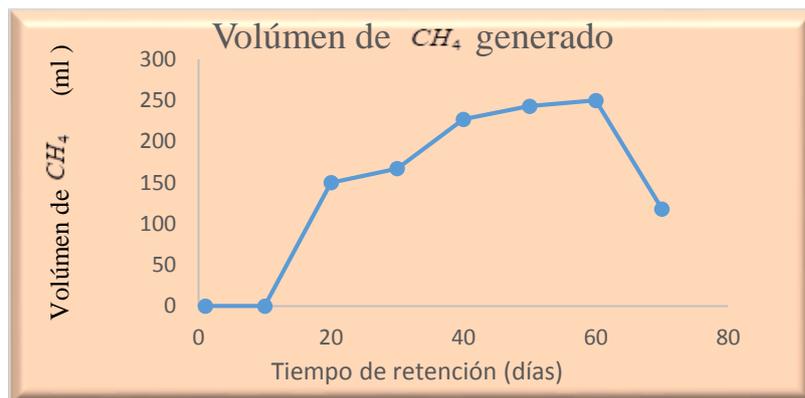
**Tabla 4-3: Resultados del promedio, varianza y desviación típica de la temperatura ambiente**

	T 1	T 2	T 3	T PROMEDIO
<b>PROMEDIO</b>	11.3472222	15.6111111	13.4861111	13.48148148
<b>DES.TÍPICA</b>	1.66799715	1.21969436	1.26921953	0.910990657

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

En la tabla 4-3 se pueden visualizar los resultados obtenidos a partir del Anexo B, en la cual se estima que la temperatura ambiente promedio es de 13.48 °C la misma que puede llegar a una temperatura máxima de 14.39 °C ó a una temperatura mínima de 12.57°C. Temperaturas que son típicas del lugar ya que se encuentra a una altura de 3007 msnm.

### 3.4 Producción de metano diario



**Gráfico 10-3: Generación de biogás según el tiempo de retención**

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

En la gráfica 10-3 se puede observar una mayor generación de metano en el día 60 tiempo en el cual la temperatura del invernadero también fue las más elevada (Anexo B) lo que corrobora que la producción de biogás depende directamente de la temperatura.

### 3.5 Análisis de costo y beneficio económico del diseño e implementación del biodigestor

#### 3.5.1 Diseño del biodigestor

Es importante conocer cuál será el valor aproximado de construcción para poder proveer gastos extras por no haber realizado la compra de materiales de acuerdo al requerimiento para la construcción.

**Tabla 5-3: Costo del diseño de un biodigestor**

ESTUDIO Y DISEÑO			
Detalle	Cantidad	Costo Unitario	Total
Recurso humano	1	850	850
Análisis fisicoquímico y microbiológico del estiércol	2	121.5	243
Análisis fisicoquímico y microbiológico del biol	2	80	160
<b>TOTAL</b>			<b>1253</b>

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

#### 3.5.2 Costos de implementación

Se considera importante saber valor económico aproximado que representaría la implementación del biodigestor para que se pueda tener una idea del costo requerido para este fin, es por esto que se ha realizado la presente evaluación de costos.

**Tabla 6-3: Costos de materiales para la construcción del biodigestor tubular**

<b>FASE 1: CONSTRUCCIÓN</b>			
<b>a. Insumos y materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Total</b>
<b>Biodigestor</b>			
Plástico polietileno tubular (300micrones negro) (metros)	5	6	30
Tubería PVC 3/4 "	1	6.3	6.3
Conducción de biogás			
Manguera de 1/2" (metros)	20	0.45	9
Codos pvc 3/4 "	6	0.6	3.6
Niple pvc 3/4"	4	0.35	1.4
Llaves de bola 1/2"	6	3	18
Teflón	1	0.5	0.5
Tee PVC 1/2"	4	0.35	1.4
Abrazadera	4	0.25	1
Uniones	8	0.35	2.8
<b>Tanques de carga y descarga</b>			
Cemento (quintal)	2	7.5	15
Arena (metros)	5	2.5	12.5
Ripio (metros)	4	2.5	10
<b>Reservorio de biogás</b>			
Plástico de polietileno	1	6	6
<b>Reservorio de biol</b>			
Tanque de pvc	1	90	90
<b>Invernadero</b>			
Plástico para invernadero (metros)	7	6	42
Vigas de 1 metro	4	2	8
Clavos (libras)	1	2	2
<b>Total de materiales(\$)</b>			<b>259.5</b>
<b>b. Requerimiento de mano de obra para la construcción \$</b>	2	25	<b>50</b>
<b>c. Transporte de materiales (\$)</b>	3	7	<b>21</b>

<b>FASE 2: OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>			
<b>a. Insumos y materiales para la preparación del sustrato</b>			
Balde de 10 litros	2	5	<b>10</b>
Pala	1	15	<b>30</b>
Agua	9	0.05	<b>0.45</b>
Escoba	1	2.50	<b>2.50</b>
<b>b. Mantenimiento</b>	2	25	<b>50</b>
<b>c. Limpieza</b>			
Balde de 4 litros	1	3	<b>3</b>
Agua	40	0.05	<b>2</b>
<b>d. IMPREVISTOS</b>			<b>50</b>
<b>TOTAL</b>			<b>453.45</b>

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

Según los resultados que se pueden apreciar en la tabla 6-3 indican que para la construcción del biodigestor se requerirá una cantidad de 478.45 \$ este valor se incluye costos de materiales, mano de obra, transporte, requerimientos de insumos en la operación y mantenimiento y posibles imprevistos que se puedan presentar.

### 3.5.3 Beneficios económicos de la implementación del biodigestor

Al igual que la evaluación de costos es fundamental conocer los beneficios económicos y ambientales que conlleva la implementación de un biodigestor.

**Tabla 7-3: Beneficios económicos de la aplicación de un biodigestor tubular de 4.41 m<sup>3</sup> con una carga anual de 6570 kg de estiércol de cerdo.**

Beneficios	Ahorro anual
<b>A. Biogás como fuente de energía</b>	
a. Producción anual de biogás(m <sup>3</sup> /año)	396 m <sup>3</sup> /año
b. Equivalente de biogás a unidades de GLP al año	12

c. Precio comercial por unidad de GLP \$	3.00
d. Ahorro anual del uso de biogás \$	<b>36</b>
<b>B. Efluente como fertilizante</b>	
e. Producción de bioabono anual (kg/año)	4982.25kg/año
f. Equivalente de kilogramos a quintales de bioabono	49.82 quintales/año
g. Precio comercial por quintal de bioabono \$	5.00
k. Ingreso anual de biofertilizante\$	<b>250</b>
<b>C. Beneficios directos totales/año \$</b>	<b>286</b>

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

De llegarse a implementar el biodigestor éste generaría 1.10m<sup>3</sup>/día de biogás y que al mes representaría a 1 tanque de GLP significando un ahorro anual de 36 \$. A parte se produciría 4982.25 kg de biofertilizante/año equivalente a 49.82 quintales/año de los cuales son necesarios 6 quintales para su uso en el lugar representando un ahorro de 30 \$, lo restante se lo podría vender a un precio de 5 \$. Todo esto representaría un ahorro anual de 66 \$ y un ingreso anual de 220 \$ un valor económico no muy representativo pero que ambientalmente es muy significativo tanto para el ecosistema y la salud del ser humano.

### 3.5.4 Beneficios económicos anuales

La presente tabla se ha generado a partir de las tablas 6-3 y 7-3, evaluando de esta manera el costo y beneficio que conlleva la implementación de un biodigestor.

**Tabla 8-3: Costo/beneficio en un período de 5 años**

BENEFICIOS	AÑOS					
	1	2	3	3	4	5
Valor de biogás \$	36	37.11	38.26	39.44	40.66	41.92
Valor de efluente \$	250	257.73	265.70	273.92	282.39	291.12
Beneficios totales \$	286	294.84	303.96	313.36	323.05	333.05
<b>COSTOS</b>						
Construcción/instalación	380.5	0	0	0	0	0

Operación y Mantenimiento	72.95	75.20	77.53	79.93	82.40	84.95
Costos totales	453.45	75.20	77.53	79.93	82.40	84.95
Beneficios netos por año	-167.45	219.63	226.43	233.43	240.65	248.09

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

Como se puede apreciar en la tabla 8-3 en el primer año de implementación del biodigestor no existen beneficios económicos debido a que existe 167.45 dólares que todavía no se ha recuperado de la implementación del biodigestor. Sin embargo a partir del segundo año ya se empiezan a generar las ganancias, llegando a obtener beneficios económicos de hasta 248.09 dólares al quinto año.

## CONCLUSIONES

- Los valores de la caracterización fisicoquímica y microbiológica en la etapa pre degradación indicaron el grado de descomposición de la materia orgánica, por cuanto los valores de relación DQO/DBO<sub>5</sub> fue de 2.30 el mismo que se considera en el rango de materia orgánica moderadamente degradable; mientras que en la etapa de post degradación la proporción carbono/nitrógeno alcanzó un valor de 11.40% manteniéndose en el intervalo óptimo para la producción de biogás.
- Para el dimensionamiento adecuado del prototipo experimental una vez seleccionado el modelo del biodigestor se obtuvo una carga diaria de 12 kg con un tiempo de retención de 54 días y un volumen total de 0.87 m<sup>3</sup>, generando 25x10<sup>-5</sup> m<sup>3</sup> de biogás; para esto se trabajó con 3 kg de excreta que genera un cerdo en promedio diario, por otra parte para la mezcla se utilizó el criterio de 1:3.
- La implementación del prototipo se lo realizó en función a los parámetros determinados como recolección de excreta en un período de 15 días, en la que se estimó una producción promedio de 18 kg diarios, además de los sólidos totales en la excreta fue de 24.67% considerándose como un valor aceptable al encontrarse dentro del rango establecido para la biodigestión de excretas porcinas (15-49%); de la misma forma los valores del pH y materia orgánica.
- En función a los resultados de los datos preliminares como disponibilidad de estiércol (18 kg), necesidad de producción de gas (1 tanque), requerimiento de área (1.756 m<sup>2</sup>), mano de obra, operación, mantenimiento y factor económico; se tomó la decisión de diseñar el biodigestor tubular de estructura flexible de 3.42 m de longitud; 4.41m<sup>3</sup> de volumen total del biodigestor y con un diámetro de 1.28 m
- De efectuarse la implementación del biodigestor diseñado se generaría un ahorro de aproximadamente 1 bombona de gas doméstico mensual, disminuyendo un gasto económico de alrededor de 286 \$ anuales; a más de obtener ingresos de 220\$ por concepto de venta del biol. Teniendo una recuperación total del valor invertido al segundo año.

## RECOMENDACIONES

- Es necesario mantener la producción de la cantidad de materia orgánica, a fin de que las diferentes bacterias permanezcan activas en la etapa de degradación, para esto se debe introducir la excreta sólida previo a realizar la primera carga.
- Se sugiere de que antes de realizar la primera carga se debe introducir excreta sólida al interior del biodigestor para que los microorganismos puedan efectuar de mejor manera los diferentes procesos.
- Una vez estabilizado el biodigestor se deben realizar las cargas según el uso del biogás, si se ha utilizado se puede alimentar diariamente de lo contrario tan solo 1 o 2 veces por semana.
- Una vez concluido el proyecto de titulación se sugiere la implementación y su seguimiento a fin de contribuir al desarrollo comunitario y disminuir la contaminación a causa de los residuos generados por las actividades agrícolas.
- A condiciones de temperatura ambiente baja se sugiere ubicar el biodigestor en un invernadero con el fin de disminuir el tiempo de retención y reducir la longitud del biodigestor y por ende costos económicos.

## **BIBLIOGRAFÍA:**

**ANCÍVAR, SILVA; DEL ROSARIO, MARÍA.** *Diseño construcción e implantación de un Biodigestor Anaerobio vertical Semicontinuo piloto, para la obtención de gas metano y biol a partir de cáscara de naranja en la Empresa Ecopacific Amaguaña, Provincia de Pichincha, ECUADOR* [en línea]. Pichincha: A. María, 2013. [Consulta: 11 junio 2017]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6269/1/AC-ESPE-037780.pdf>

**APARCANA, SANDRA; JANSEN, A.** *Estudio sobre el Valor Fertilizante de los Productos del Proceso “Fermentación Anaeróbica” para Producción de Biogás.* [en línea]. Lima-Perú: A.Sandra, 2008. [Consulta: 22 junio 2017]. Disponible en: <http://www.german-profec.com>

**ARRIETA PALACIOS, WINSTON JUAN OSCAR.** *Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado.* [en línea]. Piura-Perú: A. Oscar, 2016. [Consulta: 25 junio 2017]. Disponible en: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2575/IME\\_200.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2575/IME_200.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**AVENDAÑO ALLEN-PERKINS, DIEGO.** *Diseño y construcción de un digestor anaerobio de flujo pistón que trate los residuos generados en una explotación ganadera de la localidad de Loja, Ecuador, empleado tecnologías apropiadas.* [en línea]. Loja: Universidad Politécnica de Madrid. 2010. [Consulta: 30 junio 2017]. Disponible en: <http://manualzz.com/doc/5498287/dise%C3%B1o-y-construcci%C3%B3n-de-un-digestor>

**BIOMASA, I. D. A. E.** *Digestores anaerobios.* IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) [en línea], 2007, (España). Vol 13, pp. 17-25. [Consulta: 04 julio 2017]. ISBN-13: 978-84-96680-21-0. Disponible en: [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_10737\\_Biomasa\\_digestores\\_07\\_a996b846.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_digestores_07_a996b846.pdf)

**BBC.** *Biogás a bajo costo en Costa Rica* [en línea]. Costa Rica: BBCMUNDO, 13 de Marzo de 2009. [Consulta: 12 julio 2017]. Disponible en: [http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/forums/newsid\\_7937000/7937917.stm](http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/forums/newsid_7937000/7937917.stm)

**BETETA HERRERA, et.al.** *Construcción y uso de biodigestores tubulares plásticos*. [en línea]. Managua-Nicaragua: UNA, 2005. [Consulta: 12 julio 2017]. Disponible en: <http://repositorio.una.edu.ni/2412/1/nf04b562.pdf>

**BUENROSTRO, OTONIEL, et al.** La digestión anaerobia como alternativa de tratamiento a los residuos sólidos orgánicos generados en los mercados municipales. *Revista internacional de contaminación ambiental*, vol. 16, no 1, 2000, México, pp. 20-22. [Consulta: 12 julio 2017]. Disponible en: <http://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/32527/29878>

**CANO-HERNÁNDEZ, MARIBEL, et al.** Caracterización de bioles de la fermentación anaeróbica de excretas bovinas y porcinas. *Sistema Biobolsa*, vol. 50, no 4, 2016, México, pp. 473-475. [Consulta: 14 julio 2017]. Disponible en: [https://documentop.com/queue/caracterizacion-de-bioles-de-la-fermentacion-anaerobica-de-colpos\\_59ff262f1723dd42d67db8da.html](https://documentop.com/queue/caracterizacion-de-bioles-de-la-fermentacion-anaerobica-de-colpos_59ff262f1723dd42d67db8da.html)

**CONCELLÓN MARTÍNEZ, ANTONIO.** *Construcciones prácticas porcinas*. [en línea]. Madrid-España: Biblioteca Técnica Aedos, 1974. [Consulta: 20 julio 2017]. Disponible en: <https://www.iberlibro.com/9788470030789/Construcciones-practicas-porcinas-Antonio-Concellon-8470030787/plp>

**DEL ÁGUILA, FLORES; JHOSSET, MANFRED.** *Producción de Biol a partir de cuatro fuentes de materia orgánica en el fundo Cacatachi*. (Tesis Pregrado). Tarapoto-Perú: Universidad Nacional de San Martín-T, 2009. pp. 50-51. [Consulta: 30 julio 2017]. Disponible en: <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/1988/browse?value=Org%C3%A1nicos&type=subject>

**DEUBLEIN, DIETER; STEINHAUSER, ANGELIKA.** *Process Parameters. Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction* [en línea]. Alemania: Brithis L&A, 2008. [Consulta: 02 Agosto 2017]. Disponible en: <https://books.google.com.ec>

**DOMINGUEZ, PEDRO, JULIO.** Biodigestores como componentes de sistemas agropecuarios integrados. Instituto de Investigaciones Porcinas. *Revista Computarizada de Producción porcina* [en línea], 2000, Punta Brava-La Habana, pp. 5-8. [Consulta: 13 Agosto 2017]. Disponible en: [http://www.avpa.ula.ve/eventos/viii\\_encuentro\\_monogasticos/sistemas\\_integrados/conferencia-6.pdf](http://www.avpa.ula.ve/eventos/viii_encuentro_monogasticos/sistemas_integrados/conferencia-6.pdf)

**FERRER, IVET, et al.** Biogas production in low-cost household digesters at the Peruvian Andes. *Biomass and Bioenergy* [en línea], vol. 35, n° 5, 2010, Cataluña-Francia, pp. 1668-1674. [Consulta: 13 Agosto 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953410004940>

**GARCÍA GALARZA, GABRIELA ESTEFANÍA, et al.** *Diseño de un Biodigestor para el mejoramiento de las aguas residuales en la parroquia de Tumbaco ejemplificado en los barrios Tola Chica, Tola Grande y Santa Rosa.* (Tesis Pregrado). Quito Ecuador: Universidad San Francisco de Quito, 2016. pp. 43-48. [Consulta: 26 Agosto 2017]. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/5449>

**GLOBAL METHANE INITIATIVE, et al.** *Global methane emissions and mitigation opportunities.* GMI [en línea]. 17 Agosto 2011. [Consulta: 26 Agosto 2017]. Disponible en: [www.globalmethane.org](http://www.globalmethane.org)

**GUEVARA VERA, ANTONIO, et al.** *Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales: Producción de gas y saneamiento de efluentes* [en línea]. Lima-Perú: CEPIS, 1996. [Consulta: 26 Agosto 2017]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/7967/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf>

**GUILCAPI, LARA; FABRICIO, MARLON.** *Diseño de un biodigestor para la producción de biogás generado por las excretas de ganado vacuno, en el Criadero "Jersey Chugllin".* (Tesis Pregrado). Riobamba Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias, 2016. pp. 45-60. [Consulta: 26 Agosto 2017]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/6261>

**HIDALGO CHIMBORAZO, MARÍA BELÉN; LARA GUILCAPI, SEBASTIÁN EDWIN.** *Diseño de un Biorreactor y Conducción del Biogas Generado por las Excretas de Ganado Vacuno, Estación TUNSHI-ESPOCH.* (Tesis Pregrado). Riobamba Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias, 2012. pp. 29-38. [Consulta: 08 Septiembre 2017]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/1652>

**HILBERT, J.** *Manual para la Producción de Biogas* [en línea]. Castelar Argentina: Instituto de Ingeniería Rural, 2003. [Consulta: 08 Septiembre 2017]. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual\\_para\\_la\\_produccion\\_de\\_biogs\\_del\\_iir.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual_para_la_produccion_de_biogs_del_iir.pdf)

**INTENSIVE TIERHALTUNG, BREF.** *Reference Document on Best available Techniques for Intensive Rearing of Poultry and Pigs.* [en línea]. Luxemburgo: European Commission, 2003. [Consulta: 08 Septiembre 2017]. Disponible en: <https://pork.ahdb.org.uk/media/73704/reference-document-on-best-available-techniques-for-intensive-rearing-of-poultry-and-pigs.pdf>

**MCGARRY, MICHAEL G.; STAINFORTH, JILL.** *Compost, fertilizer, and biogas production from human and farm wastes in the People's Republic of China.* [en línea]. Ottawa-China: International Development Research Centre, 1978. [Consulta: 08 Septiembre 2017]. Disponible en: <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/792/IDL-792.pdf?sequence=1>

**MARTÍ, HERRERO, et al.** *Biodigestores familiares. Guía de diseño y manual de instalación: Biodigestores de polietileno tubular de bajo costo para trópico, valle y altiplano.* [en línea]. La Paz-Bolivia: Cooperación Técnica Alemana, 2008. [Consulta: 08 Septiembre 2017]. Disponible en: <http://www.bivica.org/upload/biodigestores-familiares.pdf>

**MAZUMDAR, A., et al.** *Consolidation of information. Biogas handbook.* [en línea]. París Francia: UNESCO, 1982. [Consulta: 10 Septiembre 2017]. Disponible en: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19852423704>

**PEDREÑO, JOSÉ NAVARRO, et al.** *Residuos orgánicos y agricultura.* [en línea]. Alicante-España: Universidad de Alicante, 1995. [Consulta: 10 Septiembre 2017]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/235941169\\_Residuos\\_organicos\\_y\\_agricultura](https://www.researchgate.net/publication/235941169_Residuos_organicos_y_agricultura)

**PERALTA, J. M.** *Recomendaciones técnicas para la gestión ambiental en el manejo de purines de la explotación porcina.* [en línea]. Santiago-Chile: INIA, 2005. [Consulta: 10 Septiembre 2017]. Disponible en: [http://biblioteca.inia.cl/medios/catalogo/libros/INIA\\_L0018.pdf](http://biblioteca.inia.cl/medios/catalogo/libros/INIA_L0018.pdf)

**PINTO, LUCILA; QUIPUZCO, LAWRENCE.** Aprovechamiento de aguas residuales domésticas para producción de biogás y biol mediante digestores de carga diaria. En *Anales Científicos. Canales Científicos*, [en línea], 2015, (Perú) 76(1), pp. 87-93. [Consulta: 10 Septiembre 2017]. ISSN-e 2519-7398. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6171073>

**RAJENDRAN, KARTHIK; ASLANZADEH, SOLMAZ; TAHERZADEH, MOHAMMAD J.** Household Biogas Bigesters. *Energies*, [en línea], 2012, (Suecia) 5(8), pp. 2911-2942. [Consulta: 11 Septiembre 2017]. ISSN 2911-2942. Disponible en: <http://www.mdpi.com/1996-1073/5/8/2911/htm>

**RAMOS, J. Y HERNÁNDEZ, J.** Implementación de un biodigestor anaerobio para la generación de energía eléctrica a partir de lodos activados, producto del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Abasolo. *Aquaforum*, [en línea], 2007, (México) 11(46), pp. 25-30. [Consulta: 13 Septiembre 2017]. ISSN 4170-9084. Disponible en: [http://www.guanajuato.gob.mx/ceag/pdf/revista\\_aquaforum.pdf](http://www.guanajuato.gob.mx/ceag/pdf/revista_aquaforum.pdf)

**RIVAS-SOLANO, OLGA; FAITH-VARGAS, MARGIE; GUILLÉN-WATSON, ROSSY.** Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su

productividad. *Tecnología en Marcha*, [en línea], 2011, (España) 23(1), pp. 39-46. [Consulta: 13 Septiembre 2017]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/377508>

**RIVERA TORO, MERLIN.** Producción de abono orgánico y biogás mediante biodigestión anaeróbica de lodos activos. (Tesis Pregrado). [en línea] Universidad de la Serena, Ciencias. (Coquimbo-Chile). 2012. pp. 11-18. [Consulta: 15 Septiembre 2017]. Disponible en: <https://studylib.es/doc/7393539/producción-de-abono-orgánico-y-biogás>

**SANGUIL, TOSCANO; CAROLINA, TATIANA.** Diseño de un biodigestor anaeróbico para la obtención de biogás, a partir de las excretas de ganado vacuno en el Rancho Guadalupe, en el Cantón Mocha Provincia de Tungurahua en el año 2015. (Tesis Pregrado). [en línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ciencias. (Riobamba-Ecuador). 2016. pp. 54-62. [Consulta: 15 Septiembre 2017]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4898>

**SIMPSON, K.** *Abonos y Estiércoles*. [en línea]. Zaragoza-España: Editorial ACRIBIA, 1991. [Consulta: 22 Septiembre 2017]. Disponible en: [https://www.editorialacribia.com/libro/abonos-y-estiercoles\\_54446/](https://www.editorialacribia.com/libro/abonos-y-estiercoles_54446/)

**TAUSEEF, S. M., et al.** Methane capture from livestock manure. *Journal of environmental management*, [en línea], 2013, (United State of America) 117(22), pp. 187-207. [Consulta: 22 Septiembre 2017]. ISSN 2337-6302. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23376302>

**UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICO. UMPE.** *Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás* [en línea]. Bogotá-Colombia: INCOTEC, 2003. [Consulta: 03 Octubre 2017]. Disponible en: [http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias\\_alternativas/normalizacion/GUIA\\_PARA\\_LA\\_IMPLEMENTACION\\_DE\\_SISTEMAS\\_DE\\_PRODUCCION\\_DE\\_BIO.pdf](http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/normalizacion/GUIA_PARA_LA_IMPLEMENTACION_DE_SISTEMAS_DE_PRODUCCION_DE_BIO.pdf)

**VARNERO MORENO, MARÍA TERESA.** *Manual de biogás*. [en línea]. Santiago-Chile: Universidad de Chile, 2011. [Consulta: 03 Octubre 2017]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>

## ANEXOS

### Anexo A: Estiércol porcino generado a diario

GENERACIÓN DE ESTIERCOL DIARIO						
DATOS	FECHA	DÍA	CORRAL1	CORRAL 2	CORRAL 3	TOTAL
1	01/07/2017	Sábado	6.5	6	6.5	19
2	02/07/2017	Domingo	6.6	8	5.7	20.3
3	03/07/2017	Lunes	7.3	8	7	22.3
4	04/07/2017	Martes	8.5	4	3.5	16
5	05/07/2017	Miércoles	5.5	6.5	6	18
6	06/07/2017	Jueves	6	3.5	6	15.5
7	07/07/2017	Viernes	7.5	4.5	6	18
8	08/07/2017	Sábado	7.5	4.5	5	17
9	09/07/2017	Domingo	8	5.5	4.5	18
10	10/07/2017	Lunes	5.5	8.5	5.5	19.5
11	11/07/2017	Martes	6	4.5	4	14.5
12	12/07/2017	Miércoles	7.5	7.5	7.5	22.5
13	13/07/2017	Jueves	6.5	4.5	4.2	15.2
14	14/07/2017	Viernes	6.5	6.5	5.5	18.5
15	15/07/2017	Sábado	7	4.5	4.5	16
		<b>TOTAL</b>	102.4	86.5	81.4	270.3
		<b>PROMEDIO</b>	6.826666667	5.766666667	5.426666667	18.02
		<b>VARIANZA</b>	0.736622222	2.528888889	1.209955556	5.52426667
		<b>DESV.TÍPICA</b>	0.858266988	1.590248059	1.099979798	2.35037586

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

### Anexo B: Registro de temperatura tomada al interior del invernadero

TEMPERATURA PROMEDIO DEL INVERNADERO					
Ítem	Fecha	9:00	13:00	18:00	PROMEDIO
1	13/08/2017	13	17	15	15
2	14/08/2017	17	24	22	21
3	15/08/2017	17	22	21	20
4	16/08/2017	13	15	14	14
5	17/08/2017	17	24	22	21
6	18/08/2017	16	25	22	21
7	19/08/2017	17	24	22	21
8	20/08/2017	14	19	18	17
9	21/08/2017	14	16	15	15
10	22/08/2017	18	23	22	21
11	23/08/2017	19	24	23	22
12	24/08/2017	14	20	17	17
13	25/08/2017	15	21	18	18

14	26/08/2017	14	23	17	18
15	27/08/2017	23	28	24	25
16	28/08/2017	13	15	14	14
17	29/08/2017	23	27	25	25
18	30/08/2017	12	16	14	14
19	31/08/2017	16	20	15	17
20	01/09/2017	15	19	17	17
21	02/09/2017	22	27	23	24
22	03/09/2017	13	25	16	18
23	04/09/2017	14	24	16	18
24	05/09/2017	19	26	24	23
25	06/09/2017	15	22	17	18
26	07/09/2017	12	19	14	15
27	08/09/2017	12	22	14	16
28	09/09/2017	11	17	14	14
29	10/09/2017	19	26	24	23
30	11/09/2017	12	18	15	15
31	12/09/2017	11	17	14	14
32	13/09/2017	14	21	19	18
33	14/09/2017	16	24	20	20
34	15/09/2017	12	16	14	14
35	16/09/2017	11	25	21	19
36	17/09/2017	17	26	23	22
37	18/09/2017	20	28	24	24
38	19/09/2017	13	18	17	16
39	20/09/2017	12	16	14	14
40	21/09/2017	15	25	14	18
41	22/09/2017	18	25	20	21
42	23/09/2017	11	20	17	16
43	24/09/2017	11	17	14	14
44	25/09/2017	22	28	25	25
45	26/09/2017	14	20	17	17
46	27/09/2017	20	26	23	23
47	28/09/2017	12	16	14	14
48	29/09/2017	20	28	24	24
49	30/09/2017	11	17	14	14
50	01/10/2017	18	21	21	20
51	02/10/2017	13	18	14	15
52	03/10/2017	15	24	21	20
53	04/10/2017	18	23	22	21
54	05/10/2017	12	19	14	15
55	06/10/2017	15	23	19	19
56	07/10/2017	11	21	16	16
57	08/10/2017	16	23	18	19

58	09/10/2017	11	17	14	14
59	10/10/2017	12	21	15	16
60	11/10/2017	19	26	24	23
61	12/10/2017	13	25	22	20
62	13/10/2017	22	27	23	24
63	14/10/2017	18	25	23	22
64	15/10/2017	19	24	20	21
65	16/10/2017	12	19	14	15
66	17/10/2017	14	19	15	16
67	18/10/2017	12	18	15	15
68	19/10/2017	15	20	19	18
69	20/10/2017	16	21	20	19
70	21/10/2017	14	21	19	18
71	22/10/2017	17	22	18	19
72	23/10/2017	16	20	18	18
	<b>POMEDIO</b>	15.23611111	21.6388889	18.4166667	18.4305556
	<b>DESV.TÍPICA</b>	3.259571613	3.66403525	3.67706858	3.33260988

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

#### Anexo C: Registro de temperatura promedio del ambiente

TEMPERATURA AMBIENTE					
ÍTEM	FECHA	9:00	13:00	18:00	PROMEDIO
1	13/08/2017	12	15	14	13.66666667
2	14/08/2017	11	14	14	13
3	15/08/2017	12	15	14	13.66666667
4	16/08/2017	13	16	15	14.66666667
5	17/08/2017	9	18	12	13
6	18/08/2017	14	16	12	14
7	19/08/2017	9	18	16	14.33333333
8	20/08/2017	14	15	14	14.33333333
9	21/08/2017	11	15	16	14
10	22/08/2017	10	14	14	12.66666667
11	23/08/2017	11	16	12	13
12	24/08/2017	14	16	14	14.66666667
13	25/08/2017	9	16	13	12.66666667
14	26/08/2017	11	16	14	13.66666667
15	27/08/2017	13	15	14	14
16	28/08/2017	11	15	14	13.33333333
17	29/08/2017	14	16	14	14.66666667
18	30/08/2017	10	15	12	12.33333333
19	31/08/2017	9	18	12	13
20	01/09/2017	10	16	14	13.33333333
21	02/09/2017	13	17	15	15
22	03/09/2017	9	18	12	13
23	04/09/2017	10	15	14	13

24	05/09/2017	11	16	15	14
25	06/09/2017	13	18	16	15.66666667
26	07/09/2017	12	14	16	14
27	08/09/2017	12	17	12	13.66666667
28	09/09/2017	12	15	12	13
29	10/09/2017	9	14	14	12.33333333
30	11/09/2017	11	16	12	13
31	12/09/2017	14	17	13	14.66666667
32	13/09/2017	10	17	12	13
33	14/09/2017	9	14	13	12
34	15/09/2017	12	14	12	12.66666667
35	16/09/2017	10	16	13	13
36	17/09/2017	12	15	14	13.66666667
37	18/09/2017	10	14	13	12.33333333
38	19/09/2017	14	16	12	14
39	20/09/2017	9	15	13	12.33333333
40	21/09/2017	12	17	14	14.33333333
41	22/09/2017	10	14	12	12
42	23/09/2017	10	16	13	13
43	24/09/2017	10	17	13	13.33333333
44	25/09/2017	12	17	15	14.66666667
45	26/09/2017	11	14	14	13
46	27/09/2017	9	15	13	12.33333333
47	28/09/2017	10	14	14	12.66666667
48	29/09/2017	9	16	14	13
49	30/09/2017	12	16	12	13.33333333
50	01/10/2017	14	17	15	15.33333333
51	02/10/2017	12	15	13	13.33333333
52	03/10/2017	14	14	14	14
53	04/10/2017	12	16	12	13.33333333
54	05/10/2017	13	16	13	14
55	06/10/2017	14	17	13	14.66666667
56	07/10/2017	12	15	15	14
57	08/10/2017	11	14	12	12.33333333
58	09/10/2017	12	14	12	12.66666667
59	10/10/2017	9	14	14	12.33333333
60	11/10/2017	14	18	16	16
61	12/10/2017	10	15	16	13.66666667
62	13/10/2017	9	15	12	12
63	14/10/2017	10	14	13	12.33333333
64	15/10/2017	11	15	13	13
65	16/10/2017	14	16	15	15
66	17/10/2017	11	17	12	13.33333333
67	18/10/2017	10	14	15	13
68	19/10/2017	13	15	12	13.33333333
69	20/10/2017	14	16	15	15
70	21/10/2017	11	15	12	12.66666667
71	22/10/2017	12	16	14	14

72	23/10/2017	11	17	12	13.33333333
	<b>PROMEDIO</b>	11.3472222	15.6111111	13.4861111	13.48148148
	DES.TÍPICA	1.66799715	1.21969436	1.26921953	0.910990657

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

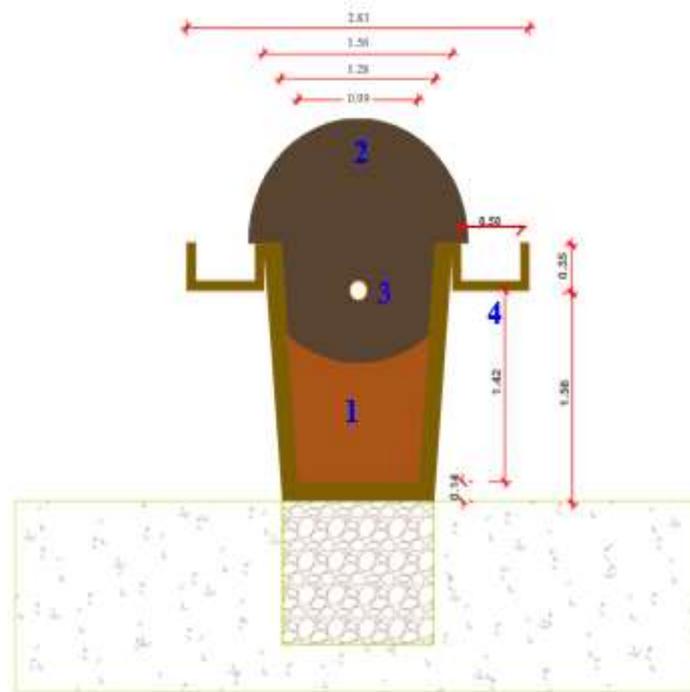
#### Anexo D: Generación diaria de biogás

DÍA	FECHA	VCH <sub>4</sub> ( ml )
1	13/08/2017	
2	14/08/2017	
3	15/08/2017	
4	16/08/2017	
5	17/08/2017	
6	18/08/2017	
7	19/08/2017	
8	20/08/2017	
9	21/08/2017	
10	22/08/2017	
11	23/08/2017	
12	24/08/2017	
13	25/08/2017	
14	26/08/2017	
15	27/08/2017	
16	28/08/2017	
17	29/08/2017	
18	30/08/2017	
19	31/08/2017	149
20	01/09/2017	150
21	02/09/2017	220
22	03/09/2017	180
23	04/09/2017	189
24	05/09/2017	225
25	06/09/2017	197
26	07/09/2017	146
27	08/09/2017	176
28	09/09/2017	120
29	10/09/2017	234
30	11/09/2017	167
31	12/09/2017	139
32	13/09/2017	215
33	14/09/2017	228
34	15/09/2017	154
35	16/09/2017	226

36	17/09/2017	239
37	18/09/2017	244
38	19/09/2017	207
39	20/09/2017	172
40	21/09/2017	227
41	22/09/2017	240
42	23/09/2017	214
43	24/09/2017	183
44	25/09/2017	250
45	26/09/2017	226
46	27/09/2017	248
47	28/09/2017	192
48	29/09/2017	250
49	30/09/2017	196
50	01/10/2017	243
51	02/10/2017	215
52	03/10/2017	244
53	04/10/2017	247
54	05/10/2017	
55	06/10/2017	243
56	07/10/2017	229
57	08/10/2017	244
58	09/10/2017	209
59	10/10/2017	231
60	11/10/2017	245
61	12/10/2017	240
62	13/10/2017	247
63	14/10/2017	250
64	15/10/2017	215
65	16/10/2017	220
66	17/10/2017	230
67	18/10/2017	202
68	19/10/2017	157
69	20/10/2017	144
70	21/10/2017	118
71	22/10/2017	105
72	23/10/2017	66
	<b>PROMEDIO</b>	202.7735849
	<b>DESV.TIPICA</b>	43.76422314

Realizado por: Rochina Hilda, 2017

## Anexo E: Biodigestor diseñado



**Leyenda:**

1:	Zona
2:	Biodigestor
3:	Tubo de abastecimiento al biodigestor
4:	Cimentación

VISTA FRONTAL



DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA LA GENERACIÓN DE BIOGAS Y BIOL EN LA COMUNIDAD DE ILLAGUA DEL CANTÓN GUARANDA

Plano: Biodigestor vista frontal

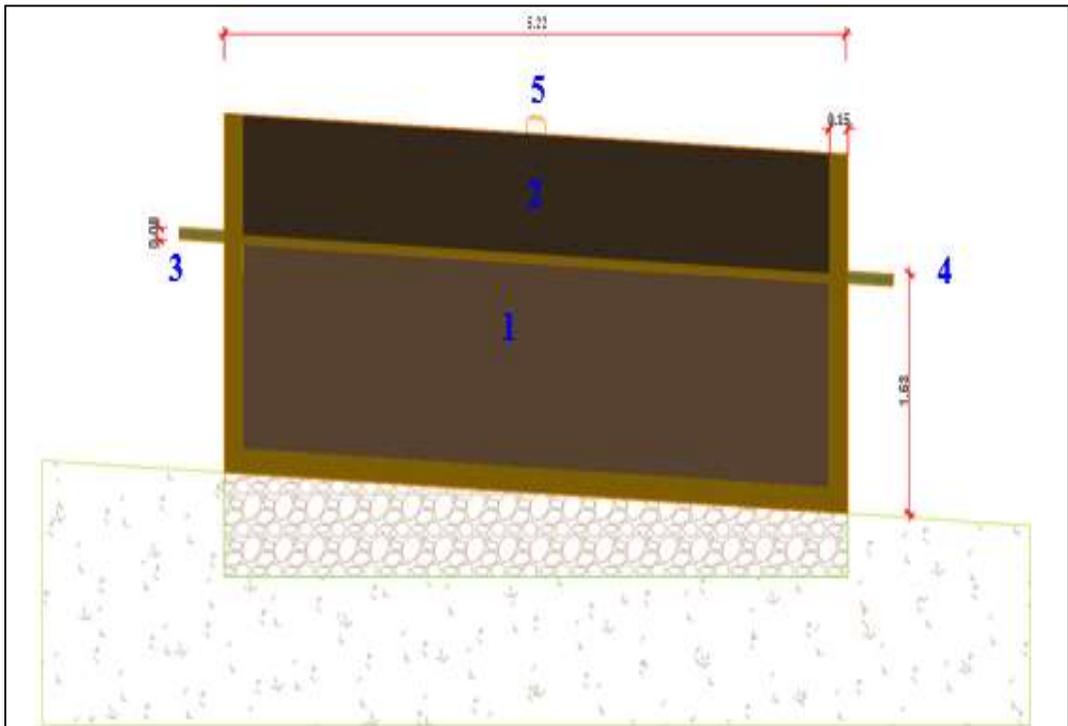
Realizado por: Hilda Rochina

Revisado por: Ing. Diego Guabana

Escala: 1:1

Lámina: 1

Fecha: 11/01/2018



VISTA LATERAL

**Legenda:**

- 1: Zona
- 2: Biodigestor
- 3: Tubería de alimentación al biodigestor
- 4: Tubería de salida del sustrato degradado
- 5: Válvula de salida de biogás

	DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA LA GENERACIÓN DE BIOGAS Y BIOL EN LA COMUNIDAD DE ILLAGUA DEL CANTÓN GUARANDA	
	Plano: Biodigestor vista lateral	
Realizado por: Hilda Rochina	Revisado por: Ing. Diego Buchano	
Escala: 1:1	Lámina: 1	Fecha: 11/01/2018

**Anexo F: Resultados de análisis de laboratorio**

	<b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b>
	<b>DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</b> Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183

<b>INFORME DE ENSAYO No:</b>	F-18-17
<b>ST:</b>	09 – 17 ANÁLISIS DE FERTILIZANTES
<b>Nombre Peticionario</b>	NA
<b>Atn.</b>	Hilda Rochina
<b>Dirección:</b>	Corazón de la Patria Riobamba-Chimborazo
<b>FECHA:</b>	01 de Noviembre del 2017
<b>NUMERO DE MUESTRAS:</b>	1
<b>FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:</b>	2017/10/20 – 12:44
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	2017/10/20–08:30
<b>FECHA DE ANÁLISIS:</b>	2017/10/20 – 2017/10/01
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Estiércol de Porcino
<b>CÓDIGO CESTTA:</b>	LAB-F-18-17
<b>CÓDIGO DE LA EMPRESA:</b>	NA
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Comunidad de Illagua
<b>ANÁLISIS SOLICITADO:</b>	Físico – Químico
<b>PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:</b>	Hilda Rochina
<b>CONDICIONES AMBIENTALES:</b>	T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE (■)
Relación Carbono/Nitrógeno	Cálculo	%	15,34	-
Nitrógeno Total Kjeldhal	Kjeldhal	%	2,89	-
Fósforo	Espetrofotometría	mg/Kg	21598,30	-
Potasio	Absorción Atómica	mg/Kg	10412,43	-
Humedad	Gravimetría	%	75,33	-
Potencial de hidrógeno	Potenciométrico	Unidades de pH	7,33	-
Materia Orgánica	NEN 5754.2005	%	76,26	-

**OBSERVACIONES:**

- Muestra receptada en laboratorio
- Estiércol de Cerdo.

**RESPONSABLE DEL INFORME:**



**Dr. Mauricio Alvarez**  
RESPONSABLE TÉCNICO



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y  
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA  
AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :  
SERVICIOS DE LABORATORIO**

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)  
RIOBAMBA - ECUADOR  
Telefax: (03) 3013183



Servicio de  
**Acreditación**  
Ecuatoriano

Acreditación N° OAE LE 2C 06-008  
**LABORATORIO DE ENSAYOS**

**INFORME DE ENSAYO No:** A-821-17  
**ST:** 381-17 ANÁLISIS DE AGUAS

**Nombre Peticionario:** NA  
**Atn.** Hilda Rochina  
**Dirección:** Corazón de la Patria  
Riobamba-Chimborazo  
01 de Noviembre del 2017

**FECHA:** 1  
**NUMERO DE MUESTRAS:** 2017/10/20- 12:44  
**FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:** 2017/10/20 - 11:30  
**FECHA DE MUESTREO:** 2017/10/20 - 2017/11/01  
**FECHA DE ANÁLISIS:**

**TIPO DE MUESTRA:** Agua Residual  
**CÓDIGO CESTTA:** LAB-A 820-17  
**CÓDIGO DE LA EMPRESA:** NA  
**PUNTO DE MUESTREO:** Comunidad de Illagua  
**ANÁLISIS SOLICITADO:** Físico - Químico-Microbiológico  
**PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:** Hilda Rochina  
**CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:** T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

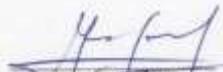
**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

PARÁMETROS	MÉTODO/NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE
Coliformes Fecales	PEE/CESTTA/48 Standard Methods No. 9222 D y 92221	UFC/100 mL	9600000	±20%	2000 NMP/100mL
Coliformes Totales	PEE/CESTTA/47 Standard Methods No. 9222 B	UFC/100 mL	11000000	±20%	-
Demanda Química de Oxígeno	PEE/CESTTA/09 Standard Methods No. 5220 D	mg/L	4850	±6%	200
Sulfuros	PEE/CESTTA/ 19 Standard Methods, Ed. 22. 2012 4500-S <sup>3</sup> CyD	mg/L	2,20	±5%	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	PEE/CESTTA/46 Standard Methods No. 5210 B	mg/L	2100	±15%	100
Sólidos Totales	PEE/CESTTA/10 Standard Methods No. 2540 B	%	24,67	-	-

**OBSERVACIONES:**

- Muestra receptada en el laboratorio.
- La columna: Valor limite permisible, está fuera del alcance de la acreditación del SAE. Contempla los limites máximos permisibles indicados en la Tabla 9.Limites de descarga a un cuerpo de agua dulce. AM 097. Libro VI. Anexo I. Solicitados por el cliente.

**RESPONSABLE DEL INFORME:**

  
**Dr. Mauricio Alvarez**  
**RESPONSABLE TÉCNICO**





**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y  
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :  
SERVICIOS DE LABORATORIO**

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)  
RIOBAMBA - ECUADOR  
Telefax: (03) 3013183

**INFORME DE ENSAYO No:**

**ST:**

**Nombre Peticionario**

**Atn.**

**Dirección:**

F-19-17

10 - 17 ANÁLISIS DE FERTILIZANTES

NA

Hilda Rochina

Corazón de la Patria

Riobamba-Chimborazo

**FECHA:**

07 de Noviembre del 2017

**NUMERO DE MUESTRAS:**

1

**FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:**

2017/10/24 - 15:20

**FECHA DE MUESTREO:**

2017/10/24-10:00

**FECHA DE ANÁLISIS:**

2017/10/24 - 2017/11/07

**TIPO DE MUESTRA:**

BIOL PORCINO

**CÓDIGO CESTTA:**

LAB-F-19-17

**CÓDIGO DE LA EMPRESA:**

NA

**PUNTO DE MUESTREO:**

Comunidad de Illagua

**ANÁLISIS SOLICITADO:**

Físico - Químico - Microbiológico

**PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:**

Hilda Rochina

**CONDICIONES AMBIENTALES:**

T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE (●)
Materia Orgánica	NEN 5754.2005	%	20,84	-
Nitrógeno Total Kjeldhal	Kjeldhal	%	1,06	-
Fósforo	Espectrofotometría	mg/L	661,26	-
Potasio	Absorción Atómica	mg/L	2961,00	-
Potencial de hidrógeno	Potenciométrico	Unidades de pH	6,9	-
Coliformes Totales	Standard Methods No. 9222 B	UFC/g	<1	-
Sulfuros	Espectrofotometría	mg/L	<1	-
Sólidos Totales	Gravimetría	%	15,09	-

**OBSERVACIONES:**

- Muestra receptada en laboratorio
- BIOL PORCINO

**RESPONSABLE DEL INFORME:**



**Dr. Mauricio Álvarez  
RESPONSABLE TÉCNICO**

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.  
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados

MC01-16

Página 1 de 1  
Edición 0

**Anexo G: Fotografías de la experimentación realizada**

**LOCALIZACIÓN DE LA PORQUERIZA**



**CUANTIFICACIÓN DEL ESTIÉRCOL DIARIO**



**Pesaje de la excreta recolectada**

**MUESTRAS PARA ANALISIS DE LABORATORIO**



**Muestra de excreta**



**Muestra de biol**

**DETERMINACIÓN DE TEMPERATURA DEL INVERNADERO**



**BIODIGESTOR PROTOTIPO**



**Materiales**



**Construcción de invernadero**

**Biodigestor instalado**



Mezcla de estiércol y agua



Alimentación al biodigestor

### BIODIGESTOR EN OPERACIÓN



PRUEBA DE LA PROBETA INVERTIDA



PRUEBA DE FLAMA

