



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR  
CONTINUO PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS  
A PARTIR DE ESTIERCOL DE GANADO  
VACUNO EN LA FINCA LA PODEROSA.”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:**

**JONATHAN FABRICIO CHILLO ABRIL  
SAÚL BASILO PAGUAY CUVI**

**TUTOR  
DRA. YOLANDA DÍAZ H.**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2015**

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios por su infinito amor, por darnos la fortaleza a lo largo de nuestra vida Universitaria, escuchando nuestras oraciones de gratitud y no dejarnos derrumbar en los momentos más difíciles.*

*A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en particular a la Carrera de Biotecnología Ambiental, lugar donde recibimos los conocimientos que nos ayudaron a crecer como personas y formarnos como profesionales.*

*A nuestra Directora de Tesis, a la Dra. Yolanda Díaz H., y a la Ing. María Fernanda Rivera, por guiarnos en el desarrollo de nuestra investigación, y por compartir sus conocimientos y experiencia que aportaron para la culminación de este Trabajo de Titulación.*

*Fabricio y Saúl*

## DEDICATORIA.

*A mis padres Elva Abril y Claudio Chillo quienes con su infinito amor, apoyo, y enseñanzas, me enseñaron que con lucha y perseverancia los sueños se hacen realidad.*

*A mi hermano y primo Stalin Lapo quien ahora por decisión de Dios no me acompaña, pero que desde el cielo está pendiente de mí y estoy seguro que está orgulloso por haber cumplido una de mis metas personales.*

*A mi abuelita Hortensia, que ahora está junto a Dios, pero que llena mi corazón de inmensa alegría y satisfacción a darle este gusto que tanto anheló.*

*A mis tías, Fanny y Pepa quienes me consideraron un hijo más de sus vidas, con su apoyo incondicional supieron levantarme cuando más lo necesité.*

*A mi abuelo Carlos, quien considero como mi segundo Padre, quien gracias a sus consejos han hecho de mí una persona de trabajo y luchador frente a cualquier adversidad.*

*A toda mi familia en general que creyeron en mí, con sus consejos me animaron a seguir con mis estudios superiores y pusieron un granito de arena para culminar y verme como un profesional.*

*Fabricio Chillo*

*Dedico el presente trabajo a mi hija Valentina y mi esposa Lisbeth, quienes han sido la fuente de mi inspiración y que han estado en mis pensamientos en todo momento siendo un pilar fundamental para poder surgir.*

*A mis padres Luisa Cuvi y Pedro Paguay por su apoyo incondicional, y sus consejos oportunos que ayudaron a superar todos los problemas que se han presentado a largo de mi vida, los cuales tendré presentes toda mi vida.*

*A todos mis queridos hermanos con quienes he compartido alegrías y tristezas, por enseñarme que en familia se puede superar todas las adversidades.*

*A mis suegros Iván Padilla y Marlene Gáneas que me han apoyado gran parte de mi carrera y contribuyeron a la culminación de este trabajo.*

*Saúl Paguay*

## CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL

El tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación **“IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR CONTINUO PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE ESTIERCOL DE GANADO VACUNO EN LA FINCA LA PODEROSA”**, de responsabilidad de los señores egresados: Jonathan Fabricio Chillo Abril y Saúl Basilio Paguay Cuvi, han sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Dra. Yolanda Díaz H.  
**DIRECTORA DE TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ing. Ma. Fernanda Rivera  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

*“Yo, Jonathan Fabricio Chillo Abril, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo; y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenecen a la*

*ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA  
DE CHIMBORAZO”*

---

**JONATHAN FABRICIO CHILLO ABRIL**

*“Yo, Saúl Basilio Paguay Cuvi, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo; y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación, pertenece a la*

*ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA  
DE CHIMBORAZO”*

---

**SAÚL BASILIO PAGUAY CUVI**

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono.
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano.
<b>NO<sub>3</sub></b>	Ión nitrato.
<b>ESPAM</b>	Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí.
<b>Kg</b>	Kilogramo.
<b>GLP</b>	Gas licuado de petróleo.
<b>m<sup>3</sup></b>	Metros cúbicos.
<b>L</b>	Litros.
<b>CaO</b>	Oxido de calcio.
<b>NaOH</b>	Hidróxido de sodio.
<b>DQO</b>	Demanda química de oxígeno.
<b>°C</b>	Grados centígrados.
<b>ppm</b>	Partes por millón.
<b>CH<sub>3</sub>COO-</b>	Ión acetato.
<b>H<sub>2</sub></b>	Hidrógeno molecular.
<b>pH</b>	Potencial de hidrogeno.
<b>C/N</b>	Relación carbono – nitrógeno.
<b>μ máx</b>	Velocidad máxima.
<b>(OH)</b>	Hidroxilo.
<b>Ca</b>	Calcio.

<b>Ca (OH)<sub>2</sub></b>	Hidróxido de calcio.
<b>SV</b>	Sólidos volátiles.
<b>P<sub>CH<sub>4</sub></sub></b>	Potencial de producción de metano.
<b>SO<sub>4</sub><sup>-2</sup></b>	Ión sulfato.
<b>NaCl</b>	Cloruro de sodio.
<b>Na</b>	Sodio.
<b>K</b>	Potasio.
<b>P</b>	Fósforo.
<b>CN</b>	Cianuro
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	Ión amonio.
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	Oxido de fósforo (III).
<b>K<sub>2</sub>O</b>	Oxido de potasio.
<b>MgO</b>	Oxido de magnesio.
<b>LABSU</b>	Laboratorio de suelos, aguas y plantas.
<b>PVC</b>	Policloruro de vinilo.
<b>Km</b>	Kilómetros.
<b>m.s.n.m.</b>	Metros sobre el nivel del mar.
<b>%</b>	Porcentaje.
<b>C</b>	Carbono.
<b>Cu</b>	Cobre.
<b>Fe</b>	Hierro.
<b>Mn</b>	Manganeso.
<b>Zn</b>	Zinc.
<b>Pulg</b>	Pulgada.

°	Grados.
<b>cm</b>	Centímetros.
<b>mm</b>	Milímetros.
<b>H<sub>2</sub>S</b>	Sulfuro de hidrógeno.
<b>Ko</b>	Factor de descomposición de sólidos volátiles.
<b>Uo</b>	Factor de producción de metano.
°T	Temperatura.
<b>e</b>	Exponencial.
<b>ST</b>	Sólidos totales.
<b>V<sub>CH<sub>4</sub></sub></b>	Volumen de metano
<b>TR</b>	Tiempo de retención.
<b>&gt;</b>	Mayor a.
<b>ETf</b>	Estiércol total de la finca.
<b>EPv</b>	Estiércol promedio por vaca.
<b>Vf</b>	Volumen funcional.
<b>Vt</b>	Volumen total.
<b>\$</b>	Dólar.
<b>N</b>	Nitrógeno.
<b>Q</b>	Volumen de carga.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Biodigestor de campana flotante.....	4
Figura 2: Biodigestor de domo fijo.....	5
Figura 3: Biodigestor de estructura flexible. ....	6
Figura 4: Esquema de reacciones de la digestión anaerobia de materiales poliméricos.....	18
Figura 5: Producción de biogás en función de la temperatura. ....	23
Figura 6: Ubicación geográfica de la finca “La Poderosa”.....	33

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Producción diaria de biogás. ....	59
Gráfico 2: Biogás acumulado. ....	60
Gráfico 3: pH durante el proceso. ....	61
Gráfico 4: Comparación de pH pre y post tratamiento. ....	63
Gráfico 5: Comparación sólidos totales pre y post tratamiento. ....	64
Gráfico 6: Comparación de sólidos volátiles pre y post tratamiento. ....	65
Gráfico 7: Comparación de nitrógeno total pre y post tratamiento. ....	66
Gráfico 8: Comparación de fósforo pre y post tratamiento. ....	67
Gráfico 9: Comparación de potasio pre y post tratamiento. ....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición bioquímica del biogás.....	10
Tabla 2: Producción de biogás de acuerdo a la materia prima. ....	11
Tabla 3: Rendimiento de la materia prima empleada.....	13
Tabla 4: Potencial de producción de metano de algunos residuos. ....	16
Tabla 5: Bacterias que participan en el proceso de fermentación durante las cuatro fases.....	17
Tabla 6: Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica.....	22
Tabla 7: Concentración de inhibidores más comunes.....	24
Tabla 8: Tiempo de retención según la temperatura.....	25
Tabla 9: Composición media de estiércol frescos de diferentes animales domésticos (% materia seca).....	28
Tabla 10: Condiciones meteorológicas de Francisco de Orellana. ....	32
Tabla 11: Parámetros analizados.....	34
Tabla 12: Producción de estiércol. ....	36
Tabla 13: Características del estiércol. ....	48
Tabla 14: Parámetros del biodigestor. ....	49
Tabla 15: Relación C/N. ....	53
Tabla 16: Tiempo de retención y temperatura.....	55
Tabla 17: Volumen de biogás producido durante 30 días. ....	57
Tabla 18: Determinación de pH.....	62
Tabla 19: Determinación de sólidos totales. ....	63
Tabla 20: Determinación de sólidos volátiles. ....	64

Tabla 21: Determinación de nitrógeno total. ....	65
Tabla 22: Determinación de fósforo. ....	66
Tabla 23: Determinación de potasio.....	67
Tabla 24: Costos de materiales del biodigestor. ....	69
Tabla 25: Costos indirectos del trabajo. ....	70
Tabla 26: Costo total del trabajo. ....	70

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Finca "La Poderosa" .....	80
ANEXO 2: Toma de muestras pre-tratamiento.....	81
ANEXO 3: Resultado de análisis del laboratorio pre-tratamiento M1.....	82
ANEXO 4: Resultado del análisis del laboratorio pre-tratamiento M2. ....	83
ANEXO 5: Resultado del análisis de laboratorio post-tratamiento. ....	84
ANEXO 6: Partes del biodigestor. ....	85
ANEXO 7: Ensamblaje del biodigestor.....	87
ANEXO 8: Instalación del biodigestor en la finca "La Poderosa". ....	88
ANEXO 9: Puesta en marcha del biodigestor. ....	89
ANEXO 10: Toma de muestra del biol. ....	90
ANEXO 11: Control de parámetros. ....	91
ANEXO 12: Generación de biogás.....	92
ANEXO 13: Planos del biodigestor. ....	93
ANEXO 14: Plano de la salida de gas y boca de descarga .....	93
ANEXO 15: Plano de la boca de carga y agitador. ....	93
ANEXO 16: Plano del soporte y tapa. ....	93
ANEXO 17: Plano de tanque y filtro. ....	93
ANEXO 18: Plano interno del biodigestor. ....	93

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	2
1. BIODIGESTOR.....	2
1.1. Clasificación de los digestores.....	2
1.1.1. Discontinuo o Bacth.....	2
1.1.2. Semi-continuo.....	3
1.1.3. Continuo.....	3
1.2. Tipos de biodigestores.....	3
1.2.1. Biodigestor de campana flotante (Hindú). ....	3
1.2.2. Biodigestor de domo fijo (Chino). ....	4
1.2.3. Biodigestor de estructura flexible.....	5
1.3. Componentes de un biodigestor. ....	6
1.3.1. Cámara de digestión. ....	6
1.3.2. Sistema de carga.....	6
1.3.3. Sistema de descarga.....	7
1.3.4. Cámara de gas o gasómetro. ....	7
1.3.5. Sistema de purificación del biogás. ....	7
1.4. Ventajas del biodigestor.....	8
1.4.1. Producción de energía. ....	8
1.4.2. Producción de fangos.....	8
1.4.3. Proceso exterior. ....	8
1.5. Desventajas del biodigestor.....	9
1.5.1. Puesta en marcha. ....	9

1.5.2.	Temperatura.....	9
1.5.3.	Costos.....	9
1.6.	BIOGÁS.....	9
1.6.1.	Composición del Biogás.....	10
1.6.2.	Materias primas para producir biogás.....	11
1.6.3.	Beneficios obtenidos con la aplicación del biogás.....	13
1.6.4.	Utilización del biogás.....	14
1.7.	METANO.....	15
1.7.1.	Potencial de producción de metano.....	15
1.7.2.	Bacterias productoras de metano.....	16
1.7.3.	Fundamentos de la fermentación metanogénica.....	17
1.7.3.1.	Etapas de la fermentación metanogénica.....	17
1.7.4.	Factores a considerar en el proceso metanogénico.....	20
1.7.4.1.	Material de carga para la fermentación metanogénica.....	20
1.7.4.2.	Relación Carbono-Nitrógeno (C/N).....	21
1.7.4.3.	Concentración de carga.....	21
1.7.4.4.	Temperatura.....	21
1.7.4.5.	Valor de pH.....	23
1.7.4.6.	Promotores e inhibidores de la fermentación.....	24
1.7.4.7.	Tiempo de retención.....	25
1.7.4.8.	Agitación.....	26
1.7.5.	Efluentes.....	26
1.8.	ESTIÉRCOL.....	27
1.8.1.	Composición del estiércol.....	27

1.8.2.	Contaminación e impacto generado por la excretas de ganado. ....	28
1.9.	MARCO LEGAL. ....	29
1.9.1.	CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. ....	29
CAPITULO II .....		32
2.	DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO.....	32
2.1.	MUESTREO.....	33
2.1.1.	Materiales. ....	33
2.1.2.	Metodología. ....	34
2.2.	DETERMINACIÓN DE LA CARGA DIARIA DE ESTIÉRCOL. ....	35
2.2.1.	Materiales. ....	35
2.2.2.	Equipo.....	35
2.2.3.	Metodología. ....	35
2.3.	CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DEL BIODIGESTOR CONTINUO.	
	36	
2.3.1.	Cámara de digestión.....	37
2.3.1.1.	Boca de carga. ....	37
2.3.1.2.	Boca de descarga. ....	38
2.3.1.3.	Agitador.....	38
2.3.1.4.	Salida de gas. ....	40
2.3.1.5.	Tapa.....	40
2.3.2.	Filtro para sulfuro de hidrogeno (H <sub>2</sub> S). ....	41
2.3.2.1.	Materiales.....	41
2.3.2.2.	Metodología .....	42
2.3.3.	Herramientas complementarias para la construcción del biodigestor.	
	42	

2.4.	INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL BIODIGESTOR.....	43
2.4.1.	Preparación de la carga diaria.....	44
2.4.1.1	Materiales.....	44
2.4.1.2	Reactivos.....	44
2.4.1.3.	Metodología.....	44
2.4.2.	Monitoreo y control.....	45
2.5.	VOLUMEN DE BIOGÁS PRODUCIDO.....	45
	CAPÍTULO III.....	48
3.	ETAPA PRELIMINAR.....	48
3.1.	Análisis del estiércol.....	48
3.2.	Diseño y construcción del biodigestor.....	49
3.2.1.	Determinación de los parámetros de diseño.....	49
3.2.2.	Dimensionamiento de las paletas del agitador.....	50
3.3.	Cálculo de la generación de estiércol diario.....	52
3.3.1.	Cámara de digestión.....	52
3.4.	Cálculo del volumen de biogás producido.....	55
3.5.	Volumen de biogás-diario producido.....	59
3.6.	Volumen de biogás acumulado.....	60
3.7.	Monitoreo de pH.....	61
3.8.	Resultados de los análisis físico-químicos de las muestras de estiércol y biol. 62	
3.8.1.	Potencial de hidrogeno (pH).....	62
3.8.2.	Sólidos totales.....	63
3.8.3.	Sólidos volátiles.....	64

3.8.4. Nitrógeno total. ....	65
3.8.5. Fósforo. ....	66
3.8.6. Potasio. ....	67
3.9. COSTO DEL TRABAJO. ....	68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....	72
Conclusiones. ....	72
Recomendaciones. ....	73
BIBLIOGRAFÍA. ....	75
ANEXOS. ....	80

## **RESUMEN.**

El presente trabajo de investigación consiste en la implementación de un biodigestor continuo para producción de biogás a partir de estiércol en la finca “La Poderosa” ubicada en el sector de Huamayacu, Cantón Sacha, Provincia de Orellana. La investigación se realizó en principio mediante la revisión de varias fuentes de investigación relacionadas con el tema, aplicadas bajo condiciones similares a las encontradas en la finca.

Posteriormente se seleccionaron 8 vacas con las cuales se estimó la cantidad de estiércol generado, así como los análisis físicos-químicos y microbiológicos del estiércol, que ayudaron a tener una idea más clara del tipo y dimensiones del biodigestor.

Para la construcción del biodigestor se utilizó un tanque de polietileno de 500 litros, se acoplaron los distintos componentes como boca de carga y descarga, agitador, válvula de salida, filtro de H<sub>2</sub>S, y manguera de conducción del biogás. Luego de la puesta en marcha del biodigestor se monitoreo los parámetros de temperatura, y pH dentro del mismo, durante el tiempo de retención. Con el propósito de generar biogás y utilizarlo para consumo domestico

Se estableció una carga diaria de 12 litros de sustrato con la cual se obtuvo una producción de 2,26 m<sup>3</sup>/mes de biogás a una temperatura promedio de 29.5°C y con un tiempo de retención de 30 días. La producción de biogás se vio afectada por la variación de temperatura de los días lluviosos disminuyendo la eficiencia del biodigestor.

Concluimos que nuestra investigación luego del biogás generado se utilizó para la cocción de alimentos para los animales de la finca.

Se recomienda al propietario de la finca “La Poderosa” seguir utilizando el equipo de manera continua para promover la aplicación de nuevas tecnologías amigables con el entorno.

**PALABRAS CLAVE:** <CANTÓN SACHA>, <PROVINCIA DE ORELLANA>, <ESTIÉRCOL>, <ANÁLISIS FÍSICOS-QUÍMICOS>, <BIODIGESTOR>, <BIOGÁS>, <CARGA DIARIA>, <VARIACIÓN DE TEMPERATURA>, <FINCA LA PODEROSA>

## **SUMMARY.**

The present research is the implementation of a continuous digester for biogas production from manure on the farm "La Poderosa" located in the area of Huamayacu, Canton Sacha, Orellana Province.

The research was conducted in principle by reviewing several sources of research related to the theme has been applied under conditions similar to those found in farm conditions.

Subsequently 8 cows with which the amount of manure generated was estimated, and the physical-chemical and microbiological analyzes of manure, which helped to get a clearer idea of the type and dimensions of the digester is selected.

Polyethylene tank of 500 liters was used for the construction of the digester, the various components such as loading and unloading mouth, stirrer, valve, H<sub>2</sub>S filter, hose and biogas coupled driving. After the implementation of digester, the temperature parameters were monitoring, and pH within it, during the retention time, in order to generate biogas and used it for domestic consumption.

A daily load of 12 liters of substrate with which a production of 2.26 m<sup>3</sup> / biogas month at an average temperature of 29.5 ° C and with a retention time of 30 days was obtained was established. Biogas production was affected by the temperature variation of rainy days decreasing the efficiency of the digester.

We conclude our investigation after the biogas is used for cooking food for farm animals. The owner of the "La Poderosa" It is recommended to continue to use the equipment and continuously generating biogas to partially replace the use of GLP and promote the application of new environment friendly technologies.

**KEYWORDS:** SACHA CANTON, ORELLANA PROVINCE, MANURE, PHYSICAL-CHEMICAL ANALYZES, BIODIGESTOR, BIOGAS, DAYLY CHARGE, TEMPERATURE VARIATION, LA PODEROSA FARM

## **INTRODUCCIÓN.**

La gran demanda de energía en los últimos años ha ocasionado que el hombre busque nuevas alternativas de energía y más aún se han inclinado por la energía renovable, limpia, y que no tengan repercusión en el ambiente al generarse o usarse. Una de estas es el biogás ya que aprovecha los residuos orgánicos de tal manera que sus productos no son contaminantes, al contrario son de gran utilidad para agricultores, ganaderos, entre otros.

Según el informe de la (FAO-2008), señala que la producción pecuaria es una de las principales causas de los problemas ambientales más apremiantes del mundo, como el calentamiento del planeta, la degradación de las tierras, la contaminación atmosférica, contaminación del agua, y la pérdida de biodiversidad, el informe señala que el ganado es responsable del 18% de las emisiones de gases que producen el efecto invernadero.

Mediante estos datos se establece que el sector ganadero es uno de los principales productores de contaminantes que se vierten en el agua, los cuales se originan como consecuencia de la utilización de antibióticos, hormonas, productos químicos, y fertilizantes usados en los cultivos que alimentan el ganado.

Según el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (1990–2002), menciona que el 5.99% de los gases de efecto invernadero son ocasionadas por la crianza de ganado, fundamentalmente por el manejo inadecuado del estiércol, que trae como consecuencia la generación de gases como metano, óxido de nitrógeno, dióxido de carbono, entre otros.

Destaca que el estiércol es una de las fuentes potenciales de contaminación del suelo, agua, y ambiente en general ya que contribuye a la diseminación de enfermedades, mal olor y concentración de fauna nociva como las moscas.

De acuerdo con el Análisis Sectorial de Residuos Sólidos del Ecuador, realizado por el ministerio del ambiente (2010), menciona que existe una escasa utilización y aprovechamiento de los residuos sólidos agrícolas generados en el país y además la ineficiencia de los sistemas de aprovechamiento no brinda una alternativa efectiva para la disposición final de

estos residuos.

Como consecuencia de la actividad ganadera de la finca “La Poderosa” se generan subproductos o residuos que al no ser aprovechados o procesados apropiadamente, producen riesgos de contaminación del agua subterránea, además de malos olores, aparición de vectores que ayudados por las temperaturas excesivas, humedad del ambiente, lluvias, y corrientes de aire incrementan los efectos adversos sobre el ambiente y la salud de las personas, además de contaminar el aire debido a que producto de la descomposición se libera a la atmosfera gases tóxicos como el  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_3$  entre los más destacados.

Por estas razones, en la finca “La Poderosa” se llevó a cabo la implementación de un biodigestor para aprovechar todos estos residuos generados en la misma, y a más de esto, minimizar el impacto negativo que generan estos residuos al aire libre aprovechando el biogás como principal producto, y el biol como biofertilizante.

## **ANTECEDENTES.**

Luego de la segunda guerra mundial en la India se desarrolló el biodigestor Hindú el cual ofrecía una alternativa novedosa para la generación de energía que cubriera las necesidades de combustible de ese entonces, y que además les proporcionaba calor durante el invierno. Años más tarde esta nueva tecnología sería implementada en China para solucionar problemas sanitarios existentes dentro del país, y utilizar el biogás producido como fuente de energía limpia. Existen diversas investigaciones realizadas dentro de este ámbito de las cuales se pueden mencionar el estudio realizado por Darwin Verdezoto en la tesis de diseño de un biodigestor anaerobio para la producción de biogás a partir de las excretas de ganado vacuno en la finca los laureles, manifiesta que según Mendoza (1988). A finales del siglo XIX fue descubierto el proceso de digestión anaerobio, por Gayón quien era alumno de Pasteur y desde entonces se estudió este nuevo fenómeno, y la manera de aprovecharlo para producir energía que pudiera usarse como combustible.<sup>1</sup>

Según Tóala Edwin Moreira en la tesis del diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir de estiércol de ganado en el rancho Verónica provincia de Orellana, para el dimensionamiento del biodigestor se toma en cuenta los resultados obtenidos de la implementación de un sistema piloto a escala el cual ayuda a determinar la dimensión de los principales componentes del equipo, y además sirve para establecer la viabilidad de la aplicación del proyecto.<sup>2</sup>

En la investigación realizada por Ramón Zambrano sobre el aprovechamiento de las excretas del área del hato bovino de la ESPAM para la obtención del biogás menciona que el sistema de digestión anaerobio es una de las alternativas más atractivas para el manejo de excretas que en la actualidad se vierten al ambiente sin ningún tipo de tratamiento, cuyo aprovechamiento sirve

---

<sup>1</sup> <http://es.scribd.com/doc/246823030/54822311-Proyecto-de-Biodigestor#scribd>

<sup>2</sup> <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3406/1/236T0100.pdf>

para la obtención de biogás, reducción de CO<sub>2</sub> y ahorro de energía.<sup>3</sup>

## **JUSTIFICACIÓN.**

La ganadería no solo tiene gran responsabilidad en la contaminación del aire sino también en la tierra y las aguas subterráneas. Cada día que pasa la humanidad consume más carne, leche y lácteos incrementando la producción de animales, pero aquí vienen las consecuencias de este incremento, ya que no sabemos darle un uso adecuado e importante a los residuos, sobre todo a los estiércoles generados.

En la provincia de Orellana existe una gran cantidad de personas que viven de la ganadería, destruyen bosques para darle paso a los potreros e introducir ganados vacuno para la crianza. Actualmente la finca “La Poderosa” cuenta con 22 cabezas de ganado los cuales en promedio producen 5.6 Kg de estiércol por animal dando un estimado de 123,2 Kg/día procedente de actividad ganadera, los cuales debido a la falta de disposición adecuada, ocasionan impactos negativos tanto al ambiente y la salud.

Es así que este trabajo nace de la iniciativa de utilizar los desechos del ganado vacuno como elemento principal para la producción de biogás a través del mecanismo de biodigestión anaerobia y como respuesta al incremento de los residuos ganaderos, impulsando la producción de energía renovable de una forma equilibrada con el ambiente.

Este trabajo es de vital importancia ya que la aplicación y fomentación de este tipo de producción de energía puede ser utilizada para abastecer de servicios de gas a pequeñas comunidades del sector rural. Esta energía es absolutamente renovable y limpia por lo se contribuye a mejorar y conservar el ambiente. Además de generar nuevos conocimientos y resultados que pueden servir como base para mejoramiento de los sistemas de producción de biogás y para estudios posteriores que se relacionen con el tema de investigación. El biodigestor puesto en marcha en la finca “La Poderosa” servirá como fuente de energía para la familia, aprovechando su gas natural y biofertilizante. De esta forma se contribuye a la no contaminación del riachuelo aledaño a los potreros

---

<sup>3</sup> <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/123456789/263/1/ESPAM-MA-PE-TE-IF-0006.pdf>

y se mejora la calidad del entorno.

## **OBJETIVOS.**

### **OBJETIVO GENERAL.**

“Implementar un biodigestor continuo para producir biogás a partir de estiércol de ganado vacuno generado en la finca “La Poderosa”.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la calidad de estiércol vacuno generado en la finca, mediante análisis físico-químico y microbiológico.
- Determinar las principales variables que intervienen en el proceso de fermentación anaerobia para el diseño adecuado del biodigestor.
- Construir el biodigestor adecuado de acuerdo a las condiciones del lugar y materia prima.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO.

### 1. BIODIGESTOR.

Es un contenedor que esta herméticamente cerrado y que proporciona condiciones favorables para que se dé el crecimiento y reproducción de bacterias en condiciones anaerobias por medio de la descomposición de los residuos, dando como subproducto biogás y fertilizantes orgánicos con abundante contenido de nutrientes como fósforo, potasio y nitrógeno. Este biogás puede reemplazar el gas licuado de petróleo (GLP), el cual puede ser utilizado para generar electricidad, calefacción en los hogares, la cocción de alimentos e inclusive reemplazar el combustible de un motor de combustión interna.<sup>4</sup>

Para que se dé el proceso de fermentación dentro del biodigestor se debe tomar en cuenta algunas condiciones importantes como temperatura, nivel de acidez, la humedad, la materia prima y sobre todo que el contenedor debe estar perfectamente sellado.<sup>5</sup>

#### 1.1. Clasificación de los digestores.

##### 1.1.1. *Discontinuo o Bacth.*

Son cámaras cerradas que una vez llenados con el sustrato no se puede sacar o introducir más del mismo, es decir que se carga una sola vez y se retira cuando ya se ha finalizado la biodegradación y posterior generación de biogás, solo entonces se renueva de materia orgánica. Se usa cuando la disponibilidad de materia orgánica es limitada o intermitente.<sup>6</sup> La fermentación puede ser

---

<sup>4</sup> <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1912/1/04%20MEC%20015%20TESIS.pdf>

<sup>5</sup> [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)

<sup>6</sup> <https://energiacasera.wordpress.com/2009/09/17/clasificacion-de-biodigestores/>

entre 2 o 4 meses, dependiendo del clima en el que se encuentre y se descarga cuando se ha completado la fermentación.

### **1.1.2. Semi-continuo.**

Su alimentación se realiza en lapsos cortos que pueden ser 12 horas, una vez al día o cada dos días, se genera biogás casi permanentemente debido a que la disponibilidad de materia orgánica es constante<sup>7</sup>. Los más notorios son el hindú y el chino.

### **1.1.3. Continuo.**

Cumple un rol ininterrumpido haciendo que el efluente de descarga sea igual al afluente de carga, estos fueron desarrollados principalmente para el tratamiento de aguas negras pero con el pasar del tiempo se lo ha utilizado para el manejo de otros sustratos<sup>8</sup>. Estos sistemas requieren menos mano de obra pero si una mezcla más fluida o mecanizada y sobre todo que cuente con un receptor de gas.<sup>9</sup>

## **1.2. Tipos de biodigestores.**

Existen varios tipos de biodigestores, los cuales están clasificados en función de su diseño o por el tipo de estructura del cual están conformados, y que pueden utilizarse de acuerdo a la necesidad requerida, por ello los más utilizados son:

### **1.2.1. Biodigestor de campana flotante (Hindú).**

Los diseños del biodigestor hindú por lo general son verticales y están enterrados, estos pueden ser cargados solamente por gravedad una vez al día donde el volumen de mezcla va a depender del tiempo de retención dando una producción de biogás de 0,5 a 1 m<sup>3</sup> si se mantiene constante las condiciones

---

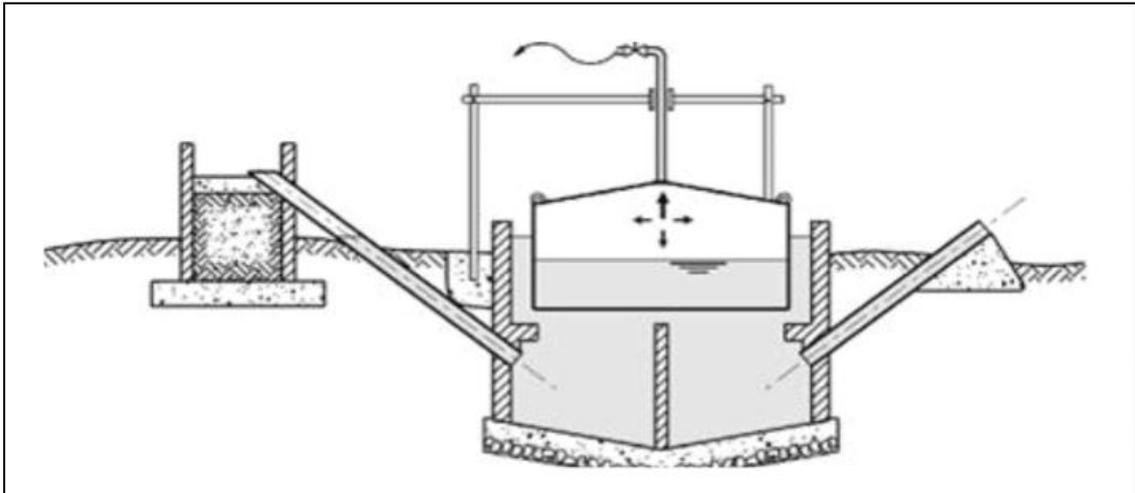
<sup>7</sup> <https://energiasera.wordpress.com/2009/09/17/clasificacion-de-biodigestores/>

<sup>8</sup> [http://www.concytec.gob.pe/portalsinacyt/images/stories/corcytecs/huancavelica/e\\_benavente\\_biogestores.pdf](http://www.concytec.gob.pe/portalsinacyt/images/stories/corcytecs/huancavelica/e_benavente_biogestores.pdf)

<sup>9</sup> <http://es.slideshare.net/JesusPealva/biodigestor-8942405>

de operación. La ventaja de este biodigestor es que puede adecuarse a cualquier tipo de clima, y topografía.<sup>10</sup>

**Figura 1: Biodigestor de campana flotante.**



FUENTE: Chacón, 2007

### **1.2.2. Biodigestor de domo fijo (Chino).**

El biodigestor de tipo chino en cambio es de forma cilíndrica y el piso tiene forma de domo (cúpula), estos son totalmente cerrados produciendo una cantidad de biogás de 0,1 a 0,4 m<sup>3</sup> a pesar que produce poca cantidad de biogás son excelentes en la producción de bioabono debido al largo tiempo de retención.<sup>11</sup>

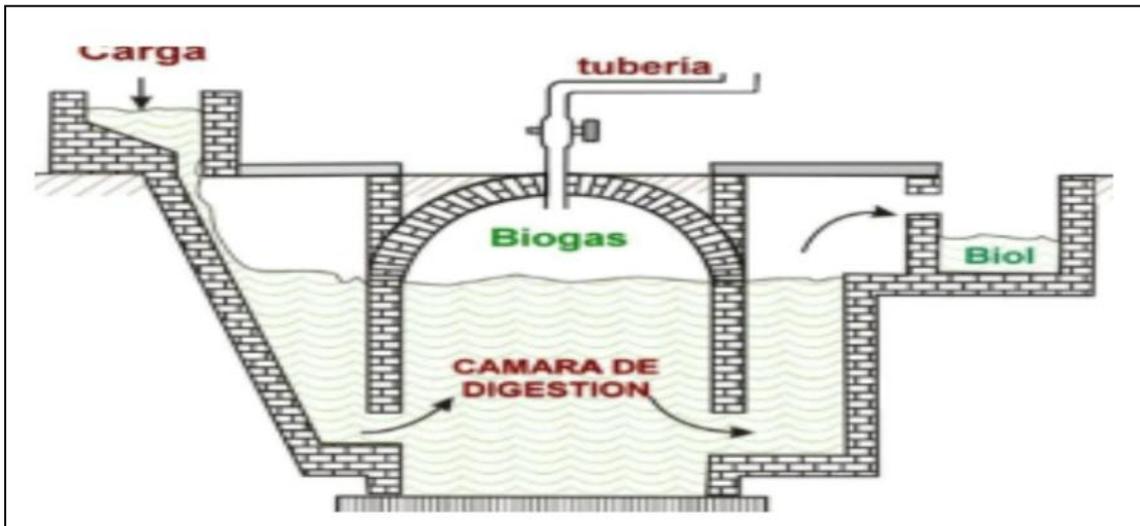
Sin embargo no cuentan con gasómetro por lo tanto el biogás se almacena en el interior del mismo y cuando aumenta la cantidad de biogás que está almacenado en el domo aumenta la presión, ocasionando que suba el líquido por los tubos de entrada y salida lo cual origina presiones internas dentro del sistema. Se almacena el gas producido durante la digestión bajo el domo y

<sup>10</sup> <http://biodegestores.blogspot.com/2011/09/biodigestor-hindu.html>

<sup>11</sup> <http://biotec8.blogspot.com/2012/06/biodigestor.html>

cambia de sitio algunos de los volúmenes del digestor en la cámara del efluente, con presiones en el domo entre 1 y 1.5 m de agua.<sup>12</sup>

**Figura 2: Biodigestor de domo fijo.**



FUENTE: Pontón D., 2010

### **1.2.3. Biodigestor de estructura flexible.**

En este tipo biodigestor el biogás se conserva en la parte superior de la bolsa, a medida que ocurre la fermentación la bolsa se va agrandando lentamente con metano a una presión de operación baja, pues no se puede sobrepasar la presión de trabajo del mismo.

Estos biodigestores surgieron debido a la necesidad de encontrar nuevas alternativas de producción de biogás con una base económica baja y que fueran aplicados en sectores de bajos recursos donde el mantenimiento y operación no acarree mayores costos.<sup>13</sup>

<sup>12</sup> <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/123456789/263/1/ESPAM-MA-PE-TE-IF-0006.pdf>

<sup>13</sup> [http://www.academia.edu/8184562/Biodigestores\\_Una\\_alternativa\\_a\\_la\\_autosuficiencia\\_energ%C3%A9tica\\_y\\_de\\_biofertilizantes](http://www.academia.edu/8184562/Biodigestores_Una_alternativa_a_la_autosuficiencia_energ%C3%A9tica_y_de_biofertilizantes)

**Figura 3: Biodigestor de estructura flexible.**



FUENTE: Biodigestores Económicos, 2009

### **1.3. Componentes de un biodigestor.**

Las partes más representativas de los biodigestores para un buen funcionamiento son:

#### **1.3.1. Cámara de digestión.**

La cámara es la pieza céntrica del biodigestor donde tienen lugar el proceso de fermentación anaerobia que transforma la materia orgánica o carga en biogás y sub producto o bioabono. La cámara de digestión puede ser de ladrillo, hormigón o cualquier otro material que proteja y asegure las condiciones requeridas de resistencia, e impermeabilidad debido a que es un proceso anaerobio.

#### **1.3.2. Sistema de carga.**

Se utiliza para cargar el biodigestor y permite la homogenización de la materia prima y también facilita los monitoreos de temperatura, pH del sustrato, entre otros.

### **1.3.3. Sistema de descarga.**

Su papel principal es asegurar la descarga del líquido y lodos digeridos, que luego pueden utilizarse como abonos orgánicos. Debe estar ubicado por debajo del nivel de carga, para garantizar la salida por diferencia de presión.

### **1.3.4. Cámara de gas o gasómetro.**

Es el lugar donde se guarda el biogás generado durante el proceso de fermentación, y debe construirse a prueba de fugas. Estos pueden ser de cúpula fija, deposito flotante, o de cámara flexible.

### **1.3.5. Sistema de purificación del biogás.**

Este excluye contaminantes del biogás para ser utilizado como generador de energía, estos son:

- **sulfuro de hidrógeno:** Si no se elimina produce el deterioro de todas las instalaciones metálicas y consecuentemente provoca pérdidas económicas. Para eliminar el sulfuro de hidrógeno se hace pasar el biogás por un filtro que contenga viruta de hierro o clavos.
- **Eliminación del dióxido de carbono:** El  $\text{CO}_2$  se puede reducir agregando una solución de agua de cal (1,8 kg de  $\text{CaO}$  en 1000 litros de agua para eliminar 560 litros de  $\text{CO}_2$ ). No se recomienda utilizar este método a gran proporción ya que implica una serie de gastos químicos y aglomeración de subproductos. O también se lo puede hacer utilizando sosa cáustica (11, 5 kg de  $\text{NaOH}$  en 1000 litros de agua para eliminar 3200 litros de dióxido de carbono).
- **Eliminación de agua:** El biogás producido puede contener cierta cantidad de vapor de agua, que por condensación forma gotas, las cuales se

acumulan en los puntos más bajos de las tuberías de conducción y con el tiempo llegan a impedir la circulación del biogás.<sup>14</sup>

#### **1.4. Ventajas del biodigestor.**

##### **1.4.1. Producción de energía.**

Debido a la acción de las bacterias metanogénicas gran parte del contenido orgánico de las aguas cloacales se convierte en gas metano, teóricamente 1 Kg de la DQO eliminada origina 350 litros de metano a 35 °C. Este combustible posee un alto contenido energético.

##### **1.4.2. Producción de fangos.**

La mayor parte de la materia orgánica luego de una adecuada deshidratación permanece estabilizada y está lista para ser utilizada.

##### **1.4.3. Proceso exterior.**

Estos reactores se construyen en lugares cerrados, malos olores son mínimos a lo largo del proceso anaerobio, si hacemos una comparación con los olores desagradables que salen de sistemas donde la depuración se ejecuta en sitios abiertos. Los digestores cerrados tienen que estar con una separación considerable de distancia mínima de 500 metros de las urbanizaciones.

Conjuntamente, evita la contaminación de agua, suelos, la corta de los árboles, producción de fertilizante orgánico, no genera humo, evita la proliferación de insectos.<sup>15</sup>

El biodigestor permite beneficiarse de los residuos orgánicos, se puede utilizar como fertilizante el lodo que se genera en el proceso, impulsa el desarrollo sustentable, acortando la emisión de gases de efecto invernadero, aporta

---

<sup>14</sup><http://www.unasam.edu.pe/sistemas/biodigestores/documentos/COMPONENTES%20DE%20UN%20BIODIGESTOR.pdf>

<sup>15</sup> <http://biodegestores.blogspot.com/2011/11/ventajas-del-biodigestor.html>

beneficios adicionales como la venta de bonos de carbono y sobre todo está dentro de la normatividad nacional e internacional cumpliendo con la misma.<sup>16</sup>

## **1.5. Desventajas del biodigestor.**

### **1.5.1. Puesta en marcha.**

La baja velocidad de desarrollo de los microorganismos en el proceso anaerobio, origina que el arranque de este tratamiento sea lento.

### **1.5.2. Temperatura.**

Cuando se lleva a cabo el tratamiento anaerobio resulta lento si ocurre a temperatura ambiente, por tal razón es conveniente aplicar energía en forma de calor de al menos unos 35 °C para que las bacterias estén en óptimas condiciones durante su actividad.

### **1.5.3. Costos.**

Los costos en relación a la construcción de biodigestores anaerobios son elevados si se analiza con los sistemas no convencionales de tratamiento, debido a que necesita de un sistema integrado, con la finalidad de darle un tratamiento completo a las heces, la instalación de dispositivos para calentar el sustrato hasta una temperatura requerida y la instalación de un sistema de almacenamiento para el gas.

## **1.6. BIOGÁS.**

El biogás es una mezcla variada de gases que puede ser utilizada como combustible, originada por la transformación microbiana de biomasa bajo condiciones anaerobias. Para su generación se puede utilizar diversos

---

<sup>16</sup> <http://energiaadebate.com/biodigestores-aprovechar-residuos-para-generar-energia/>

sustratos tales como desechos de humanos, animales, agrícolas, siempre y cuando estos sean de características orgánicas.

El proceso para la generación de biogás involucra una serie de mecanismos bacterianos que actúan sobre la biomasa y que mediante la acción enzimática se transforman en metano y dióxido de carbono además de otros elementos en traza, dicho gas tiene un considerable poder calórico lo cual facilita su utilización como combustible, siempre y cuando la concentración de metano no sea menor del 50%.<sup>17</sup>

### 1.6.1. Composición del Biogás.

La composición de biogás producida por el biodigestor está directamente relacionada con el tipo de sustrato utilizado y las condiciones bajo las cuales opera el equipo. Dentro de los principales constituyentes del biogás se encuentran en mayor proporción el metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y en menor proporción el sulfuro de hidrogeno (H<sub>2</sub>S).<sup>18</sup>

La capacidad calorífica del biogás en promedio esta entre 4500 a 5600 kilocalorías por m<sup>3</sup>. Que si bien es inferior a la del GLP que oscila entre 8800 a 10200 kilocalorías por m<sup>3</sup>, representa una fuente potencial para sitios donde la obtención del GLP resulta difícil. En la siguiente tabla se muestra la composición bioquímica del biogás<sup>19</sup>

**Tabla 1: Composición bioquímica del biogás.**

Componente	Fórmula química	Volumen (%)
Metano	CH <sub>4</sub>	54 – 70
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	27 – 45

<sup>17</sup> <http://mdpalm2.brinkster.net/cr/biogas.html>

<sup>18</sup> <http://www.planthogar.net/encyclopedia/jump.asp?doc=00000293.htm>

<sup>19</sup> [http://www.energizar.org.ar/energizar\\_desarrollo\\_tecnologico\\_biogas.html](http://www.energizar.org.ar/energizar_desarrollo_tecnologico_biogas.html)

Hidrógeno	H <sub>2</sub>	1 – 10
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0.5 – 3
Ácido sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	0.1

FUENTE: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1912/1/04%20MEC%20015%20TESIS.pdf>

### 1.6.2. Materias primas para producir biogás.

Se puede utilizar todos los materiales provenientes de fuentes orgánicas tales como estiércol de animales de granja, cascara de frutas, restos de cosechas, cultivos destinados a fines energéticos y de producción de biogás como sorgo y maíz, residuos de agroindustrias, efluentes líquidos con alta carga orgánica, entre otros.

Sin embargo cada desecho tiene distinta capacidad en cuanto a generación de biogás, a continuación se muestran la tabla con algunos ejemplos dependiendo del tipo de residuo que se utiliza.<sup>20</sup>

**Tabla 2: Producción de biogás de acuerdo a la materia prima.**

Material	Litros de biogás por kg de residuo fresco
Restos vegetales de maíz	833,0
Pasto seco	625,0
Sorgo granífero	550,0
Cáscara de arroz seca	350,0
Paja de trigo seca	350,0
Cáscara de cítricos	110,0
Estiércol ovino	100,0
Pasto verde	98,4
Residuos de comida	97,5

<sup>20</sup> <http://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/26-Biodigestor-Familiar.pdf>

Estiércol caprino	80,0
Estiércol de cerdos	77,0
Estiércol de gallina	62,5
Desechos de huerta	51,0
Estiércol vacuno	50,0
Estiércol equino	45,0

**FUENTE:** Huerga, R.; Butti M.; Venturelli, L., 2014

Para que el proceso de formación de metano se dé adecuadamente tanto el contenido de carbono y nitrógeno como el de micro elementos (azufre, magnesio, níquel, hierro cobalto, entre otros) deben contener los residuos, y estar presentes en concentraciones adecuadas, debido que si existe un incremento o una disminución de cualquier sustancia podría provocar la inhibición de la síntesis bacteriana.

Por lo general la mayoría de sustancias provenientes de estiércoles y lodos cloacales presentan concentraciones adecuadas de estas sustancias, y pueden ser utilizadas directamente para la generación de biogás. La calidad del estiércol utilizado para la producción de biocombustibles dependerá del tipo de animal del cual se obtenga el residuo y la alimentación que tengan, además del control que hayan tenido durante la crianza.<sup>21</sup>

Es importante conocer cuál será el rendimiento obtenido con los distintos tipos de residuo, a continuación se presenta el porcentaje de cada componente del biogás dependiendo del tipo de sustrato utilizado.<sup>22</sup>

<sup>21</sup> <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd68/020619/020619-02.pdf>

<sup>22</sup> [http://concyteg.gob.mx/ideasConcyteg/Archivos/85\\_1\\_GUTIERREZ\\_GARCIA\\_ET\\_AL.pdf](http://concyteg.gob.mx/ideasConcyteg/Archivos/85_1_GUTIERREZ_GARCIA_ET_AL.pdf)

**Tabla 3: Rendimiento de la materia prima empleada.**

<b>Componente</b>	<b>Desechos agrícolas</b>	<b>Lodos cloacales</b>	<b>Desechos industriales</b>	<b>Relleno sanitario</b>
Metano	50-80 %	50-80 %	50-70 %	45-65 %
Dióxido de carbono	20-50%	20-50%	30-50%	34-55 %
Agua	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado
Hidrógeno	0-2 %	0-5 %	0-2 %	0-1 %
Sulfuro de hidrógeno	100-700 ppm	0-1 %	0-8 %	0,5-100 ppm

FUENTE: <http://www.altercexa.eu/images/archivos/Areas%20Tematicas/Biogas/Estudio%20BIOGAS.pdf>

### **1.6.3. Beneficios obtenidos con la aplicación del biogás.**

Existen una serie de beneficios que presenta la utilización de biogás, de los cuales se puede mencionar:

- Disminución de la dependencia de energía eléctrica y GLP a los cuales no toda la población tiene acceso y que presentan costos mayores que el uso de biogás.
- La reducción significativa de olores asociados a la mala disposición de residuos que provienen de las explotaciones agrícolas. Se puede evidenciar claramente que los sistemas utilizados para la producción de metano eliminan gran cantidad de malos olores, durante debido a que el proceso de digestión anaerobia la mayoría de ácidos orgánicos volátiles son consumidos por los microorganismos productores de metano y transformados en biocombustible.
- Como subproducto de la descomposición anaerobia se genera un fertilizante con un alto contenido de nitrógeno el cual puede ser utilizado directamente para abonar los cultivos y dejar de lado el uso de productos químicos que erosionan el suelo.

- Otra de las ventajas es que existe una disminución de la contaminación de los cuerpos de agua tanto superficial como subterránea puesto que el residuo procedente del biodigestor es mucho más estable y uniforme. Con un adecuado uso puede servir para la fertilización de los suelos erosionados o con bajo contenido de nutrientes, evitando que los lixiviados procedentes del estiércol lleguen a cuerpos receptores.
- Reducción de vectores y patógenos, la utilización del estiércol reduce la proliferación de vectores que pudieran ocasionar enfermedades, además de reducir los microorganismos patógenos presentes en el estiércol debido a que durante el proceso de digestión hay un incremento de la temperatura del sustrato que elimina los mismos.<sup>23</sup>

#### **1.6.4. Utilización del biogás.**

El uso del biogás ya sea para cubrir la demanda energética de una instalación agropecuaria, o como un sistema de control de efluentes cloacales resulta efectivo si se toma en cuenta todas las consideraciones que implican la utilización y reemplazo de energía fósil. A continuación se presentan algunas consideraciones que deben tenerse en cuenta para optar por el reemplazo de este tipo de energía.

- Clase de energía utilizada. Sin importar el tipo de energía utilizada y el fin para el cual se destine, el biogás puede reemplazar cualquier uso de combustibles fósiles incluso el de la energía eléctrica ya que mediante el uso de motores modificados se puede proveer de electricidad utilizable para cualquier fin.
- Cuánta energía se utiliza y cuando. Se debe conocer los requerimientos de energía del lugar donde se aplicara el sistema puesto que en ocasiones el uso de la energía es limitado o temporal, y se deben modificar los sistemas de producción para que no excedan de los requeridos.

---

<sup>23</sup> <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/biogas.pdf>

- Tiempo de producción. Hay que tener en cuenta que la producción de biogás se dará durante todo el año y que almacenar dicho producto por un tiempo mayor de 12 horas implican una serie de costos. Por lo cual el uso inmediato del biogás hace que el sistema sea más rentable y que se pueda reemplazar la mayoría de energía externa que se utiliza. Diseñar un equipo para uso limitado abarca mayores costos de mantenimiento incluso puede ocasionar que el equipo deje de operar lo cual afecta la eficiencia del sistema volviéndolo poco rentable.
- Uso de energía prima requerida. Dentro de una instalación agrícola hay una serie de equipos como bombas eléctricas, ventiladores, motores, compresores al igual que la iluminación se usan durante todo el año lo que hace aún más rentable el reemplazo de la energía eléctrica por biogás y asegura que este se utilice constantemente

## **1.7. METANO.**

Es el compuesto de carbono más simple, que está formado por un átomo de carbono y cuatro átomos de hidrógeno (CH<sub>4</sub>). Este es un gas que no tiene olor, color, y poco soluble en agua. Los átomos de hidrógeno están ligados al átomo de carbono mediante enlace covalente. Es un compuesto no polar, y que a temperatura y presión normal se encuentra a manera de gas. Se origina de manera natural por la degradación anaerobia de la materia orgánica, proceso que se usa para aprovechar los residuos y producir biogás.<sup>24</sup>

### **1.7.1. Potencial de producción de metano.**

Se refiere al volumen de metano producido por kilogramo de sólidos volátiles presentes en la materia orgánica (m<sup>3</sup>/Kg SV). A continuación se presenta algunos valores de potencial de producción de metano de ciertos residuos.<sup>25</sup>

---

<sup>24</sup> <http://quimica.laguia2000.com/elementos-quimicos/metano>

<sup>25</sup> <http://www.uni-oldenburg.de/fileadmin/user>

**Tabla 4: Potencial de producción de metano de algunos residuos.**

<b>Residuo Orgánico</b>	<b><math>P_{CH_4} \left( \frac{m^3}{Kg SV} \right)</math></b>
Vaca	0,2
Res	0,35
Desecho municipal	0,2
Cerdo	0,45
Gallina	0,39
Aguas negras	0,406

FUENTE: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1912/1/04%20MEC%20015%20TESIS.pdf>

### **1.7.2. Bacterias productoras de metano.**

Son el grupo más importante de microbios de la fermentación anaerobia para la formación de biogás. Estas bacterias se especializan por su sensibilidad al oxígeno, y asimilan los sustratos orgánicos más simples. Tanto el crecimiento como la reproducción de estas bacterias metanogénicas son relativamente lento, debido a que se demoran de 4 a 6 días en alcanzar su fase de madurez. Su estudio ha avanzado muy lentamente debido la dificultad que presenta aislar, incubar y almacenar este tipo de bacterias.

En la primera y segunda fase de la degradación, participan bacterias de al menos 128 órdenes de 58 especies y 18 géneros. Las especies que se presentan principalmente son *Clostridium*, *Ruminococcus*, *Eubacterium* y *Bacteroides*.

En la tercera y cuarta fase de la degradación, se encuentran principalmente bacterias metanogénicas. En la actualidad, se han identificado 81 especies, de 23 géneros, 10 familias y 4 órdenes.

Además, existen diversos microorganismos que pertenecen al sistema ecológico de un biorreactor y que participan indirectamente en la degradación.

Por ejemplo, *Staphylococcus*, esta especie se desarrolla con frecuencia en los digestores, puede provocar riesgos para la salud del personal que opera el biodigestor si no se toman las medidas sanitarias necesarias. A continuación se presentan algunas de las bacterias que participan en el proceso de producción del metano.

**Tabla 5: Bacterias que participan en el proceso de fermentación durante las cuatro fases.**

<b>Taxonomía</b>	<b>Especies</b>	<b>Descripción</b>	<b>Metabolismo</b>
<b>Género:</b> <i>Acetobacterium</i>	<i>A. woodii</i> <i>A. paludosum</i>	El género <i>Acetobacter</i> comprenden un grupo de bacilos Gram negativos, móviles que realizan una oxidación incompleta de alcoholes, produciendo una acumulación de ácidos orgánicos como productos finales.	Reducen autotróficamente compuestos poliméricos, oligómeros, monómeros y CO <sub>2</sub> , utilizando el hidrógeno como fuente de electrones. Estos microorganismos hacen posible la descomposición de los ácidos grasos y compuestos aromáticos.
<b>Género:</b> <i>Eubacterium</i>	<i>E. rectale</i> <i>E. siraeum</i> <i>E. plautii</i> <i>E. cylindroides</i> <i>E. brachy</i> <i>E. desmolans</i> <i>E. callandrei</i> <i>E. limosu</i>	El género <i>Eubacterium</i> consiste en un grupo de bacterias anaeróbicas obligadas Gram – positivas.	La mayoría de las Eubacterias sacarolíticas producen butirato como el principal producto de su metabolismo. Muchas especies son capaces de descomponer sustratos complejos a través de mecanismos especiales. Algunas especies se desarrollan autotróficamente, por lo tanto son capaces de cumplir funciones específicas en la descomposición anaeróbica.

FUENTE: Insam, et al, 2009

### 1.7.3. Fundamentos de la fermentación metanogénica.

#### 1.7.3.1. Etapas de la fermentación metanogénica.

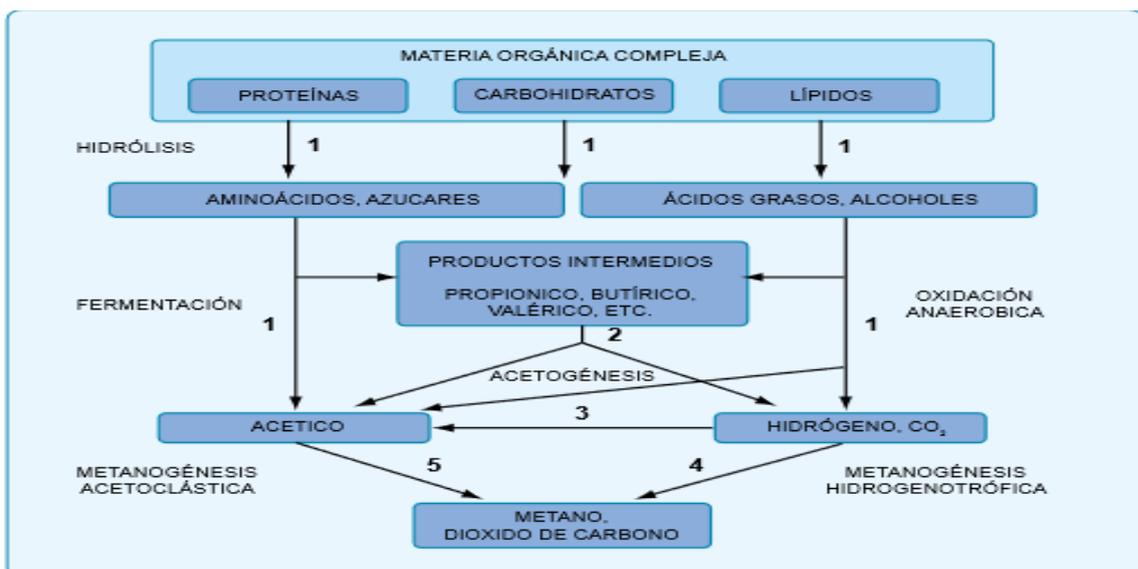
La fermentación anaerobia es un proceso muy complicado debido a la gran cantidad de reacciones bioquímicas que se dan dentro del biodigestor, como

por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea.

Las etapas de la fermentación metanogénica son:

- Hidrólisis.
- Etapa fermentativa o acidogénica.
- Etapa acetogénica.
- Etapa metanogénica.

**Figura 4: Esquema de reacciones de la digestión anaerobia de materiales poliméricos.**



FUENTE: Pavlostathis & Giraldo-Gómez, 1991

### 1.7.3.1.1. Hidrólisis.

La hidrólisis constituye el primer paso para desdoblarse la materia orgánica polimérica. En esta etapa la mayor parte de las sustancias de alto peso molecular como proteínas, grasas, y azúcares son hidrolizadas a sus formas más simples y pueden ser fácilmente asimilados por los microorganismos. Las moléculas complejas son desdobladas por la acción de las enzimas de microorganismos hidrolíticos.

#### **1.7.3.1.2. Etapa fermentativa o acidogénica.**

Es la segunda etapa de la fermentación metanogénica, que consiste en la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en ácido acético, fórmico e hidrogeno los cuales pueden ser utilizados directamente por los microorganismos metanogénicos. La importancia de la acción de este grupo de bacterias no solo radica en producir sustancias utilizables para la siguiente etapa, y tambien eliminan por completo la presencia de oxígeno en el sustrato. La acción se lleva a cabo por bacterias facultativas y anaerobias obligadas denominadas bacterias formadoras de metano.

#### **1.7.3.1.3. Etapa acetogénica.**

En esta etapa actúan principalmente los microorganismos acetogénicos como la *Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolini*, los cuales se encargan de transformar los ácidos grasos volátiles, compuestos aromáticos, y etanol en compuestos más sencillos como acetato ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ) e hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), que pueden ser utilizados directamente por los microorganismos metanogénicos

#### **1.7.3.1.4. Etapa metanogénica.**

Es la última de las etapas que conllevan a la formación del metano dentro de la cual actúan un extenso grupo de microorganismos anaerobios estrictos transformando todos los compuestos formados en las etapas anteriores en metano y dióxido de carbono. Los microorganismos metanogénicos se pueden considerar como los más importantes dentro del grupo de microorganismos y están constituidos por el grupo *archaea* a las cuales la metanogénesis le debe su nombre.<sup>26</sup>

---

<sup>26</sup> <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6243/1/T-ESPE-047014.pdf>

#### **1.7.4. Factores a considerar en el proceso metanogénico.**

Hay varios factores que intervienen sobre la fermentación metanogénica y por lo tanto son capaces de cambiar la rapidez de la descomposición. Entre estos tenemos:

- Material de carga para la fermentación metanogénica.
- Relación Carbono – Nitrógeno (C/N).
- Concentración de carga.
- Temperatura.
- Valor de pH.
- Promotores e inhibidores de la fermentación.
- Tiempo de retención.

##### **1.7.4.1. *Material de carga para la fermentación metanogénica.***

Es la materia prima que se utiliza para empezar la degradación y que va en el interior del biodigestor para su posterior degradación. Durante el proceso de degradación los microorganismos metanogénicos deben tener suficiente material de carga para que el proceso no se detenga o interrumpa a mitad del camino.

La materia orgánica, es decir el material de carga pueden ser residuos caseros, cultivos, heces de humanos, animales o materia orgánica en general. Estos pueden dividirse en dos clasificaciones, las materias primas abundantes en nitrógeno, la cual se utiliza como componente para la formación de la estructura celular y las materias primas abundantes en carbono el cual sirve como fuente de energía.

#### **1.7.4.2. Relación Carbono-Nitrógeno (C/N).**

En la fermentación los microorganismos deben consumir elementos en determinado equilibrio, que se encuentran relacionados con la proporción carbono-nitrógeno (C/N) que se presenta en la materia a degradar.

Existen muchos criterios referidos a esta relación, por lo general está dentro de una relación C/N de 20-30 a 1. Las heces de personas y de los animales tienen abundante nitrógeno, con una relación C/N inferior a 25 a 1, en el transcurso de la fermentación poseen una mejor velocidad de biodegradación y de generación de gas, mientras que los residuos agrícolas contienen abundante carbono, con una relación C/N superior 30 a 1, por esta razón tiene una generación más lenta de gas durante la digestión.

#### **1.7.4.3. Concentración de carga.**

En el proceso de la fermentación durante la producción de biogás, tratamiento de efluentes y operación del reactor hay que tomar en cuenta que la carga a degradar no esté muy concentrada ni tampoco muy diluida, es recomendable una concentración de 5 a 10%. En base a los sólidos totales de la carga se puede obtener la concentración de los lodos, cantidad de agua a introducir y las proporciones de los componentes.

#### **1.7.4.4. Temperatura.**

Los procesos anaeróbicos así como los sistemas biológicos están ligados a la temperatura. Entonces esto quiere decir que la velocidad de reacción en los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos, por lo tanto dependen de la temperatura.

Cuando crece la temperatura, crece la velocidad de crecimiento de los microorganismos y provoca la aceleración de la digestión, ocasionando mayores producciones de biogás.

La temperatura de trabajo del biodigestor, es uno de los principales parámetros de diseño puesto que tiene gran influencia en la velocidad de digestión anaeróbica. Las variaciones violentas de temperatura en el biodigestor ocasionan desestabilización durante el proceso. Para evitar estos inconvenientes, y que la temperatura sea homogénea en el biodigestor, es preferible o recomendable un sistema apropiado de agitación y un controlador de temperatura.

Hay tres rangos de temperatura donde pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos.<sup>27</sup>

**Tabla 6: Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica.**

<b>Fermentación</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Óptimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Tiempo de fermentación</b>
Psycrophilica	4-10 °C	15-18 °C	20-25 °C	Sobre 100 días
Mesophilica	15-20 °C	25-35 °C	35-45 °C	30-60 días
Thermophilica	25-45 °C	50-60 °C	75-80 °C	10-15 días

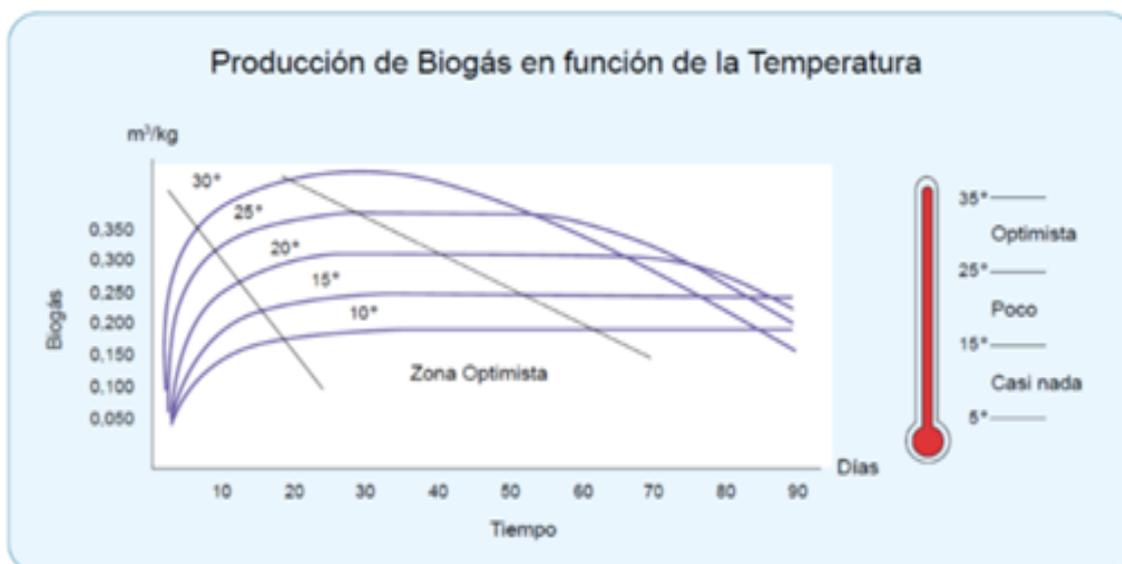
FUENTE: Lagrange, 1979

Según el rango en el cual se realiza el proceso, se presenta la influencia directa de la temperatura sobre la razón máxima de crecimiento ( $\mu_{\text{máx}}$ ) de los microorganismos metanogénicos. Adicionalmente la temperatura afecta otros parámetros bioquímicos y fisicoquímicos del proceso como la actividad de los microorganismos.<sup>28</sup>

<sup>27</sup> <http://es.scribd.com/doc/252174353/batatillaxs-docx#scribd>

<sup>28</sup> <http://www.bdigital.unal.edu.co/4100/1/edwindariocendalesladino.2011.parte1.pdf>

**Figura 5: Producción de biogás en función de la temperatura.**



FUENTE: Varnero, 1991

#### **1.7.4.5. Valor de pH.**

El pH óptimo para la digestión metanogénica está entre 6.5 a 7.5 aunque regularmente se da entre 6.7 a 7.5 debido a que la *Methanosarcina* puede mantenerse por debajo de 6.7, en ocasiones el pH baja a 5 o sube a 8, esto puede interferir con el proceso de fermentación o puede detenerlo. Comúnmente cuando se emplean residuos domésticos o agrícolas se requiere un ajuste del pH.

Una caída en el valor del pH junto con un aumento en las emisiones de CO<sub>2</sub> provoca una interrupción en el proceso de fermentación. Cuando existe el primer signo de acidificación se debe al aumento en la concentración del ácido propiónico. Se mencionan algunos criterios para evitar estos inconvenientes:

- Cortar el abastecimiento del sustrato para que las bacterias metanogénicas puedan degradar el ácido.
- Alargar el tiempo de fermentación.
- Separación permanente de los ácidos.
- Sumar a la mezcla de sustancias neutralizantes como lechada de cal u otros como CaO, Ca (OH)<sub>2</sub>, carbonato de sodio y solución de soda caustica.

- Agregar de agua.
- Sacar e introducir nuevamente el biodigestor.

#### **1.7.4.6. Promotores e inhibidores de la fermentación.**

Los promotores son los materiales que promueven la degradación de la materia orgánica, como impulsar la producción de biogás, este papel pueden hacerlo las enzimas, carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), sales inorgánicas y la urea. En cambio los inhibidores impiden la actividad principal de los microorganismos. Al momento de cargar el biodigestor es conveniente agregar celulosa para acelerar el proceso de fermentación y la producción de biogás.

Al agregar urea se acelera la producción de metano y la degradación del material, y si se agrega el carbonato de calcio favorece a la generación de gas y aumenta el contenido de metano en el gas, ambos entregando excelentes resultados.

Hay muchos factores que pueden afectar la actividad de los microorganismos, como puede ser la alta concentración de ácidos volátiles, es decir valores superiores de 2000 ppm en la fermentación mesofílica y de 3600 ppm para la termofílica. Cuando existe demasiada concentración de amoníaco y nitrógeno provoca la destrucción de las bacterias, en general los productos químicos agrícolas, sobre todo los tóxicos fuertes aún en bajas cantidades ocasionan la interrupción de la digestión normal, aquí también están incluidos los iones metálicos que son grandes inhibidores.

A continuación se presentan algunas concentraciones de ciertas sustancias que pueden ser inhibidores comunes.

**Tabla 7: Concentración de inhibidores más comunes.**

<b>Inhibidores</b>	<b>Concentración Inhibidora</b>
$\text{SO}_4$	5000 ppm
NaCl	40000 ppm

Nitrato(según contenido de nitrógeno)	0,5 mg/l
Cu	100 mg/l
Cr	200 mg/l
Ni	200 – 500 mg/l
CN	25 mg/l
Detergente sintético	20 – 40 mg/l
Na	3500 – 5500 mg/l
K	2500 – 4500 mg/l
Ca	2500 – 4500 mg/l

FUENTE: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3279/1/236T0088.pdf>

Así como los ácidos en la fase metanogénica provoca la inhibición debido a su toxicidad, además de estos inhibidores están incluidos los metales pesados tales como el cadmio, cromo, cobre, níquel, zinc y el plomo.

#### **1.7.4.7. Tiempo de retención.**

El tiempo de retención del sustrato depende de la temperatura y del tipo de región.

**Tabla 8: Tiempo de retención según la temperatura.**

Región característica	Temperatura (°C)	Tiempo de retención (días)
Trópico	30	25
Valle	20	37
Altiplano	10	75

FUENTE: Martí, 2008

Aumentar el tiempo de retención implica un mayor volumen del biodigestor y por lo tanto un mayor coste de materiales.

#### **1.7.4.8. Agitación.**

Es fundamental mantener un grado de agitación apropiado dentro del biodigestor para tener un mezclado y homogenización del substrato, distribución uniforme de calor, favorece la transferencia de gases y evita la formación de espumas o la sedimentación. La agitación puede ser mecánica o manual, por ningún motivo debe ser brusca debido a que puede destruir las agrupaciones de bacterias.<sup>29</sup>

#### **1.7.5. Efluentes.**

Además de generar biogás como principal producto, la fermentación anaerobia de la materia orgánica produce un residuo orgánico con gran cantidad de fertilizantes, como nitrógeno, fósforo y potasio. En el caso de la composición del bioabono también cuenta con gran cantidad de fertilizantes, posee un promedio de 2.6% en nitrógeno, 1.5% en fósforo, 1.0% de potasio, 8.5% de materia orgánica y un valor de pH de 7,5.

El nitrógeno que se encuentra en el estiércol en forma de macromoléculas es convertido a formas más simples como amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), esto puede ser aprovechado directamente por la planta.<sup>30</sup> El bioabono sólido o líquido no posee mal olor, no atrae moscas en comparación con el estiércol y se lo puede emplear directamente al campo en forma líquida, o también el bioabono sólido se puede almacenarse pero se debe deshidratar previamente, pero al deshidratarse hay que tomar en cuenta que puede haber pérdidas por volatilización hasta 60%, sobre todo de nitrógeno.

---

<sup>29</sup> <http://www.altercexa.eu/images/archivos/Areas%20Tematicas/Biogas/Estudio%20BIOGAS.pdf>

<sup>30</sup> <http://www.planthogar.net/encyclopedia/jump.asp?doc=00000293.htm>

El bioabono eleva la calidad del suelo y puede considerarse como fertilizante beneficioso que puede suplantar a los fertilizantes químicos comerciales.

## **1.8. ESTIÉRCOL.**

El estiércol constituye el material orgánico procedente de las heces y la orina del ganado doméstico, en ocasiones puede estar mezclado con material vegetal como paja, u otro material que se utilice como cama de los animales. Debido a que el estiércol, en especial el del ganado bovino tiene un contenido equilibrado de micronutrientes y materia orgánica puede utilizarse directamente para la generación de biogás y el biol producido como efluente puede ser utilizado para la fertilización del suelo.

Sin embargo la mayoría de los estiércoles se pueden utilizar como materia prima para producir energía o abonos de alta calidad, incluso en algunos países ha llegado a utilizar los excrementos humanos (aguas negras) con excelentes resultados en la generación de energía alternativa. Puesto a que en la mayoría de los casos el estiércol de los animales de granja es utilizado para la fertilización de suelos no se aprovecha al máximo debido a que es aplicado directamente en el suelo en cantidades excesivas ocasionando contaminación por la disolución del exceso de nutrientes en el agua de escorrentía.<sup>31</sup>

### **1.8.1. Composición del estiércol.**

Como la mayoría de los abonos de origen orgánico, la concentración de nutrientes presentes en los estiércoles de animales es variada. Esto depende de muchos factores como la especie animal, edad, alimentación, residuos vegetales utilizados entre otros. La edad de los animales es un factor importante a considerar, debido a que los animales jóvenes producen un estiércol de menor calidad que los animales adultos, puesto que las especies jóvenes metabolizan la mayoría de los nutrientes de su dieta y los adultos

---

<sup>31</sup> <http://www.boletinagrario.com/ap-6,estiercol,948.html>

simplemente sustituyen los nutrientes perdidos durante el día, aumentando la concentración de nutrientes del estiércol generado.

El rol más importante que define el contenido de nutrientes del estiércol es la especie animal puesto que cada especie produce excrementos diferentes y de distinta calidad en cuanto a contenido de nutrientes. Siendo el estiércol ovino uno de los más ricos en nutrientes seguido de la gallinaza, el estiércol bovino, equino, y por último el estiércol porcino. En general todos contienen mucho nitrógeno (N) y potasio (K), pero una cantidad relativamente baja de fósforo (P) disponible, en la siguiente tabla se muestra el porcentaje de nutrientes de los distintos tipos de estiércol.

**Tabla 9: Composición media de estiércol frescos de diferentes animales domésticos (% materia seca).**

Nutrientes	Vacunos	Porcinos	Caprinos	Conejos	Gallinas
<b>Materia orgánica (%)</b>	48,9	45,3	52,8	63,9	54,1
<b>Nitrógeno total (%)</b>	1,27	1,36	1,55	1,94	2,38
<b>Fósforo asimilable (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> %)</b>	0,81	1,98	2,92	1,82	3,86
<b>Potasio (K<sub>2</sub>O %)</b>	0,84	0,66	0,74	0,95	1,39
<b>Calcio (CaO %)</b>	2,03	2,72	3,2	2,36	3,63
<b>Magnesio (MgO %)</b>	0,51	0,65	0,57	0,45	0,77

FUENTE: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3279/1/236T0088.pdf>

### 1.8.2. Contaminación e impacto generado por la excretas de ganado.

Son diversos los impactos que se producen por el mal manejo de excretas de la actividad ganadera intensiva. El estiércol del ganado destinado a la producción de leche y carne produce grandes cantidades de residuos con altas cargas de nitrógeno, fósforo y en ocasiones patógenos que ayudados por el agua pueden llegar a fuentes de abastecimiento humano y ocasionar enfermedades a las personas. El problema también se extiende cuando no

reciben algún tipo de tratamiento, y al entrar en contacto con el agua, aumentan la cantidad de nutrientes en especial nitrógeno y fosforo que favorecen la eutrofización y disminuyendo el contenido de oxígeno disponible para las especies acuáticas. Otro de los problemas apremiantes de la mala disposición del estiércol es la generación de malos olores ocasionando la proliferación de vectores que aumentan el riesgo de las enfermedades a la población y la generación de metano que contribuye al calentamiento global.<sup>32</sup>

## **1.9. MARCO LEGAL.**

### **1.9.1. CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR.**

**Art. 3.-** Son deberes primordiales del Estado:

- Garantizar sin discriminación alguna el efectivo goce de los derechos establecidos en la Constitución y en los instrumentos internacionales, en particular la educación, la salud, la alimentación, la seguridad social y el agua para sus habitantes.
- Proteger el patrimonio natural y cultural del país.

**Art. 14.-** Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

**Art. 71.-** La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos

---

<sup>32</sup> <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/123456789/263/1/ESPAM-MA-PE-TE-IF-0006.pdf>

evolutivos. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

**Art. 73.-** El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales.

Se prohíbe la introducción de organismos y material orgánico e inorgánico que puedan alterar de manera definitiva el patrimonio genético nacional.

**Art. 317.-** Los recursos naturales no renovables pertenecen al patrimonio inalienable e imprescriptible del Estado. En su gestión, el Estado priorizará la responsabilidad intergeneracional, la conservación de la naturaleza, el cobro de regalías u otras contribuciones no tributarias y de participaciones empresariales; y minimizará los impactos negativos de carácter ambiental, cultural, social y económico.

**Art. 409.-** Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión.

**Art. 413.-** El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.<sup>33</sup>

---

<sup>33</sup> [http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/constitucion\\_de\\_bolsillo.pdf](http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/constitucion_de_bolsillo.pdf)

# CAPÍTULO II

## PARTE EXPERIMENTAL

## CAPITULO II

### PARTE EXPERIMENTAL.

#### 2. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO.

El lugar donde se realizó el presente trabajo fue en la finca “La Poderosa”, sector Huamayacu provincia de Orellana, ubicada a 10.3 Km del Cantón Joya de los Sacha, localizadas en las coordenadas 0°19'27.38" latitud sur y longitud 76°55'55.87" Oeste y una altura de 328 m.s.n.m.

**Tabla 10: Condiciones meteorológicas de Francisco de Orellana.**

Parámetro	Valor	Unidad
Temperatura	29,5	°C/año
Humedad	88	%/año
Precipitación	2500 a 3800	mm/año
Topografía	254 a 300	m.s.n.m.

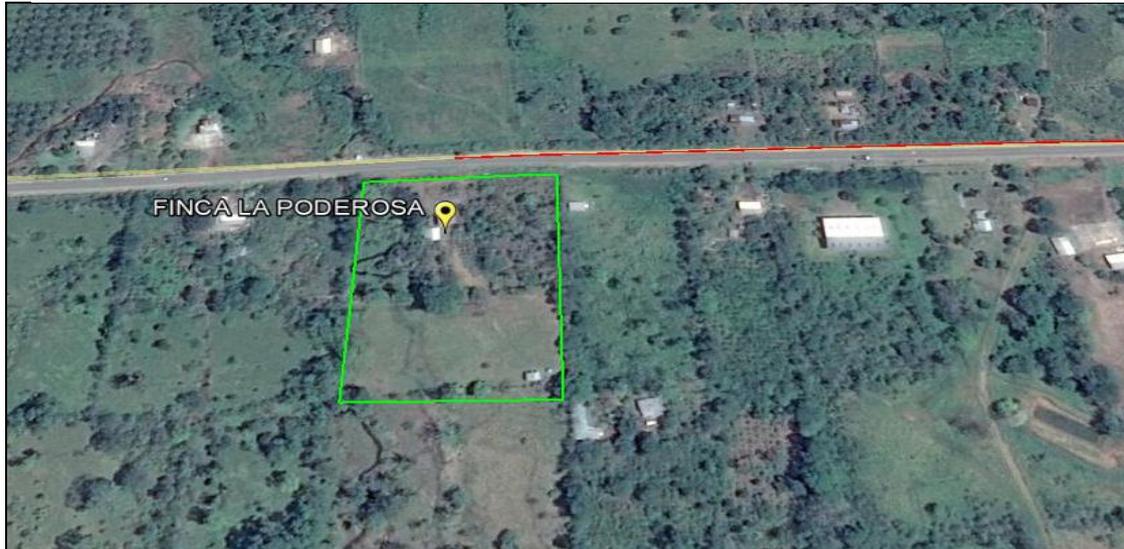
FUENTE: INAMHI, 2014

Actualmente en la finca existe un consumo de 2 tanques de 15 Kg de GLP mensual, debido a que existen dos familias que utilizan el gas para preparación de alimentos diariamente.

Puesto que no existe ningún aprovechamiento adecuado del estiércol de ganado se pretende utilizar este residuo para generar biogás, promoviendo el

desarrollo de energías alternativas y para el consumo de las familias de la finca.

**Figura 6: Ubicación geográfica de la finca “La Poderosa”.**



FUENTE: Google Earth, 2014

## **2.1. MUESTREO.**

El muestreo se llevó a cabo en la finca la “Poderosa”, con una temperatura promedio de 30°C. Los análisis respectivos se realizó en el laboratorio de suelos, aguas y plantas (LABSU) en la ciudad del Coca provincia de Orellana.

### **2.1.1. Materiales.**

Los materiales que se utilizaron para la toma de muestras son los siguientes:

- Botas de caucho.
- Pala para la recolección.
- Fundas ziploc.
- Guantes de caucho.
- Balanza de 50 Kg.

- Balde de plástico de 18 Litros.
- Tablero y lápiz.

### 2.1.2. Metodología.

La toma de muestras se realizó mediante muestreo aleatorio, todas las muestras fueron recolectadas con el mismo volumen y bajo las mismas condiciones. Se transportó las muestras al laboratorio LABSU en la ciudad del Coca, ubicada a media hora del punto de muestreo para sus respectivos análisis físicos-químicos y microbiológicos, los parámetros que se analizaron se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 11: Parámetros analizados.**

PARÁMETROS	MÉTODO/TECNICA/REFEREMCIA
Potencial de hidrogeno	EPA 9045 C
Materia orgánica	GRAVIMÉTRICO
Sólidos totales	SM 2540 B
Carbono orgánico	EPA 9060
Humedad	GRAVIMÉTRICO
Cationes intercambiables	Booker Tropical Soil Manual
Micro elementos ( Cu, Fe, Mn, Zn)	Booker Tropical Soil Manual
Nitrógeno total	KJELDAHL,EPA351.2
Recuento de microorganismos	SM 9222 B

FUENTE: LABSU, 2015

## **2.2. DETERMINACIÓN DE LA CARGA DIARIA DE ESTIÉRCOL.**

### **2.2.1. Materiales.**

- 2 palas.
- 2 balde de 20 litros.
- Botas de caucho.
- Guantes de látex.

### **2.2.2. Equipo.**

- Balanza 50 Kg.

### **2.2.3. Metodología.**

Para la determinación de la carga diaria de estiércol generada en la finca "La Poderosa" se seleccionó 8 vacas con un promedio de 5.2 años de edad que tienen una dieta a base de pasto, las cuales fueron estabuladas por separado durante un periodo de 12 horas, desde las 18:00 hasta las 06:00. Posteriormente se procedió a la estimación del estiércol generado durante el tiempo de estabulación de la siguiente manera:

- Primero se procede a apilar el estiércol en un solo sitio para hacer más fácil el llenado de los baldes.
- Se calibró la balanza para evitar errores en la estimación del peso.
- Se procedió al pesado de los baldes vacíos y con la ayuda de las palas manuales se llenó los baldes.
- Una vez llenados se procedió al pesado individual y registro de los mismos. Luego de haber pesado la cantidad de estiércol se procedió a la suma del total de Kg producidos, y dividir el valor para las 8 vacas.

Este ensayo se realizó por un lapso de 7 días, con lo cual se pudo obtener un valor más aproximado de la cantidad de estiércol que se genera por cada cabeza de ganado. Los valores se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 12: Producción de estiércol.**

Fecha	hora de recolección	Kg de estiércol/día
07/01/2015	06:00-7:00	9,75
08/01/2015	06:00-7:00	10,2
09/01/2015	06:00-7:00	9,48
10/01/2015	06:00-7:00	11,20
10/01/2015	06:00-7:00	9,88
11/01/2015	06:00-7:00	8,56
12/01/2015	06:00-7:00	10,14
<b>PROMEDIO</b>		9,90
<b>TOTAL (Kg estiércol/días)</b>		63,31

FUENTE: Chillo F., Paguay S.

### 2.3. CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DEL BIODIGESTOR CONTINUO.

El biodigestor está diseñado tomando en cuenta todas las especificaciones, como: tipo de clima, topografía, materia prima y los planos generados en Auto CAD 2014. Para su construcción e instalación se tomó como guía el “Manual para la Construcción del biodigestor, programa de biocombustibles, Universidad Nacional de Cuyo”.<sup>34</sup>

<sup>34</sup> <http://www.imd.uncuyo.edu.ar/upload/biodigestor-manual-para-la-construccion.pdf>

### **2.3.1. Cámara de digestión.**

Constituye el cuerpo principal del biodigestor dentro del cual se producirá la degradación de residuo, generación de biogás y formación del biol, para lo cual se utilizó un tanque para agua de polietileno bicapa de 500 litros de capacidad, al cual se acoplaron los accesorios necesarios para su funcionamiento.

Partes que componen la cámara de digestión:

- Boca de carga.
- Boca de descarga.
- Agitador.
- Salida de gas.
- Tapa.

#### **2.3.1.1. Boca de carga.**

##### **2.3.1.1.1. Materiales.**

- Tubo de PVC de 2 pulg.
- Unión de tanque de 2 pulg.
- Unión de tanque de 2 pulg.
- Unión de tubo de 2 pulg.
- Tapón roscable de 2 pulg.
- Neplo de 2 pulg.

##### **2.3.1.1.2. Metodología.**

- Se realizó un orificio en la parte superior lateral del tanque con un diámetro de 2 pulg. para colocar el adaptador de tubería con sus respectivos empaques.

- Se acopló el tubo de PVC en la parte interna del tanque y procurando que el extremo del tubo facilite la salida del sustrato a la parte interna del tanque.
- En la parte externa de la unión se adaptó el acople y la unión de tubería.

### **2.3.1.2. Boca de descarga.**

#### **2.3.1.2.1. Materiales.**

- Unión de tanque de 1 pulg.
- Neplo de 1 pulg.
- Codo roscable de 90° de 1 pulg.
- Tapón de 1 pulg.

#### **2.3.1.2.2. Metodología.**

- Se realizó un orificio de 1 pulg. en la parte superior del tanque, procurando que quede ubicado frente a la boca de carga y por debajo de su nivel.
- Se adaptó las uniones de tanques con sus respectivos empaques, posteriormente se unió el acople, codo y la unión por la parte externa del tanque.

### **2.3.1.3. Agitador.**

#### **2.3.1.3.1. Materiales.**

- Tubo de PVC de 1/2 pulg.

- Unión de tanque de 1 pulg.
- Tubo de PVC de 1 pulg.
- 4 codos de 90° de 1/2 pulg.
- Tee de 1/2 pulg.
- Lamina de acero rectangular de 50 x 38 cm.
- 4 tornillos de 3 mm.
- 4 tuercas con arandelas.
- Tarraja.
- Unión de tubo de 1 pulg.

#### **2.3.1.3.2. Metodología.**

- Para la instalación del agitador dentro del biodigestor se colocó una Tee de 1/2 pulg. en la base interna del tanque de manera que sirva de soporte y esta debe estar inclinada para que coincida con el caño de soporte y asegurada con los tornillos de 3 mm en cada uno de sus extremos.
- Una vez que el soporte interno está asegurado, se colocó la unión de tanque al biodigestor, se enrosca en la parte interna de la unión a la tubería de 1 pulg. la cual sirve como camisa del tubo de soporte y evita la fuga al mover el agitador.
- Se hizo pasar el tubo de soporte por la camisa y se enroscó uno de sus extremos en la Tee colocada anteriormente hasta que quede firme, y cruzado con el ducto de alimentación.
- La lámina del agitador se instaló de manera perpendicular al tubo de soporte y se aseguró con dos tornillos en el centro del caño de manera que cuando gire no se obstruya con el ducto de carga.
- Para facilitar el movimiento del agitador se construyó una palanca de agitación la cual se armó utilizando 4 codos de 90° unidos con caños de 15 cm a los cuales previamente se les sacó rosca con la tarraja, y se unió formando una C que va ajustada al tubo de soporte.

#### **2.3.1.4. Salida de gas.**

##### **2.3.1.4.1. Materiales.**

- Unión de tanque de 1/2 pulg.
- Tee de 1 pulg.
- 2 acoples de 1/2 pulg.
- Manómetro
- Válvula esférica de 1/2 pulg.

##### **2.3.1.4.2. Metodología.**

- Se comenzó perforando en la parte lateral superior del tanque procurando que el orificio este ubicado por encima del ducto de descarga, se colocó la unión de tanque asegurándolo con teflón para un sellado hermético.
- Se unió un extremo del acople de 1/2 pulg. a la unión de tanque, y el otro extremo a la tee procurando que todas las uniones estén bien selladas con pega tubo y teflón.

#### **2.3.1.5. Tapa.**

##### **2.3.1.5.1. Materiales.**

- Plancha circular acero inoxidable de 53 cm de diámetro.
- 2 medios anillos de acero inoxidable.
- 12 tornillos de 3 mm de espesor.
- 12 tuercas con arandela.
- 4 tiras de caucho.

#### **2.4.1.5.1.2. Metodología.**

Dado que el biodigestor soporta una presión elevada se hizo necesaria la modificación de la tapa para evitar la fuga del biogás por lo cual se reemplazó la tapa de plástico por una tapa de acero inoxidable, se realizándose de la siguiente manera:

- Se tomó dos medios anillos de acero inoxidable y se realizó los orificios donde van ubicados los tornillos, tanto en los anillos de acero, tapa, tiras de caucho, y la parte superior del tanque donde se instaló la tapa de acero modificada de manera que coincidan todos los orificios para colocar los tornillos.
- Se colocó los anillos con los tornillos en la parte interna del soporte de la tapa del tanque, antes de asegurar la tapa al tanque, se colocó una capa de silicona y sobre ella una tira de caucho hasta completar las cuatro tiras.
- Luego se colocó la tapa previamente perforada y se ajustó uniformemente las tuercas y arandelas con una llave inglesa, hasta dejarla bien asegurada.

#### **2.3.2. Filtro para sulfuro de hidrogeno (H<sub>2</sub>S).**

Algunos equipos requieren que el gas se encuentre libre de sulfuro de hidrogeno puesto que al combinarse con agua se trasforma en ácido sulfhídrico ocasionando corrosión en algunas partes de las instalaciones. Por esta razón se implementó un filtro con viruta de hierro oxidada para la purificación del gas.

##### **2.3.2.1. Materiales.**

- 2 uniones de tanque 1/2 pulg.
- 2 tapas de para tuvo de PVC de 4 pulg.
- 40 cm de tubo de PVC de 4 pulg.

- Virutas de hierro.
- Unión de 1/2 pulg. de tubo a manguera.
- Manguera de gas.
- 2 abrazaderas.

### **2.3.2.2. Metodología**

- Se empezó perforando las tapas de tubo PVC y se colocó las uniones de tanque de 1/2 pulg.
- La viruta de hierro se colocó dentro del tubo de 40 cm procurando que quede lleno y se aseguró un mejor filtrado del biogás.
- El tubo de PVC es selló por ambos extremos con las tapas que tiene puesto los acoples y se aseguró con pega tubo y silicona.
- Una vez que este secó, se procedió a unir la válvula esférica de 1/2 pulg. y el otro extremo se conectó a la manguera de salida de biogás mediante la unión de tubo a manguera y se aseguró la manguera con las abrazaderas.

### **2.3.3. Herramientas complementarias para la construcción del biodigestor.**

En el transcurso de la construcción del biodigestor se requirió de hermeticidad, precisión y seguridad, por esta razón hubo la necesidad de utilizar herramientas que ayudaron al ensamblaje del mismo, estas fueron las siguientes:

- Esmeril de mano y mesa.
- Taladro.
- Tijera.
- Martillo.
- Desarmador.

- Playo.
- Soldadora.
- Flexómetro.
- Tarraja.
- Llave de tuercas.
- Silicona.
- Teflón.
- Pega tubo.

#### **2.4. INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL BIODIGESTOR.**

Una vez que se culminó con el armado del biodigestor, se procedió a transportarlo a su lugar de operación.

Para su instalación se tomaron todas las consideraciones del caso, estas fueron:

- Se procuró que el piso de asentamiento del biodigestor esté libre de materiales o escombros que puedan cortar o perforar la superficie de biodigestor.
- Se evitó el riesgo que cualquiera de sus componentes fuese dañado por los animales de la finca.
- Previamente se seleccionó un lugar donde la radiación del sol es constante la mayor parte del día y que se encuentre cercana a la fuente de materia prima y agua.
- Una vez asentado el biodigestor se procuró que todos los componentes estén en buenas condiciones y que no hayan sido dañados durante el transporte. Antes de proceder al llenado se revisó que todas las válvulas y salidas a excepción de la boca de carga estuviesen bien selladas y con sus respectivos tapones.

## **2.4.1. Preparación de la carga diaria.**

### **2.4.1.1 Materiales.**

- 2 Palas.
- 3 Baldes de 20 litros.
- Tanque de 250 litros.
- Termómetro.
- Tiras de pH.

### **2.4.1.2 Reactivos.**

- Agua.
- Estiércol.

### **2.4.1.3 Metodología.**

Se recolectó toda la cantidad de estiércol producido por el ganado durante el tiempo de estabulación, luego se pesó y colocó en el tanque de 250 litros el cual se mezcló con agua a temperatura ambiente en una relación de 1:2 es decir 2 kilogramos de agua por cada kilogramo de estiércol.

La mezcla se homogenizó de manera adecuada para evitar la formación de grumos que pudieran obstruir la tubería de entrada o disminuir la eficiencia del proceso de formación de biogás. Se procuró que la temperatura de la mezcla este a unos 30°C, y que el pH se encuentre en un rango de 7 a 7,5.

Luego de haber llenado las tres cuartas partes del biodigestor con la mezcla de estiércol se procedió a dejarla sellada por un espacio de 30 días.

## 2.4.2. Monitoreo y control.

Es de vital importancia que durante el tiempo de retención del sustrato se lleve un riguroso monitoreo y control de los factores externos que puedan repercutir en el funcionamiento del biodigestor, para esto realizó un seguimiento de estos factores con la ayuda del termómetro, pH – metro y hoja de registro.

Se tomó la temperatura durante todo el proceso de fermentación dentro del biodigestor introduciendo el termómetro por el tubo de carga.

Se midió el pH 3 veces en la semana para tener registros de que el proceso se está llevando de manera óptima dentro de los parámetros establecidos.

## 2.5. VOLUMEN DE BIOGÁS PRODUCIDO.

La producción de biogás para biodigestores cargados con materia orgánica se calculó mediante las siguientes formulas tomadas de la tesis de Criollo Carmen y Guzmán Adriana, 2014:

$$K_o = 0,6 + 0,0006 * e^{(0,1185*SV)}$$

$$U_o = 0,013 * T - 0,129 \left(\frac{m^3}{día}\right)$$

$$V_{CH_4} = P_{CH_4} * SV * \left(1 - \frac{K_o}{U_o * TR - 1 + K_o}\right) \left(\frac{m^3 CH_4}{día}\right)$$

### Dónde:

**Ko:** Es la descomposición de los sólidos volátiles (SV) en el tiempo, además es una cantidad adimensional.

**Uo:** Crecimiento de la producción de metano con el cambio de temperatura por día ( $m^3/día$ )

**TR:** tiempo de retención en días.

**T:** temperatura (°C).

**SV:** porcentaje de sólidos volátiles.

**V<sub>CH<sub>4</sub></sub>:** volumen de metano.

**P<sub>CH<sub>4</sub></sub>:** Potencial de producción de metano.

# CAPÍTULO III

## CÁLCULOS Y RESULTADOS

## CAPÍTULO III

### CÁLCULOS Y RESULTADOS.

#### 3. ETAPA PRELIMINAR.

En esta etapa se realizó la evaluación de las características del estiércol producido en la finca “La Poderosa”, también se analizó el volumen de excretas que se disponían para posteriormente dimensionar el equipo.

##### 3.1. Análisis del estiércol.

Los análisis de estiércol realizados sirvieron para conocer las características de la materia prima empleada. Los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos fueron realizados por el laboratorio de suelos, aguas y plantas (LABSU), en la siguiente tabla se muestra el promedio de los análisis que se realizaron.

**Tabla 13: Características del estiércol.**

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO	MÉTODO/NORMA/REFERENCIA
Potencial de hidrogeno	-	7,23	7,37	7,30	EPA 9045 C
Sólidos totales	%	15,60	16,80	16,2	SM 2540 B
Materia orgánica	%	78,20	83,12	80,66	GRAVIMÉTRICO
Carbono orgánico	%	48,5	52,5	50,5	EPA 9060
Nitrógeno total	%	1,25	1,35	1,30	KJELDAHL,EPA351.2
Fósforo	mg/kg	139,4	204,8	172,10	Booker Tropical Soil Manual

Potasio	mg/kg	13481,82	4379,37	8930,60	Booker Tropical Soil Manual
Manganeso	mg/kg	120,77	268,95	194,86	Booker Tropical Soil Manual
Zinc	mg/kg	80,42	58,69	69,55	Booker Tropical Soil Manual
Cobre	mg/kg	<0,10	<0,10	<0,10	Booker Tropical Soil Manual
Hierro	mg/kg	49,64	1085,03	567,33	Booker Tropical Soil Manual
Humedad	%	86,79	87,63	87,21	GRAVIMÉTRICO
Sólidos volátiles	%	0,55	0,75	0,65	2540-C
Recuento de microorganismos	col/g	7,2 x10 <sup>6</sup>	4,8 x10 <sup>6</sup>	6 x10 <sup>6</sup>	Methods in applied soil

**FUENTE:** Chillo F., Paguay S.

### 3.2. Diseño y construcción del biodigestor.

#### 3.2.1. Determinación de los parámetros de diseño.

En la siguiente tabla se muestra los parámetros que se tomó en cuenta para la construcción de biodigestor.

**Tabla 14: Parámetros del biodigestor.**

Parámetro	Observación
Régimen	Continuo
Agitación mecánica	Si
Volumen del biodigestor	500 Litros
Volumen funcional	75%
Tiempo de retención	>28 días
Temperatura Ambiente	25 - 30 °C
Aislamiento térmico	No

Tanque colector	Si
Filtro de H <sub>2</sub> S	Si

FUENTE: Chillo F., Paguay S.

- La generación del estiércol en la finca es constante y cuenta con un número considerable de reses, por esta razón se decidió que la alimentación al tanque sea continuo.
- Debido a la facilidad de instalación, tamaño del tanque (500 litros) y factores económicos, se decidió instalar un sistema de agitación mecánica dentro del biodigestor, el cual facilitó la mezcla del sustrato.
- El volumen del tanque con 500 litros de capacidad, se dispuso que el volumen funcional sería 75% del volumen total (Metcalf Eddy, 1991), es decir este porcentaje constituye la cantidad máxima de sustrato que se colocó en el biodigestor.
- Se tomó un tiempo de retención de 30 días debido que las condiciones del lugar están dentro de los rangos de 25 a 30 °C, y por esta razón se decidió no colocar ningún aislante de calor.
- Se vio la necesidad de utilizar un tanque colector para facilitar la preparación del sustrato procurando que la mezcla sea proporcional y homogénea.
- Se colocó un filtro de sulfuro de hidrógeno con la finalidad de purificar el biogás, además de evitar la corrosión en instalaciones metálicas del biodigestor.

### **3.2.2. Dimensionamiento de las paletas del agitador.**

Para el dimensionamiento de las paletas, se basó en el “Manual para la construcción de biodigestores”, donde menciona que el ancho de las paletas

debe ser un 40% del diámetro de la cámara de digestión y la altura aproximadamente 2/3 del ancho, determinando lo siguiente:

**Datos:**

**d:** 0,86 m

$$L = d * 0,4$$

$$L = 86 \text{ cm} \times 0,4$$

$$L = 34,4 \text{ cm}$$

**Donde:**

**d:** diámetro del tanque.

**L:** largo de paletas.

El largo de las paletas es de 34,4 cm, para fines de construcción se redondeó este valor a 35 cm.

Ancho de las paletas:

$$H = 34,4 \text{ cm} \times 0,66$$

$$H = 22,70 \text{ cm}$$

**Donde:**

**H:** altura del tanque

El ancho de las paletas es de 22,70 cm a fines de construcción se dejó a 23 cm. En caso que las paletas interfirieran con algún elemento (boca de carga) dentro de la cámara, se puede eliminar una parte de las mismas siempre que no supere el 80% del área total.

### 3.3. Cálculo de la generación de estiércol diario.

Para este cálculo se tomó en cuenta el número de reses totales en la finca, los cuales son 22 y se tomó el valor promedio de generación de estiércol que es 9,90 Kg/día, con estos valores obtenemos:

$$ETf = EPv \times N$$

$$ETf = 9,90 \frac{Kg}{día} \times 22 \text{ reses}$$

$$ETf = 217.8 \text{ Kg/día}$$

**Donde:**

**ETf:** estiércol total en la finca.

**EPv:** estiércol promedio por vaca.

**N:** número de reses.

#### 3.3.1. Cámara de digestión.

Se utilizó un tanque de polietileno de 500 litros de capacidad PLASTIGAMA, el cual se adaptó a las necesidades, características y condiciones del lugar, tomando en cuenta los parámetros de la tabla 14.

##### 3.3.1.1. Volumen funcional.

Las fórmulas para el cálculo del volumen funcional del biodigestor se tomaron de la tesis de grado de Amanda Pazmiño, 2012.<sup>35</sup>

---

<sup>35</sup> <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6243/1/T-ESPE-047014.pdf>

Tomando en cuenta el volumen del tanque que fue seleccionado, se calculó el volumen funcional mediante la siguiente ecuación:

$$V_f = V_t \times 0,75$$

$$V_f = 500 \text{ L} \times 0,75$$

$$V_f = 375 \text{ L}$$

**Donde:**

**V<sub>f</sub>:** volumen funcional.

**V<sub>t</sub>:** volumen total del tanque.

Dando un valor de 375 litros que representó el volumen máximo de sustrato del tanque, es decir la mezcla entre estiércol y agua.

### **3.3.1.2. Cálculo de la carga del sustrato inicial.**

Para el cálculo se basó en los resultados de los análisis del estiércol, como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 15: Relación C/N.**

<b>ELEMENTO</b>	<b>ESTIÉRCOL (%)</b>
Carbono	50,5
Nitrógeno	1,30

**FUENTE:** Chillo F., Paguay S.

Se calculó la relación C/N de la siguiente manera:

$$\frac{C}{N} = \frac{50,5}{1,30} = 38,84 \approx 39$$

**Donde:**

**N:** cantidad de nitrógeno del estiércol.

**C:** cantidad de carbono contenido en el estiércol.

Con la siguiente ecuación se determinó el factor de dilución de la carga, se ajustó a la relación óptima de C/N que está entre 20-30 según la bibliografía en el capítulo I, se escogió un valor promedio de 25.

Entonces:

$$\frac{C/N \text{ (obtenido)}}{C/N \text{ (óptima)}} = \frac{39}{25} = 1,56 \approx 2$$

Lo cual indicó que el factor de dilución para la carga es de 2 veces, es decir 2 Kg de agua por cada Kg de estiércol.

### **3.3.1.3. Cálculo del caudal diario de entrada y salida.**

Se calculó el volumen de carga y descarga del biodigestor con la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{Vf}{\theta h} = \frac{350L}{30 d} = 11,66 \approx 12 L/d$$

**Donde:**

**Q:** volumen de carga.

**V<sub>f</sub>:** volumen funcional.

**Θ<sub>h</sub>:** tiempo de retención.

La cantidad de sustrato que ingresa como carga y sale como descarga es de 12 litros/día.

### 3.4. Cálculo del volumen de biogás producido.

Para conocer de forma teórica el volumen de biogás producido se hizo uso de los datos obtenidos, tanto del tiempo de retención como de temperatura dentro del biodigestor.

**Tabla 16: Tiempo de retención y temperatura del biodigestor.**

Tiempo de retención (días)	Temperatura (°C)
1	25,0
2	29,4
3	29,8
4	28,4
5	26,6
6	27,2
7	36,0
8	35,0
9	32,6
10	29,6
11	30,2
12	29,8
13	29,6
14	28,7
15	28,3
16	28,4
17	29,7
18	29,5
19	30,7
20	30,2

21	29,4
22	29,7
23	29,2
24	31,5
25	31,8
26	32,4
27	32,1
28	33,2
29	30,8
30	30,9
Promedio	29,5

FUENTE: Chillo F., Paguay S.

Se calculó el volumen de biogás producido durante el transcurso del tiempo de retención, utilizando el valor de sólidos volátiles (0,65 Kg SV /día) y potencial de producción de metano  $P_{CH_4} = 0,2 \frac{m^3}{Kg SV}$ , como se menciona el capítulo I.

Ejemplo:

Día 7 del tiempo de retención:

$$K_o = 0,6 + 0,0006 * e^{(0,1185 * SV)}$$

$$K_o = 0,6 + 0,0006 * e^{(0,1185 * 0,65)}$$

$$K_o = 0,60$$

**Ko= 0,60** (este valor es constante para todos los días del tiempo de retención).

$$U_o = 0,013 * T - 0,129 \left( \frac{m^3}{día} \right)$$

$$U_o = 0,013 * 36 - 0,129 \left(\frac{m^3}{día}\right)$$

$$U_o = 0,34 \left(\frac{m^3}{día}\right)$$

$$V_{CH_4} = P_{CH_4} * SV * \left(1 - \frac{K_o}{U_o * TR - 1 + K_o}\right) \left(\frac{m^3 CH_4}{día}\right)$$

$$V_{CH_4} = 0,2 \frac{m^3 CH_4}{Kg SV} * 0,65 \frac{Kg SV}{día} * \left(1 - \frac{0,60}{0,258 * 7 - 1 + 0,60}\right)$$

$$V_{CH_4} = 0,03 \frac{m^3 CH_4}{día}$$

Se aplicó las ecuaciones para los 30 días del tiempo de retención obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 17: Volumen de biogás producido durante 30 días.**

Tiempo de retención	$K_o$	$U_o$	$V_{CH_4} = \frac{m^3 CH_4}{día}$	Volumen de biogás acumulado
1	0,60	0,20	-	-
2	0,60	0,21	-	-
3	0,60	0,23	-	-
4	0,60	0,25	-	-

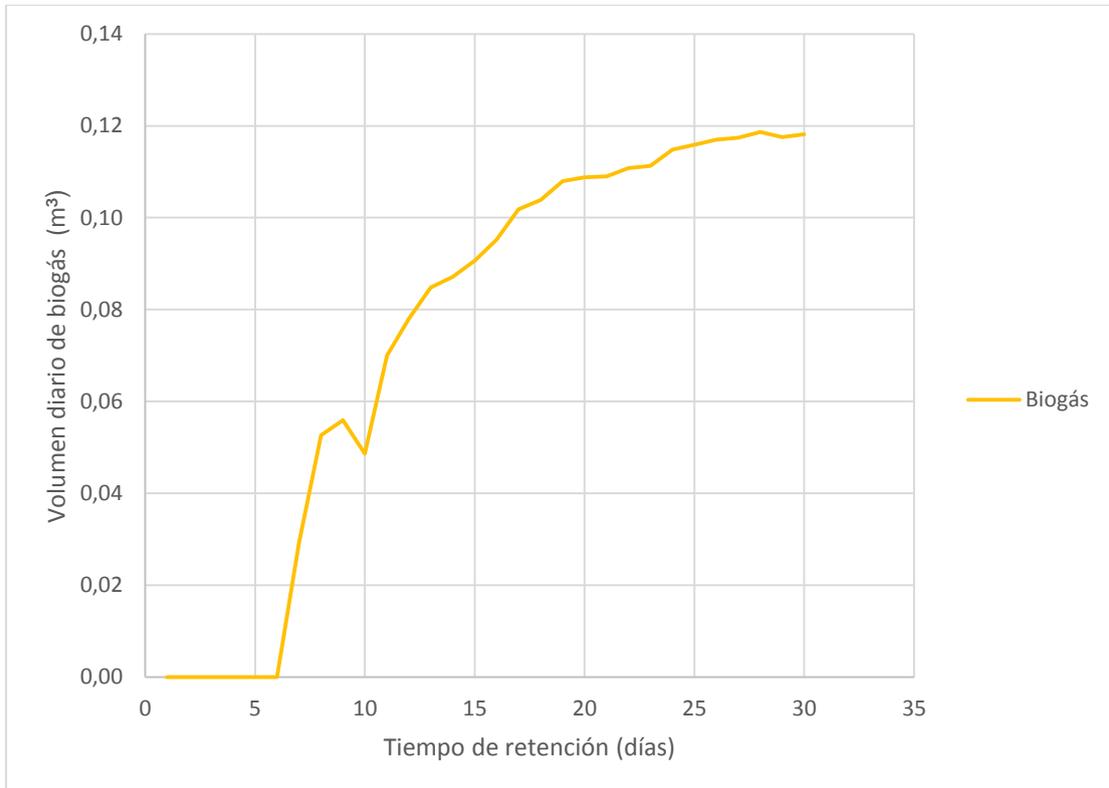
5	0,60	0,26	-	-
6	0,60	0,24	-	-
7	0,60	0,34	0,03	0,03
8	0,60	0,33	0,05	0,08
9	0,60	0,29	0,06	0,14
10	0,60	0,26	0,05	0,19
11	0,60	0,26	0,07	0,26
12	0,60	0,26	0,08	0,33
13	0,60	0,26	0,08	0,42
14	0,60	0,24	0,09	0,51
15	0,60	0,24	0,09	0,60
16	0,60	0,24	0,10	0,69
17	0,60	0,26	0,10	0,79
18	0,60	0,25	0,10	0,90
19	0,60	0,27	0,11	1,01
20	0,60	0,26	0,11	1,11
21	0,60	0,25	0,11	1,22
22	0,60	0,26	0,11	1,33
23	0,60	0,25	0,11	1,45
24	0,60	0,28	0,11	1,56
25	0,60	0,28	0,12	1,68
26	0,60	0,29	0,12	1,79
27	0,60	0,29	0,12	1,91
28	0,60	0,30	0,12	2,03
29	0,60	0,27	0,12	2,15
30	0,60	0,27	0,12	2,26

FUENTE: Chillo F., Paguay S.

A continuación se proyecta los resultados de la tabla 17 en los siguientes gráficos:

### 3.5. Volumen de biogás-diario producido.

**Gráfico 1: Producción diaria de biogás.**



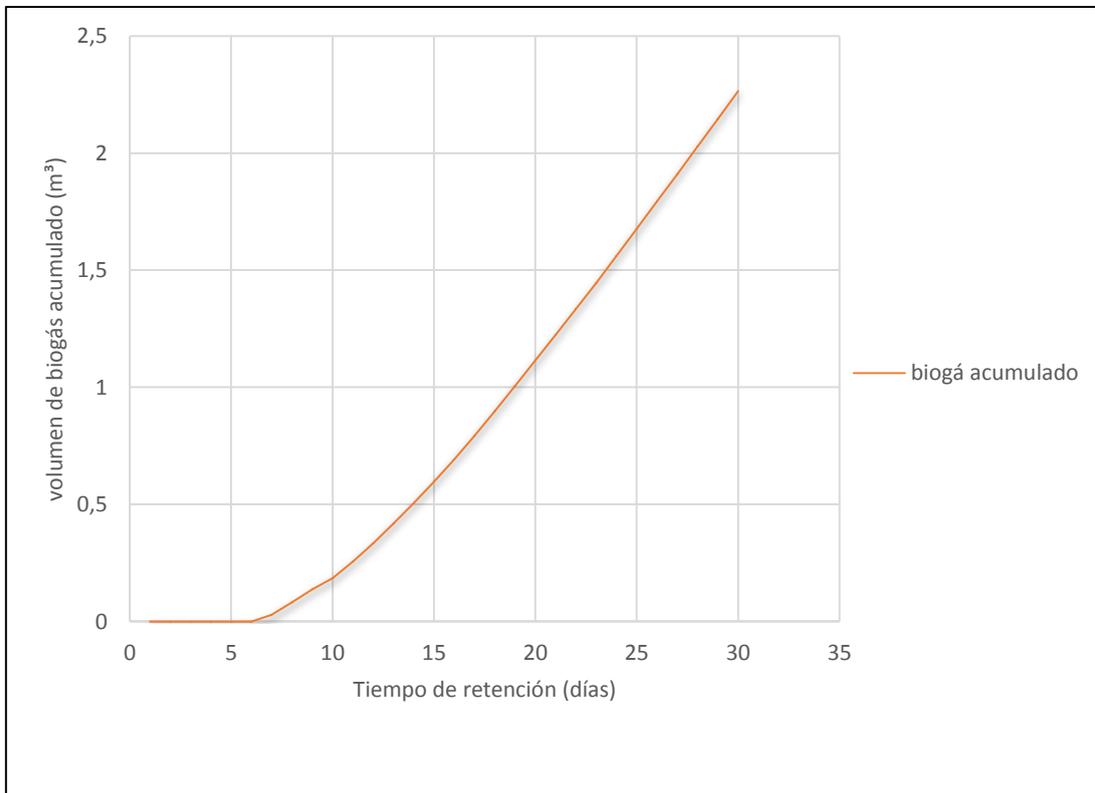
**FUENTE:** Chillo F., Paguay S.

El gráfico nos muestra la producción diaria de biogás durante los 30 días de retención, como se puede observar, los 6 primeros días no existe producción de metano debido a que las bacterias se encuentran en fase de adaptación.

A partir del día 7 se registra los primeros incrementos de volumen, comenzando con 0,03 m<sup>3</sup> de metano, mismo valor que va variando debido a que existen incrementos y disminuciones como consecuencia del cambio de las condiciones climáticas del lugar, llegando a un máximo de producción de 0,12 m<sup>3</sup> de biogás/día.

### 3.6. Volumen de biogás acumulado.

Gráfico 2: Biogás acumulado.



FUENTE: Chillo F., Paguay S.

Como se observa en el gráfico, se ha considerado la medición a partir de la segunda semana, puesto que durante los primeros días los microorganismos se encuentran en fase de adaptación e inicia la degradación de sustratos orgánicos complejos necesarios para que se dé la metanogénesis, por lo tanto la acumulación de biogás empieza con un valor de 0,03 a partir de día 7, a los 30 días de retención el volumen total es de 2,26 m<sup>3</sup> de biogás, puesto que las bacterias entran en la etapa metanogénica.

Se puede considerar que la producción de biogás no fue la esperada debido a las siguientes razones:

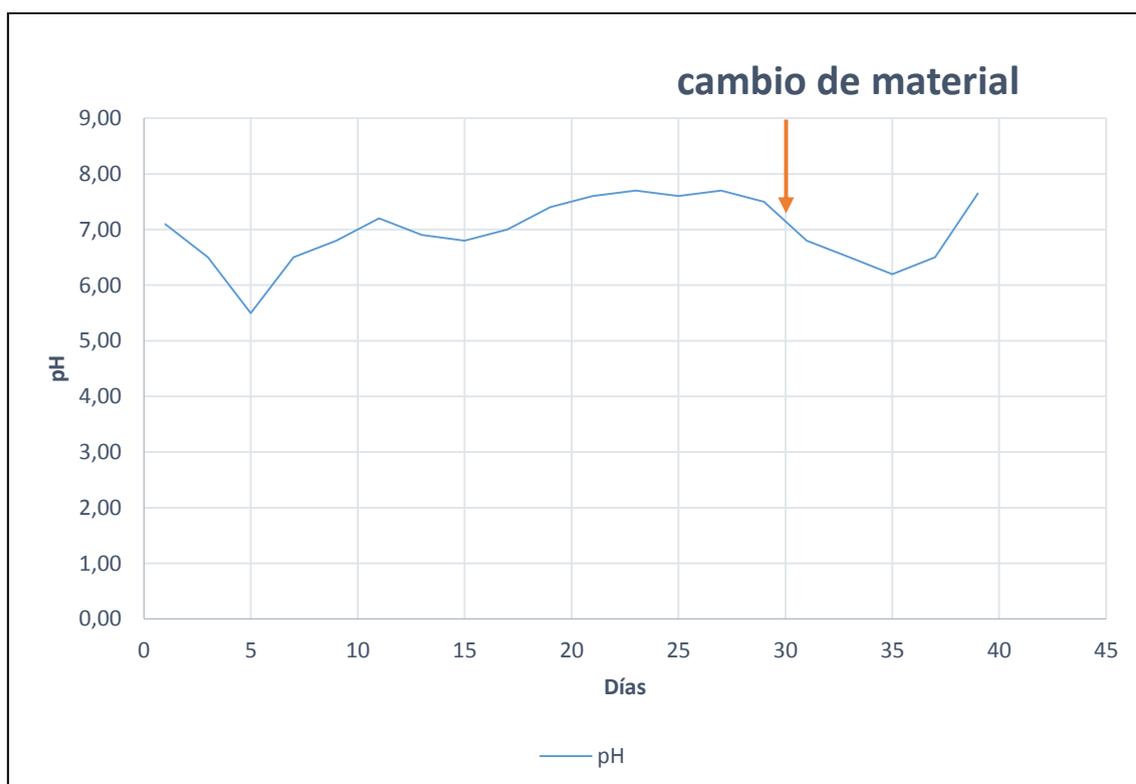
- Las temperaturas fueron apropiadas durante el día con un promedio estable de 29,5 °C, mientras que algunas ocasiones, durante las noches debido a las precipitaciones que se daban y pese a las precauciones

tomadas para evitar el descenso de la temperatura, no se podía evadir que el biodigestor también sufriera cambios en su temperatura interna. Esto se ratifica según Poggio, Ferrer, Batet & velo (2006), donde manifiesta que el descenso de la temperatura vuelve lento el proceso o incluso puede llegar a detenerse. Además provoca interrupción en la producción debido a que las bacterias no toleran estas variaciones bruscas de temperatura.

- A esto se suma que el sustrato utilizado (estiércol de los rumiantes) contiene gran cantidad de complejos lignosos en el pasto y es más fibroso, debido a que los vacunos extraen la mayor parte de los nutrientes del mismo, además que realizan dentro de ellos una digestión parcial y reducen el potencial de producción de biomasa, según el argumento de la tesis Pazmiño Amanda, (2012).

### 3.7. Monitoreo de pH.

**Gráfico 3: pH durante el proceso.**



FUENTE: Chillo F., Paguay S.

Durante los 40 días que se realizó el monitoreo de pH, este registró un promedio de 6,97 como se puede observar en el gráfico, se introdujo el sustrato con pH de 7,10 mismo que al día 5 bajo a un valor de 5,5 entendiéndose que el proceso se encuentra en fase ácida por la presencia de ácidos orgánico y por las elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub>.

A partir del día 7, se registró un valor de 6,5 indicando un incremento de pH lo cual muestra el inicio de la etapa acetogénica, además se evidenció que el pH continuó subiendo hasta estabilizarse desde el día 17 hasta el día 30.

Después del día 30 se observó una disminución del pH debido a que se realizó una nueva carga de sustrato al biodigestor, el pH volvió a disminuir pero no tan drásticamente debido a que las bacterias en el biodigestor son capaces de amortiguar los cambios de pH.

### 3.8. Resultados de los análisis físico-químicos de las muestras de estiércol y biol.

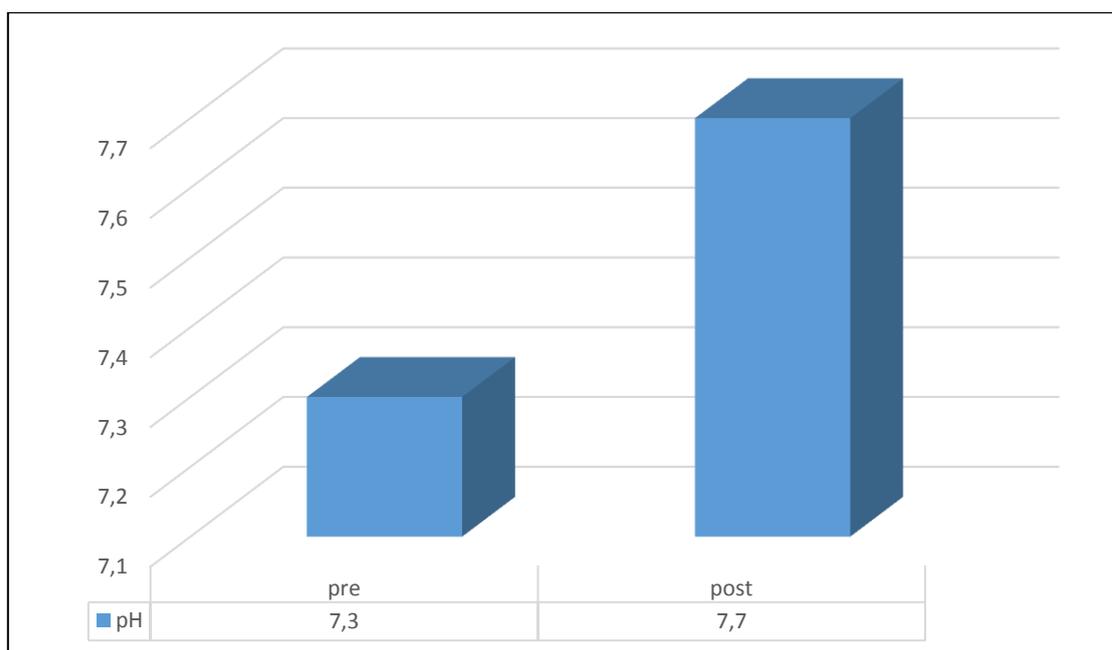
#### 3.8.1. Potencial de hidrogeno (pH).

**Tabla 18: Determinación de pH.**

<b>M. estiércol</b> (pre-tratamiento)	pH	<b>M. biol</b> (post-tratamiento)	pH
	7,23		7,70
	7,37		
<b>Promedio</b>	7,30	<b>Promedio</b>	

FUENTE: Chillo F., Paguay S.

**Gráfico 4: Comparación de pH pre y post tratamiento.**



FUENTE: Chillo F., Paguay S.

Las muestras de estiércol que fueron analizadas muestran un promedio de pH 7,30 lo cual nos demostró que contamos con un pH óptimo para iniciar el proceso de biodigestión, como se menciona en el capítulo I. Mientras que la muestra del biol luego de los 30 días de retención presentó un pH de 7,70 debido a la estabilización dentro del biodigestor por parte de las bacterias.

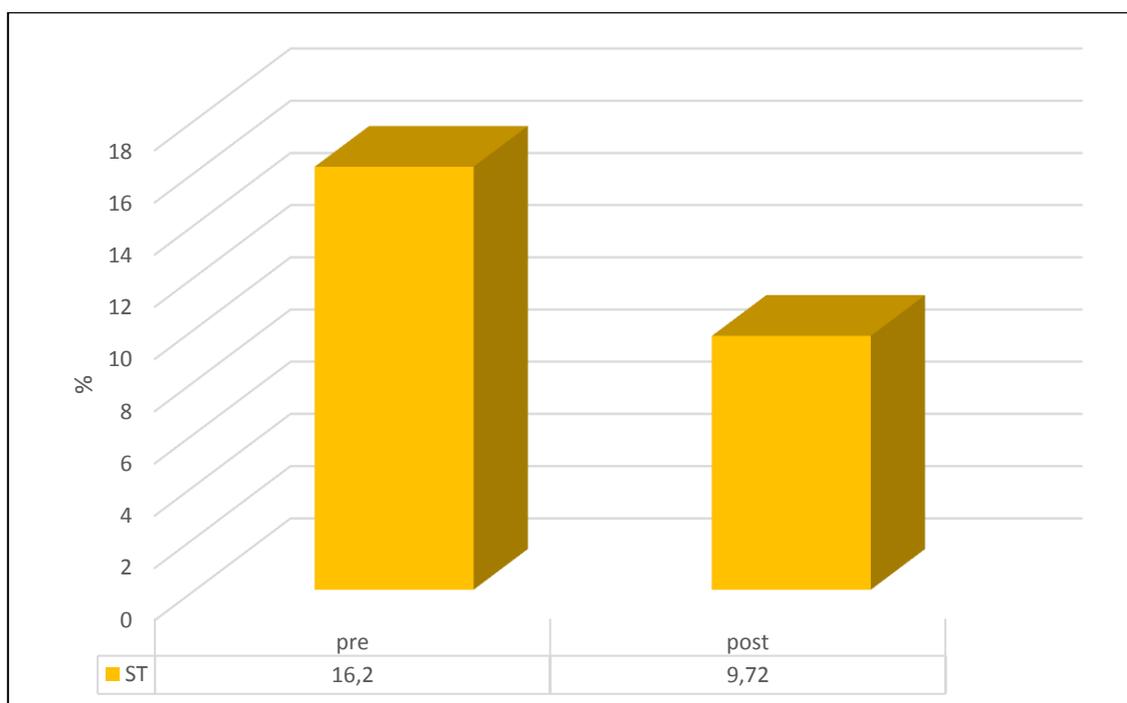
### 3.8.2. Sólidos totales.

**Tabla 19: Determinación de sólidos totales.**

M. estiércol (pre-tratamiento)	%		
	15,60	M. biol (post-tratamiento)	
16,80			
<b>Promedio</b>	16,20	<b>Promedio</b>	9,72

FUENTE: Chillo F., Paguay S.

**Gráfico 5: Comparación sólidos totales pre y post tratamiento.**



FUENTE: Chillo F., Paguay S.

Como se puede observar en el gráfico, al inicio la muestra presentó un promedio de 16,2% ST y después del post tratamiento, es decir transcurrido los 30 días de retención se registró un valor de 9,72 mostrando una reducción del 40% de los sólidos totales.

Tomando como referencia las características del sustrato de estiércol bovino se considera que estos valores son aceptables puesto que reporta un rango de remoción entre 37-40% según Karim et al (2005).

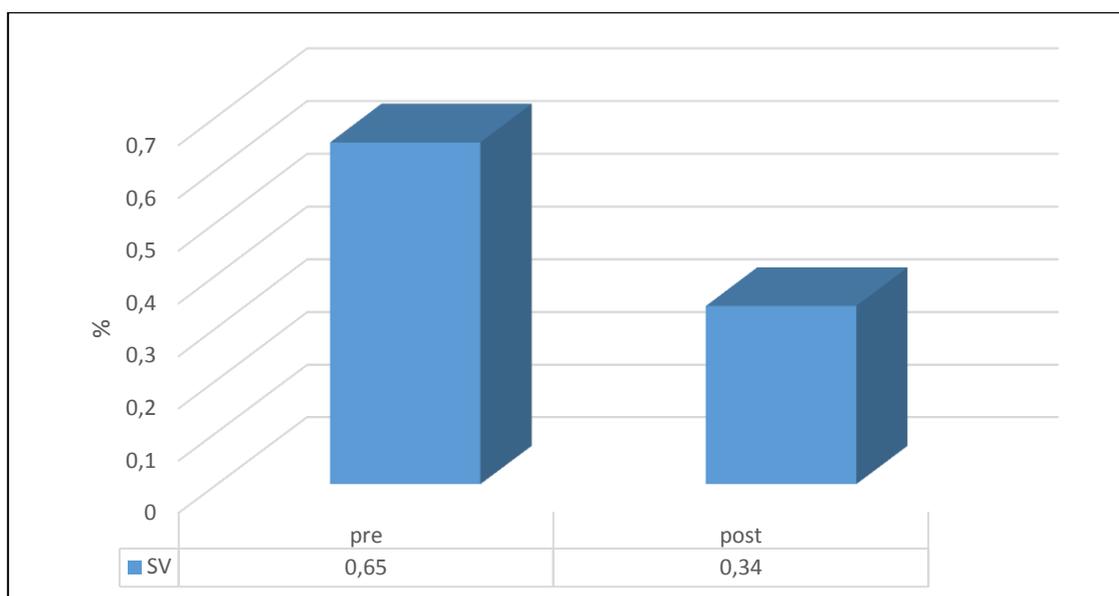
### 3.8.3. Sólidos volátiles.

**Tabla 20: Determinación de sólidos volátiles.**

M. estiércol (pre-tratamiento)	%	M. biol (post-tratamiento)	%
	0,55		
	0,75		
<b>Promedio</b>	0,65		0,34

FUENTE: Chillo F., Paguay S.

**Gráfico 6: Comparación de sólidos volátiles pre y post tratamiento.**



FUENTE: Chillo F., Paguay S.

Como se puede observar en el gráfico, los sólidos volátiles son aquellos que pueden ser transformados a biogás, al inicio presenta un valor promedio de 0,65 % hasta llegar a 0,34 % en el post tratamiento, es decir sufrió una remoción del 52%.

Porcentaje que está dentro del rango sugerido por Karim et al (2005), donde manifiesta que los rangos de remoción son del 50% al 63%. Esto muestra que los microorganismos no han digerido la totalidad de la materia orgánica presente en el sustrato.

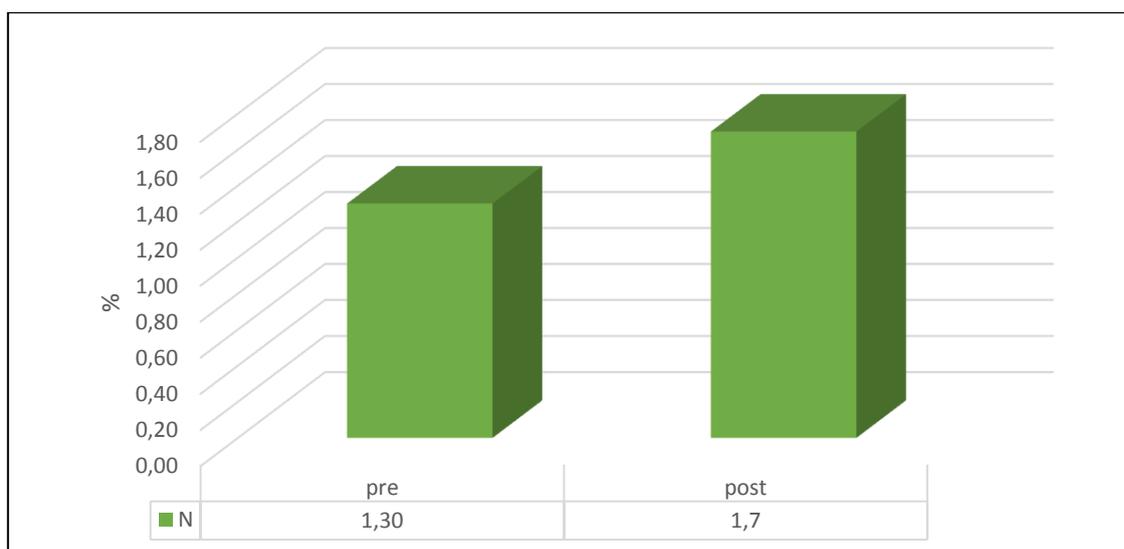
#### **3.8.4. Nitrógeno total.**

**Tabla 21: Determinación de nitrógeno total.**

<b>M. estiércol</b> (pre-tratamiento)	%	<b>M. biol</b> (post-tratamiento)	%
	1,25		1,70
	1,35		
<b>Promedio</b>	1,30	<b>Promedio</b>	

FUENTE: Chillo F., Paguay S.

**Gráfico 7: Comparación de nitrógeno total pre y post tratamiento.**



FUENTE: Chillo F., Paguay S.

Como se muestra en el gráfico el valor de nitrógeno inicial fue de 1,30 % pero transcurridos los 30 días de retención este ascendió a 1,70 %.

Este incremento se da debió a que durante la digestión anaerobia, las proteínas, aminoácidos y urea son transformadas en parte a nitrógeno total, según lo mencionado por Sánchez et al (2000).

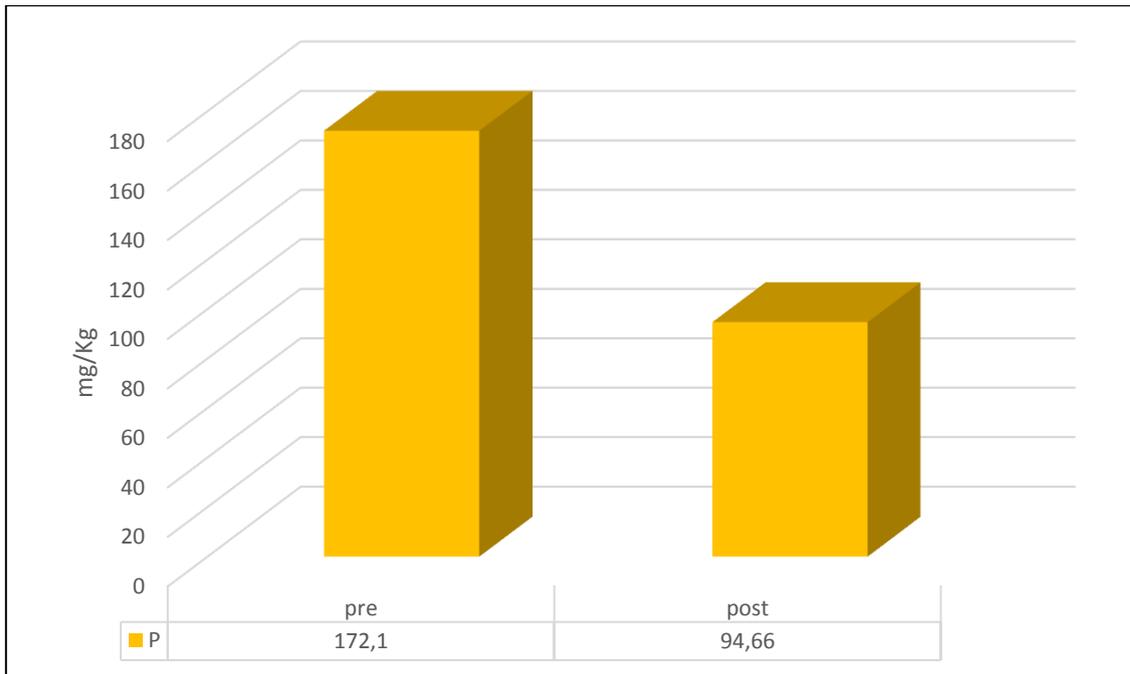
### 3.8.5. Fósforo.

**Tabla 22: Determinación de fósforo.**

M. estiércol (pre-tratamiento)	mg/Kg	M. biol (post-tratamiento)	mg/Kg
	139,4		
	204,8		
<b>Promedio</b>	172,1		94,66

FUENTE: Chillo F., Paguay S.

**Gráfico 8: Comparación de fósforo pre y post tratamiento.**



FUENTE: Chillo F., Paguay S.

Como se puede observar en el gráfico, existe una clara disminución del fósforo de 172,1 mg/Kg a 94,66 mg/Kg sufriendo una reducción del 45% debido que los microorganismos requieren macro elementos para el proceso anaerobio en la síntesis de nueva biomasa, y otra parte del fósforo es transformado por reducción biológica, este porcentaje de reducción se encuentra dentro de los rangos según Sánchez et al (2000).

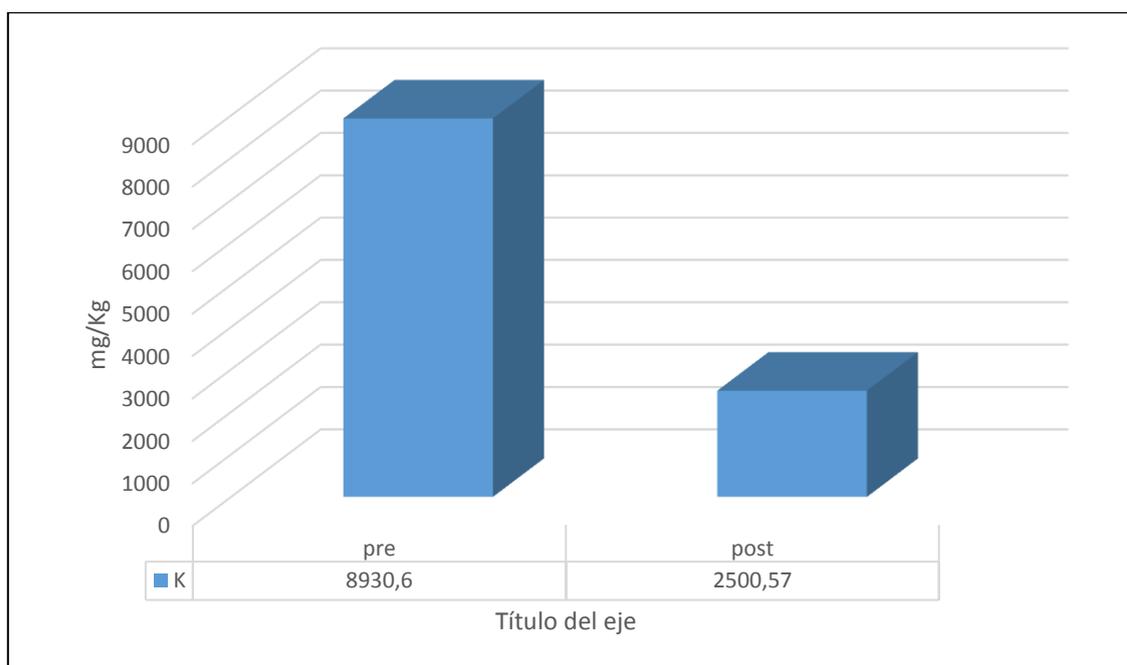
### 3.8.6. Potasio.

**Tabla 23: Determinación de potasio.**

M. estiércol (pre-tratamiento)	mg/Kg		M. biol (post-tratamiento)	mg/Kg	
		13 481,82			
	4 379,37			2 500,57	
<b>Promedio</b>	8 930,60		<b>Promedio</b>		

FUENTE: Chillo F., Paguay S.

**Gráfico 9: Comparación de potasio pre y post tratamiento.**



FUENTE: Chillo F., Paguay S.

En el gráfico se puede observar una clara disminución del 8930,6 mg/Kg a 2500,57 mg/Kg en el post tratamiento, reduciéndose en un 72% debido a que los microorganismos consumen este nutriente en el transcurso de la fermentación, según Sánchez et al (2000).

### **3.9. COSTO DEL TRABAJO.**

Los costos del biodigestor incluyen no solamente los materiales ocupados en su construcción, sino también los costos indirectos como transporte y mano de obra del maestro. Sin embargo el costo de cualquier tipo de biodigestor dependerá de la tecnología con la que se desee implementar el equipo.

En la siguiente tabla se muestran los costos de implementación del proyecto.

**Tabla 24: Costos de materiales del biodigestor.**

<b>PRESUPUESTO DE MATERIALES</b>			
<b>CANT.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>V. UNITARIO (\$)</b>	<b>V. TOTAL (\$)</b>
2	Palas	8,00	16,00
3	Baldes 20 lts.	3,00	9,00
1	Tanque 250 lts.	60,00	60,00
1	Termómetro	8,90	8,90
1	Tanque 500 lts. PLAST.	111,00	111,00
1	Tiras de pH	2,75	2,75
1	Tubo de PVC de 2"	8,50	8,50
1	Unión de tanque de 2"	4,00	4,00
1	Unión de tubo de 2"	3,20	3,20
1	Tapón roscable de 2"	3,40	3,40
1	Neplo de 2"	3,00	3,00
2	Unión de tanque de 1"	2,00	4,00
1	Neplo de 1 "	1,70	1,70
1	Codo de 90° de 1"	2,60	2,60
1	Tapón de 1"	1,70	1,70
1	Tubo de PVC de 1/2"	6,09	6,09
1	Tubo de PVC de 1" (50 cm)	1,80	1,80
4	Codos de 90° de 1/2"	1,20	4,80
2	Tee de 1/2"	0,47	0,94
1	Lamina de acero 35x23 cm	5,00	5,00
16	Tornillos de 3mm	0,11	1,76
16	Tuercas con arandelas	0,02	0,32
1	Unión de tubo de 1"	1,60	1,60
3	Unión de tanque de 1/2"	1,80	5,40
2	Acoples de 1/2"	0,90	1,80
1	Válvula	3,50	3,50
1	Manómetro	7,50	7,50
1	Plancha de acero	25,00	25,00
2	Anillos de acero	6,00	12,00
4	Tiras de caucho	2,00	8,00
2	Tapas PVC 4"	0,40	0,80
1	Tubo PVC 4" 40cm	2,00	2,00
4	Funda de viruta	0,20	0,80
1	Unión de tubo de 1/2"	0,80	0,80
1	Manguera de gas	2,50	2,50
2	Abrazaderas	0,20	0,40
1	Silicona	3,60	3,60
1	Pega tubo	0,80	0,80

1	Spray	2,50	2,50
1	Teflón	1,40	1,40
<b>TOTAL</b>			<b>340,86</b>

FUENTE: Chillo F., Paguay S.

**Tabla 25: Costos indirectos del trabajo.**

CANT.	DESCRIPCIÓN	VALOR (\$)
1	Mano de obra – maestro	50,00
1	Transporte	10,00
<b>TOTAL</b>		<b>60,00</b>

FUENTE: Chillo F., Paguay S.

**Tabla 26: Costo total del trabajo.**

DESCRIPCIÓN	VALOR (\$)
Materiales del biodigestor	340,86
Costos indirectos	60,00
<b>TOTAL</b>	<b>400,86</b>

FUENTE: Chillo F., Paguay S.

La implementación de este biodigestor no abarca gran cantidad de costos, haciendo factible su replicación.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### Conclusiones.

- Se construyó satisfactoriamente el biodigestor continuo, utilizando un tanque polietileno de PLASTIGAMA de 500 litros de capacidad, con un volumen funcional de 375 litros y quedando un volumen restante para la acumulación de biogás de 125 litros. El volumen del tanque fue el adecuado para la cantidad de estiércol generado en la finca puesto que no todo el estiércol producido puede ser aprovechado al 100%.
- Las características del estiércol de la finca “La Poderosa” dieron los siguientes valores: pH 7,30, sólidos totales 16,20 %, sólidos volátiles 0,65 %, materia orgánica 80,66 %, carbono orgánico 50,5 %, nitrógeno total 1,30 %, fósforo 172,1 mg/Kg, potasio 8 930,60 mg/Kg, manganeso 194,86 mg/Kg, zinc 69,55 mg/Kg, cobre <0,10 mg/Kg, hierro 567,33 mg/Kg, humedad 87,21 % y recuento de microorganismos  $6 \times 10^6$  col/g. Estos valores nos confirmaron que los parámetros analizados se encuentran dentro de los rangos favorables para la digestión anaerobia.
- Dentro de las variables que influyeron tenemos la relación C/N que sirvió para calcular la relación estiércol-agua dando un valor de 2, es decir 2 Kg de agua por cada Kg de estiércol. Para evitar la aparición de espumas dentro del biodigestor y mejorar la homogenización de la mezcla, hubo la necesidad de acoplar un agitador dentro de la cámara de digestión. Para la remoción de sulfuro de hidrogeno se instaló un filtro con viruta de hierro eliminado el mal olor generado por este compuesto.
- Se construyó el biodigestor tomando en cuenta las condiciones del lugar y cantidad de materia prima, con una temperatura ambiente promedio

anual de 30 °C por tal razón se consideró un tiempo de retención de 30 días. La cantidad de estiércol utilizable diario producido en la finca fue de 63,31 Kg/día justificando que el tanque escogido de 500 litros de capacidad fue el apropiado para procesar toda la cantidad de materia prima, dando un promedio diario de 0,12 m<sup>3</sup> de biogás, y acumulándose de 2,26 m<sup>3</sup> de biogás durante los 30 días de retención.

### **Recomendaciones.**

- Es importante que al ubicar el biodigestor, se considere que el lugar este cercano al establo y a una fuente de agua para facilitar la carga diaria.
- Al momento de recolectar la muestra se debe asegurar que este bien homogenizada para garantizar que la muestra sea representativa.
- Procurar que al biodigestor le llegue la mayor cantidad de luz solar para mantener una temperatura interna constante durante el proceso.
- Se debe asegurar que el biodigestor esté protegido con cercos para evitar que los animales pueden causar algún daño al mismo.
- Si existes precipitaciones que puedan ocurrir repentinamente se debe cubrir el equipo con algún plástico para evitar las variaciones térmicas en el interior de la cámara de digestión.

# BIBLIOGRAFÍA

## **BIBLIOGRAFÍA.**

**BRECHLT, Andrea.** Agricultura Orgánica. Santo Domingo-República Dominicana. Centro para el desarrollo Agropecuario y Forestal, Inc. 2000, Pp. 11.

<http://www.rediaf.net.do/publicaciones/guias/download/aorganica.pdf>

2015-01-17

**GUEVARA, Antonio.** Fundamentos básico para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Lima-Perú Organización Panamericana de la Salud. 1996, Pp. 14.

<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/031042/031042.pdf>

2015-01-15

**HILBERT, Jorge A.** Manual para la producción de biogás. Castelar-Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 2010, Pp. 7.

<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/031042/031042.pdf>

2015-01-17

**MARTI, Jaime.** Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares. La Paz-Bolivia. GTZ Proagro. 2008, Pp. 32.

[https://grecdh.upc.edu/publicacions/lilibres/documents/2008\\_jmh\\_guia\\_biodigestores.pdf](https://grecdh.upc.edu/publicacions/lilibres/documents/2008_jmh_guia_biodigestores.pdf)

2015-02-03

**VARNERO M., María T.** Manual de Biogás. 2. ed, Santiago de Chile-Chile. Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables. 2011, Pp. 19-23.

<http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>

2015-01-25

**ALCÍVAR G., Byron F., & FARÍAS J., Cristhian X.** Estudio para el diseño de la implantación de generación de energía eléctrica alternativo a partir de desechos biodegradables. (TESIS). Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Eléctrica. Guayaquil-Ecuador. 2007, Pp. 60-64

<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2050/15/UPS-GT000019.pdf>

2015-02-20

**BAUTISTA B., Alejandro.** Sistema biodigestor para el tratamiento de desechos orgánicos. (TESIS). Universidad Carlos III de Madrid, Facultad de Ingenierría y Arte, Escuela de Ingenierría Química. Etelí-Nicaragua. 2010, Pp. 23-26.

<http://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/10807>

2015-02-08

**CANALES G., María C. & Otros.** Estudio del proceso bioquímico de fermentación en digestores para la producción de biogás y biofertilizante a partir de residuos orgánicos provenientes del campus de la Universidad de el Salvador. (TESIS). Universidad de el Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Química. San Salvador-El Salvador. 2010, Pp. 30-36

<http://ri.ues.edu.sv/138/1/10136039.pdf>

2015-02-10

**CRIOLLO Q., Erika C. & GÚZMAN G., Adriana C.** Elaboración de un biodigestor piloto tubular para la producción de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno, en una vivienda de la comunidad de Tembo. (TESIS). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2014, Pp. 57-67

**GORDÓN Z., Jorge E., & SAMANIEGO M., José A.** Diseño y construcción de un biodigestor chino anaerobio a partir del estiércol vacuno en la finca “Los 5 Hermanos” de la parroquia el Dorado. (TESIS). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2014, Pp. 7-11

**LÓPEZ. M, Claudia H., & LOPEZ S., Omar A.** Diseño, construcción y puesta en operación de un biodigestor anaerobio para el laboratorio de ingeniería química de la Universidad Veracruzana. (TESIS). Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas, Escuela de Ingeniería Química. Veracruz-México. 2009, Pp. 26-27

<http://cdigital.uv.mx/bitstream/12345678/932/1/LopEZ%20MENDOZA%20CLAUDIA.pdf>

2015-02-12

**PACA T., Fanny I.,** Diseño de un biodigestor de “bolsa flexible” con desechos de ganadería, en la comunidad Shobol Llin Llin. (TESIS). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2013, Pp. 20-22

**PEREZ M., Javier A.** Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros. (TESIS). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Física y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Mecánica. Santiago de Chile-Chile. 2010, Pp. 31

[http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-perez\\_jm/pdfAmont/cf-perez\\_jm.pdf](http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-perez_jm/pdfAmont/cf-perez_jm.pdf)

2015-02-10

**TOALA M., Eyner E.** Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del estiércol de ganado en el rancho Verónica. (TESIS). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2013, Pp. 8-11; 27-30

**VERDEZOTO C., Darwin E.** Diseño de un biodigestor anaerobio para la producción de biogás a partir de las excretas de ganado vacuno, en la finca los Laureles en la comunidad Flor del Manduro. (TESIS). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2014, Pp. 33-38

**WAYLLAS P., Juan P.** Diseño de un biorreactor Chino anaerobio a partir del estiércol vacuno en la comunidad El Olivo Pallatanga. (TESIS). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2010, Pp. 29-35

# ANEXOS

**ANEXOS.**

**ANEXO 1: Finca “La Poderosa”.**



Ganado vacuno

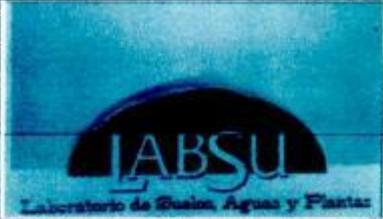


Corral

**ANEXO 2: Toma de muestras pre-tratamiento.**



### ANEXO 3: Resultado de análisis del laboratorio pre-tratamiento M1.

	<b>VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO</b> Fray P de Villarquemedo S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Cocha, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax: (593)06- 2881105	<b>Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE I.E 2C 07-003</b>	
	<b>INFORME DE ENSAYO N°: 100 128</b>		
	SPS: 15 - 0 004		Análisis de Suelos

Coca, 01 de abril de 2015

**Sr. Saúl Paguay.**  
 Dirección Av. 9 de Octubre

**1.- Datos generales:**

Recogidas por ..... Sr. Saúl Paguay  
 Fecha hora de toma de muestra ..... 2 015 02 20 13:45  
 Fecha hora ingreso al Laboratorio ..... 2 015 02 20 15:30  
 Fecha del análisis ..... 2 015 02 20 a 2 015 03 31  
 Condiciones Ambientales de Análisis ..... T. Max: 27,5°C T. Min: 21,0°C  
 Código LabSo ..... Identificación de la muestra.

s 11 596 ..... muestra de estéril finca La Poderosa muestra 1

**2.- Resultados / Parámetros y métodos / referencias**

Ítem	Parámetros	Unidad	s 11 597	PEE-LABSU	Método/Norma/Referencia
1	Potencial de hidrogeno	-	7,23	PEE-LABSU-12	EPA 9045 C
2	Sólidos totales	%	15,60	PEE-LABSU-49	SM 2540 B
3	Materia orgánica	%	78,20	PEE-LABSU-67	GRAVIMETRICO
4	Carbono orgánico	%	48,5	PEE-LABSU-66	EPA 9060
5	Nitrógeno total	%	1,25	PEE-LABSU-71	KJELDAHL, EPA351 2
6	Fósforo	mg/kg	139,4	PEE-LABSU-06/76	Booker Tropical Soil Manual
7	Potasio	mg/kg	13481,82	PEE-LABSU-06/76	Booker Tropical Soil Manual
8	manganeso	mg/kg	120,77	PEE-LABSU-06/77	Booker Tropical Soil Manual
9	Zinc	mg/kg	80,42	PEE-LABSU-06/77	Booker Tropical Soil Manual
10	Cobre	mg/kg	<0,10	PEE-LABSU-06/77	Booker Tropical Soil Manual
11	Hierro	mg/kg	49,64	PEE-LABSU-06/77	Booker Tropical Soil Manual
12	Humedad	%	86,79	PEE-LABSU-38	GRAVIMETRICO
13	Sólidos volátiles	%	0,55	PEE-LABSU-53	2540-C
14	Recuento de microorganismos	col/g	7,2 x10 <sup>6</sup>	PEE-LABSU-82	Methods in applied soil

**3.- Responsables del Informe:**

  
 Autorización: **Ing. Homero Vela W.**  
 DIRECTOR TÉCNICO



  
 Téc. **Andrés Solís Plaza**  
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayo.  
 Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
 Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.

## ANEXO 4: Resultado del análisis del laboratorio pre-tratamiento M2.

	<b>VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO</b> Fray P de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana – Ecuador Telefax: (593)06- 2881105		<b>Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003</b>
	<b>INFORME DE ENSAYO N°: 100 129</b>		
	SPS: 15 – 0 086	Análisis de Suelos	

Coca, 01 de abril de 2015

**Sr. Fabricio Chillo.**  
 Direccion Barrio La Libertad

**1.- Datos generales:**  
 Recogidas por ..... Sr. Fabricio Chillo  
 Fecha hora de toma de muestra ..... 2015 02 20 13:45  
 Fecha hora ingreso al Laboratorio ..... 2015 02 20 15:30  
 Fecha del análisis ..... 2015 02 20 a 2015 03 31  
 Condiciones Ambientales de Análisis... T. Max: 27,5°C T. Min: 21,0°C  
 Código LabSu ..... Identificación de la muestra.  
 s 11 597 ..... muestra de estiércol finca La Poderosa muestra 2

**2.- Resultados / Parámetros y métodos / referencias**

Ítem	Parámetros	Unidad	s 11 597	PEE-LABSU	Método/Norma/Referencia
1	Potencial de hidrogeno	-	7,37	PEE-LABSU-12	EPA 9045 C
2	Sólidos totales	%	16,80	PEE-LABSU-49	SM 2540 B
3	Materia orgánica	%	83,12	PEE-LABSU-67	GRAVIMETRICO
4	Carbono orgánico	%	52,5	PEE-LABSU-66	EPA 9060
5	Nitrógeno total	%	1,35	PEE-LABSU-71	KJELDAHL EPA351.2
6	Fósforo	mg/kg	204,8	PEE-LABSU-06/76	Booker Tropical Soil Manual
7	Potasio	mg/kg	4379,37	PEE-LABSU-06/76	Booker Tropical Soil Manual
8	manganeso	mg/kg	268,95	PEE-LABSU-06/77	Booker Tropical Soil Manual
9	Zinc	mg/kg	58,69	PEE-LABSU-06/77	Booker Tropical Soil Manual
10	Cobre	mg/kg	<0,10	PEE-LABSU-06/77	Booker Tropical Soil Manual
11	hierro	mg/kg	1085,03	PEE-LABSU-06/77	Booker Tropical Soil Manual
12	Humedad	%	87,63	PEE-LABSU-38	GRAVIMETRICO
13	Sólidos volátiles	%	0,75	PEE-LABSU-53	2540-C
14	Recuento de microorganismos	col/g	4,8 x10 <sup>8</sup>	PEE-LABSU-82	Methods in applied soil

**3.- Responsables del Informe:**

  
 Autorización: **Homero Vela W.**  
 DIRECTOR TECNICO



  
 Téc. **Andrés Solís Plaza,**  
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayo.  
 Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
 Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.

ME 2206-04 Página 1 de 1

## ANEXO 5: Resultado del análisis de laboratorio post-tratamiento.

	<b>VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO</b> Fray P de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax: (593)06- 2881105	<b>Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003</b>	
	<b>INFORME DE ENSAYO N°: 100 223</b>		
	SPS: 15 - 0197		Análisis de Suelos

Coca, 08 de mayo de 2015

**Sr. Fabricio Chillo.**  
 Dirección Barrio La Libertad

**1.- Datos generales:**

Recogidas por ..... Sr. Fabricio Chillo  
 Fecha hora de toma de muestra ..... 2015 04 30 10:15  
 Fecha hora ingreso al Laboratorio ..... 2015 04 30 11:10  
 Fecha del análisis ..... 2015 04 30 a 2015 05 07  
 Condiciones Ambientales de Análisis ..... T Max: 29,7°C T Min 23,5°C  
 Código LabSu..... **Identificación de la muestra.**  
 s 11 698..... **muestra de biol finca La Poderosa muestra 1**

**2.- Resultados / Parámetros y métodos / referencias**

Ítem	Parámetros	Unidad	s 11 698	PEE-LABSU	Método/Norma/Referencia
1	Potencial de hidrogeno	-	7,70	PEE-LABSU-12	EPA 9045 C
2	Sólidos totales	%	9,72	PEE-LABSU-49	SM 2540 B
3	Nitrógeno total	%	1,70	PEE-LABSU-71	KJELDAHL, EPA351.2
4	Fósforo	mg/kg	94,66	PEE-LABSU-06/76	Booker Tropical Soil Manual
5	Potasio	mg/kg	2500,57	PEE-LABSU-06/76	Booker Tropical Soil Manual
6	Sólidos volátiles	%	0,34	PEE-LABSU-53	2540-C

**3.- Responsables del Informe:**

  
 Autorización: **Ing. Homero Vela W.**  
 DIRECTOR TECNICO



  
**Téc. Andrés Solís Plaza**  
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayo.  
 Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
 Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.

**ANEXO 6: Partes del biodigestor.**



Tanque de polietileno de 500 litros



Tubo de carga



Boca de carga



Boca de descarga



Agitador	Salida del biogás
	

**ANEXO 7: Ensamblaje del biodigestor.**



**ANEXO 8: Instalación del biodigestor en la finca "La Poderosa".**



**ANEXO 9: Puesta en marcha del biodigestor.**



**ANEXO 10: Toma de muestra del biol.**





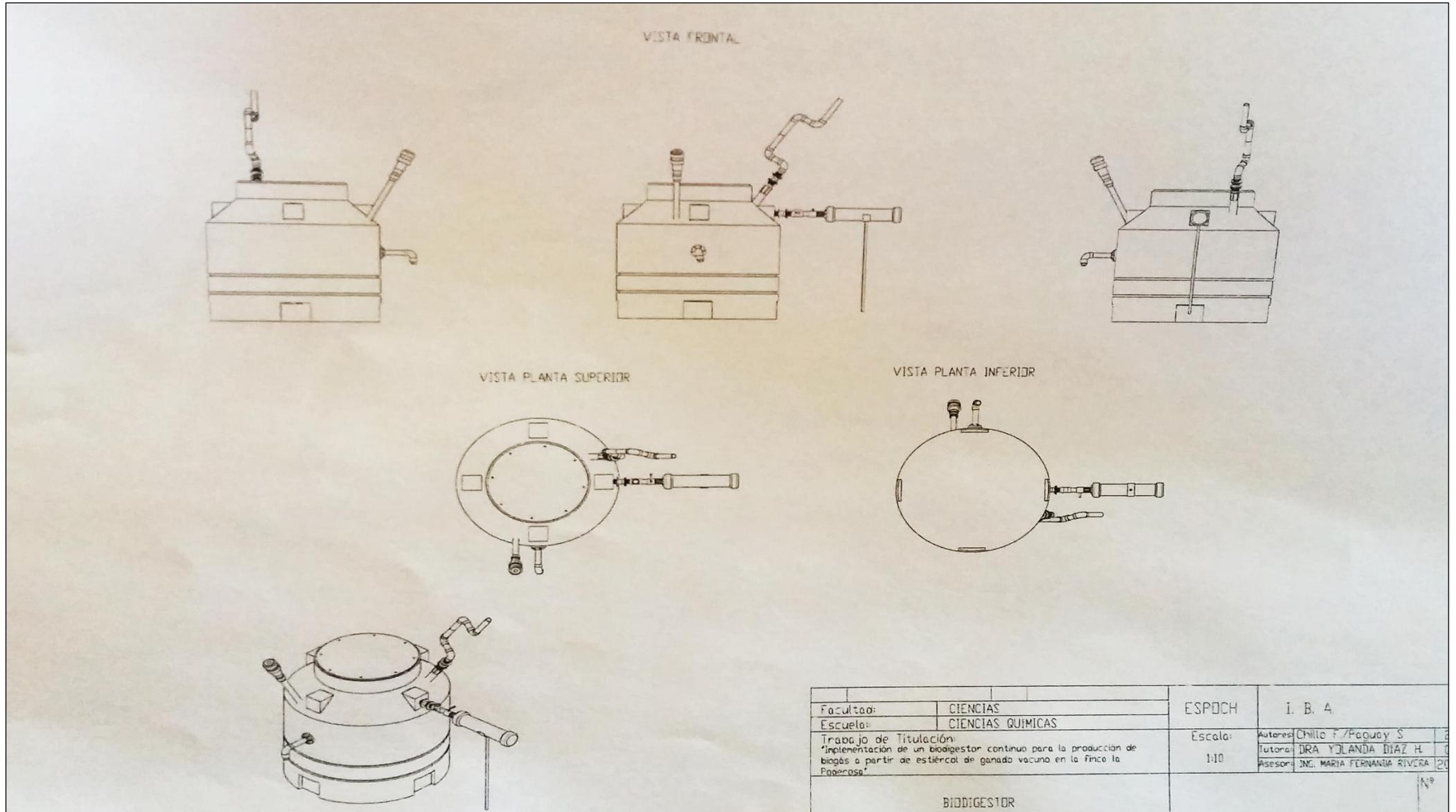
**ANEXO 11: Control de parámetros.**



**ANEXO 12: Generación de biogás.**

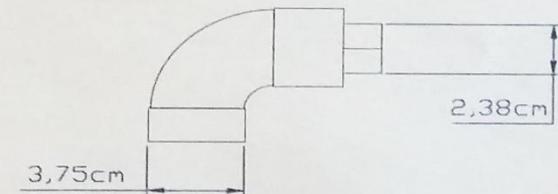
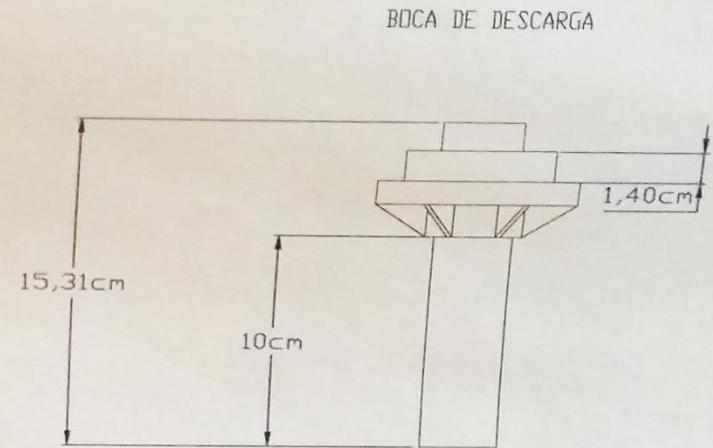
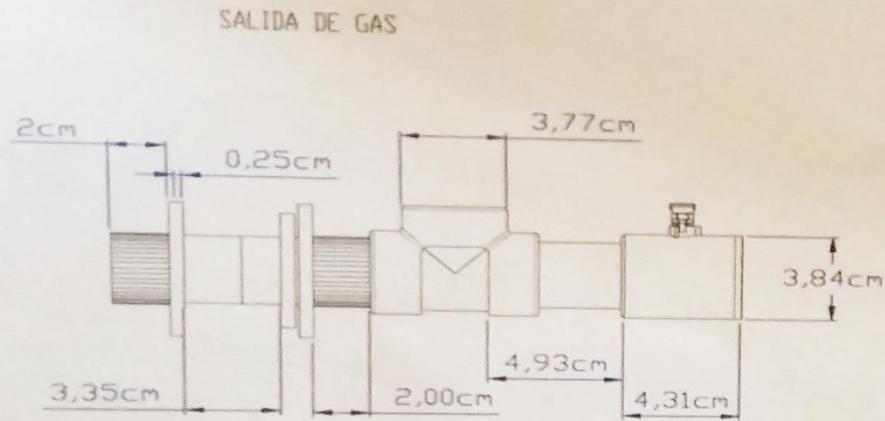


ANEXO 13: Planos del biodigestor.



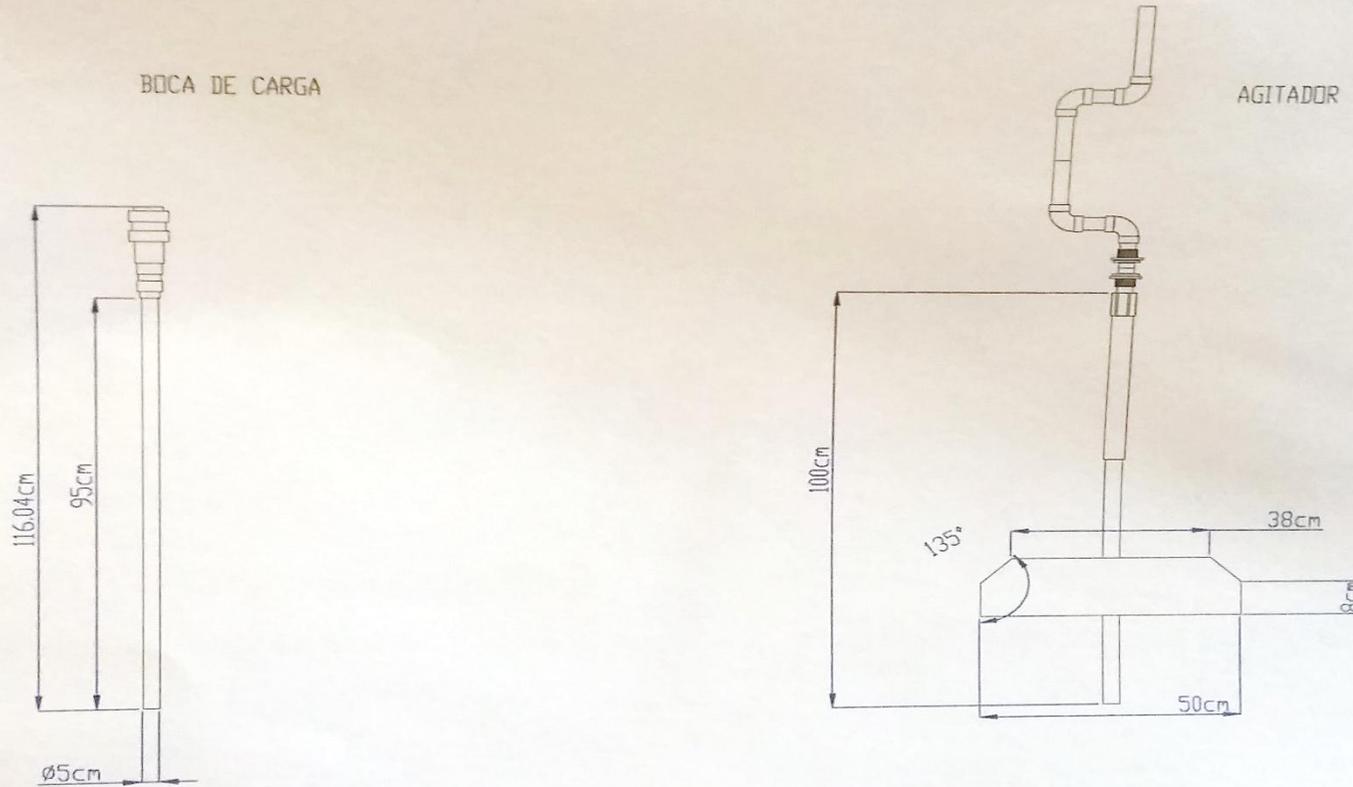
Facultad:	CIENCIAS	ESPOCH	I. B. A.
Escuela:	CIENCIAS QUIMICAS	Escala:	Autores: CHILLO F./PAGUAY S.
Trabajo de Titulación: "Implementación de un biodigestor continuo para la producción de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno en la finca la Pajarosa"		1:10	Tutora: DRA YOLANDA DIAZ H.
BIODIGESTOR			Asesor: ING. MARIA FERNANDA RIVERA

ANEXO 14: Plano de la salida de gas y boca de descarga.



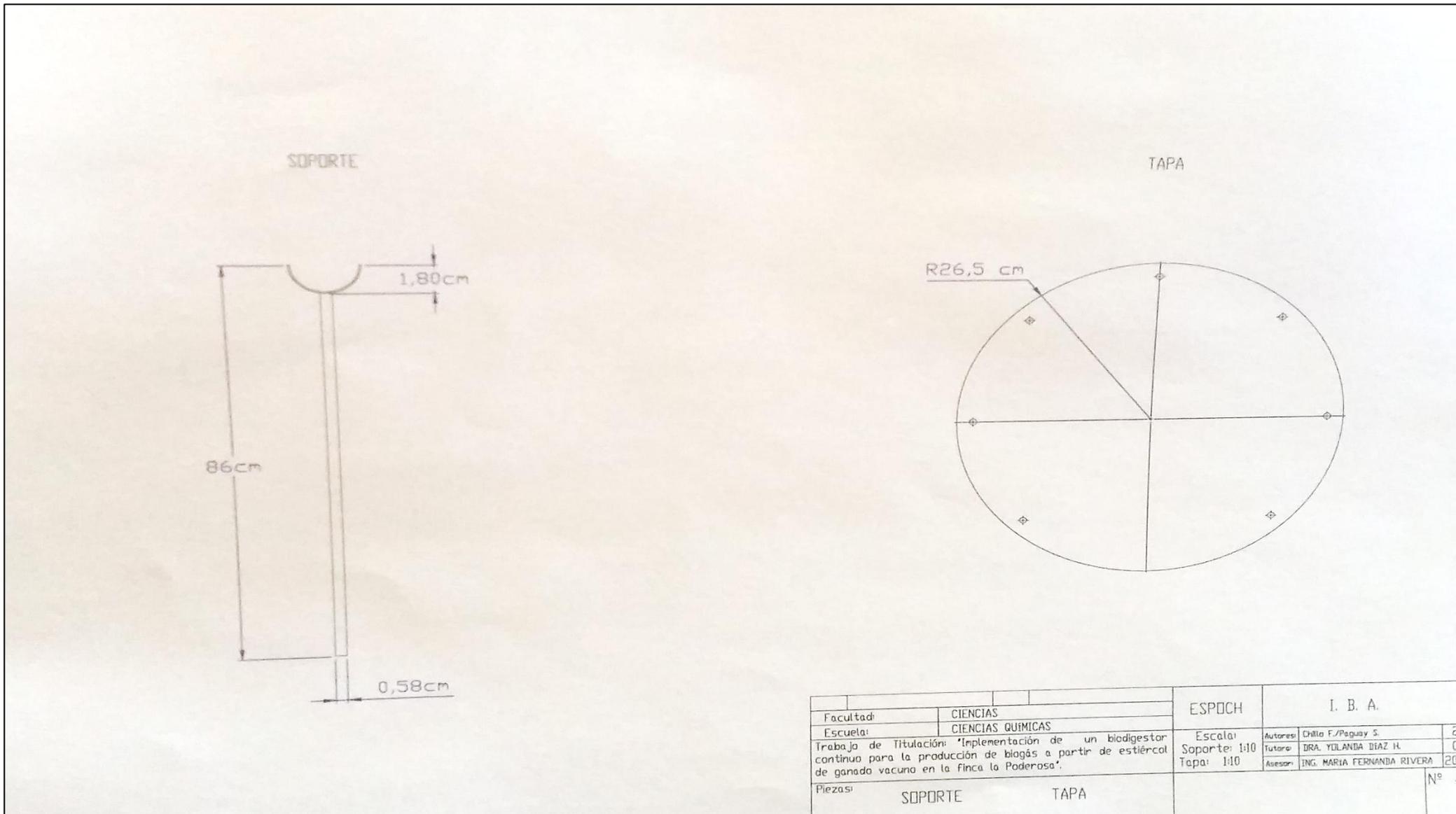
Facultad:	CIENCIAS	ESPOCH	I. B. A.
Escuela:	CIENCIAS QUIMICAS		
Trabajo de Titulación:	Implementación de un biodigestor continuo para la producción de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno en la finca la Poderosa.	Escala	Autores: Chillo F./Paguey S.
		Salida G: 1:5	Tutora: DRA. YOLANDA DIAZ H.
		Boca D: 1:5	Asesor: ING. MARIA FERNANDA RIVERA
Piezas:			Nº 2
	SALIDA DE GAS	BOCA DE DESCARGA	

ANEXO 15: Plano de la boca de carga y agitador.

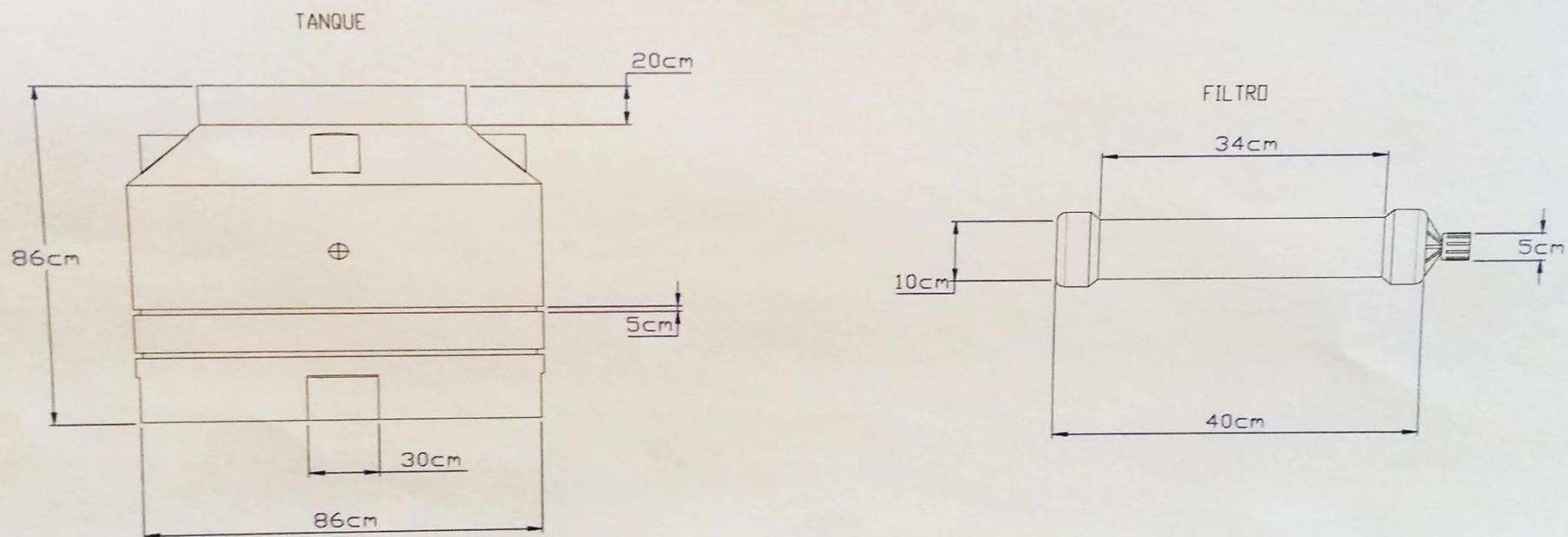


Facultad:	CIENCIAS	ESPOCH	I. B. A.
Escuela:	CIENCIAS QUIMICAS	Escala	
Trabajo de Titulación: 'Implementación de un biodigestor continuo para la producción de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno en la finca la Poderosa'.		Boca C: 1:10	Autoría: CHILLO F./PAGUIY S.
Piezas:		Agitador: 1:10	Tutoría: DRA. YOLANDA DIAZ H.
BOCA DE CARGA		AGITADOR	Asesor: ING. MARIA FERNANDA RIVERA

ANEXO 16: Plano del soporte y tapa.

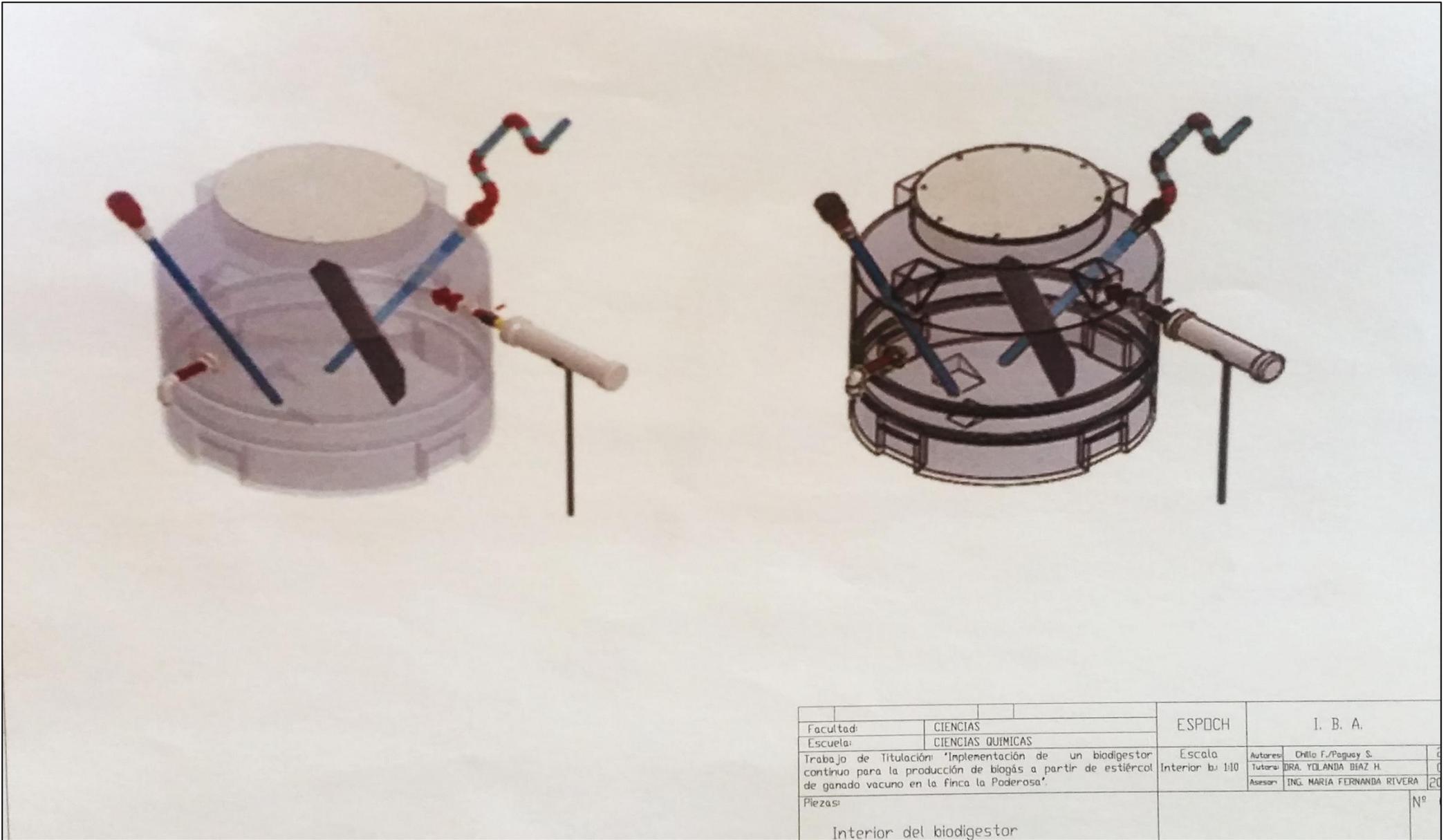


ANEXO 17: Plano del tanque y filtro.



Facultad:	CIENCIAS	ESPOCH	I. B. A.
Escuela:	CIENCIAS QUIMICAS		
Trabajo de Titulación:	Implementación de un biogestor continuo para la producción de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno en la finca La Poderosa.	Escala: Tanque: 1/10 Filtro: 1/5	Autor(es): Tutor(a): Asesor:
Piezas:			
TANQUE	FILTRO		Nº

ANEXO 18: Plano interno del biodigestor.



Facultad:	CIENCIAS	ESPOCH	I. B. A.
Escuela:	CIENCIAS QUIMICAS	Escala	Autares: Chilo F./Pagusy S.
Trabajo de Titulación:	Implementación de un biodigestor continuo para la producción de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno en la finca la Poderosa.	Interior b: 1:10	Tutora: DRA. YOLANDA BIAZ H.
Piezas:	Interior del biodigestor		Asesor: ING. MARIA FERNANDA RIVERA
			Nº