



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**“DISEÑO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR PARA OBTENER BIOGAS A
PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS DEL GANADO VACUNO
GENERADOS EN LA HACIENDA SANTA MÓNICA “GUAMOTE”**

Trabajo de Titulación presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTOR: CARLOS VICENTE CALDERÓN PUENTE

TUTOR: ING. MARÍA FERNANDA RIVERA

RIOBAMBA – ECUADOR

2015

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL

El tribunal de tesis certifica que: El trabajo de investigación: “DISEÑO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR PARA OBTENER BIOGAS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS DEL GANADO VACUNO GENERADOS EN LA HACIENDA SANTA MÓNICA “GUAMOTE”, de responsabilidad del egresado Sr. Carlos Vicente Calderón Puentes ha sido prolijamente revisado por lo Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Ing. María Fernanda Rivera
DIRECTOR DE TESIS

.....

.....

Dr. Robert Cazar
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....

.....

Yo, Carlos Vicente Calderón Puente, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta tesis; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CARLOS VICENTE CALDERÓN PUENTE

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis padres Julio Calderón y Mercedes Punte, quienes con su perseverancia, paciencia y sabiduría supieron forjar mi vida personal y estudiantil para lograr mi triunfo profesional. A mis hermanos y hermana, a mis tíos Vicente y Martha que estuvieron siempre a mi lado brindándome su incondicional apoyo, además de incentivar me para seguir superándome. A quienes caminaron durante este proceso conmigo especialmente a Katy, que con amor y paciencia me apoyo en todos los momentos buenos o malos.

Carlos

AGRADECIMIENTO

Primeramente a Dios por brindarme sus bendiciones y haber guiado cada paso de mi vida estudiantil hasta lograr esta meta profesional. A mis queridos padres y familia en general que me apoyaron incondicionalmente con todo su cariño y comprensión.

A mi director de tesis y miembros de tribunal que con sus correcciones me permitieron culminar el presente trabajo de investigación. Así también a la ESPOCH que fue mi segundo hogar y me formó como profesional.

De igual manera al Sr. Cesar Tello y esposa por su apertura y apoyo para realizar mi trabajo de tesis en su propiedad “Hacienda Santa Mónica”.

Y un agradecimiento a todas las personas que compartieron junto a mi momentos de alegría y tristeza y me ayudaron a superar los diferentes problemas que encontré en el camino.

Carlos

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	viii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	5
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
1.1 Biodigestión o digestión anaeróbica.....	5
1.2 Biodigestor.....	6
1.3 Factores que se deben controlar.....	7
1.4 Tipos de biodigestores.....	11
1.4.1 Biodigestor de domo flotante o Hindú.....	11
1.4.2 Biodigestor domo fijo o chino.....	12
1.4.3 Biodigestor tipo Taiwan o estructura flexible.....	12
1.5 Componentes del biodigestor tubular.....	13
1.5.1 Zanja para biodigestor.....	14
1.5.2 Tanque de digestión o reactor.....	15
1.5.3 Tubería de entrada y salida de sustrato.....	17
1.5.4 Sistema de Gas.....	18
1.5.5 Tanque Reservorio de biogás.....	18
1.6 Productos finales del biodigestor.....	19
1.6.1 Biogás.....	19
1.6.1 Bioabono.....	20
1.7 Marco legal.....	21
CAPÍTULO II.....	23
2. MARCO METODOLÒGICO.....	23
2.1 Lugar de estudio.....	23
2.2 Determinación de la carga diaria de estiércol.....	24
2.2.1 Recolección de estiércol.....	24

2.2.2	<i>Preparación de materia prima</i>	25
2.3	Implementación de biodigestor experimental	26
2.3.1	<i>Construcción del invernadero y zanja</i>	26
2.3.2	<i>Instalación de tuberías y válvulas</i>	28
2.3.3	<i>Prueba de probeta</i>	30
2.3.4	<i>Prueba de flama</i>	31
2.4	Cálculos.....	32
2.4.1	<i>Biodigestor experimental</i>	32
2.4.2	<i>Biodigestor proyectado</i>	34
CAPÍTULO III.....		39
3.	MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	39
3.1	Cálculos de diseño	39
3.2	Temperaturas promedio obtenidas del ambiente e invernadero.....	40
3.3	Producción acumulada de biogás	42
3.4	Discusión de resultados.....	45
CONCLUSIONES		46
RECOMENDACIONES.....		47
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

°C	Grados centígrados
C/N	Relación Carbono Nitrógeno
C_d	Carga Diaria
C_{ed}	Cantidad de excretas diarias
C_{H4}	Metano
cm	Centímetros
D	Diámetro
d	días
GLP	Gas Licuado de petróleo
GPS	Sistema de posicionamiento global
H₂O	agua
H₂S	Sulfuro de Hidrógeno
HCl	Ácido Clorhídrico
Kg	Kilogramos
L	Litros
L_d	Longitud del biodigestor
m	Metros
m³	Metros cúbicos
mL	Mililitros
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
NaOH	Hidróxido de sodio
P	Perímetros
PVC	Policromo de vinilo
S	Cantidad de sustrato
T	Temperatura
T_{RH}	Tiempo de retención hidráulica
V_G	Volumen gaseoso
V_L	Volumen líquido
V_{RD}	Volumen del reservorio
V_{TD}	Volumen total del biodigestor

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1: Tiempo de retención en función de la temperatura	10
Gráfico 2-1: Biodigestor tipo Hindu	11
Gráfico 3-1: Biodigestor tipo Chino	12
Gráfico 4-1: Esquema general de componentes de un biodigestor.....	13
Gráfico 5-1: Vista Transversal de la zanja	14
Gráfico 1-2: Ubicación del Lugar de estudio.....	23

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Composición media de estiércol fresco (Como 7 Porcentaje de la materia seca)..... 7	7
Tabla 2-1: Generación de biogás de acuerdo al tipo de sustrato 7	7
Tabla 3-1: Rangos de temperatura de fermentación anaeróbica 8	8
Tabla 4-1: Rangos de pH en la Generación de biogás 8	8
Tabla 5-1: Valores promedios aproximados de la relación Carbono/Nitrógeno de 9 algunos residuos disponibles en el medio rural 9	9
Tabla 6-1: Dimensiones de la zanja del biodigestor 14	14
Tabla 7-1: Parámetros según el ancho del rollo del plástico 15	15
Tabla 8-1: Aplicación del biogás..... 20	20
Tabla 9-1: Equivalencias de 1m ³ de biogás con otros combustibles 20	20
Tabla 1-3: Cantidad de excretas diarias 32	32
Tabla 1-4: Cálculos de diseño del biodigestor 39	39
Tabla 2-4: Temperaturas obtenidas para el tiempo de retención..... 40	40
Tabla 3-4: Producción diaria y acumulada de biogás 42	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-4: Variación de temperatura.....	42
Figura 2-4: Producción acumulada de metano.....	44

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1-2:	Recolección de estiércol _____	24
Fotografía 2-2:	Elaboración de mezcla estiércol: agua _____	26
Fotografía 3-2:	Construcción de zanja e invernadero _____	28
Fotografía 4-2:	Construcción de la tubería _____	29
Fotografía 5-2:	Prueba de probeta _____	31
Fotografía 6-2:	Prueba de flama _____	32

RESUMEN

Se diseñó un biodigestor tubular para obtener biogás a partir de residuos orgánicos de ganado vacuno generados en Hacienda “Santa Mónica” ubicada en la comunidad Atapo Santa Cruz, cantón Guamote, provincia de Chimborazo, para reducir la contaminación generada por los desechos. Mediante el método experimental se recolectó la muestra de estiércol de 4 vacas por 5 días consecutivos obteniendo un promedio de 6Kg al día es decir una carga diaria de 12 Kg/d dato con el que se construyó el biodigestor práctico utilizando bidón 20L, tuberías y válvulas mismo que se ubicó dentro del invernadero siendo monitoreado durante 62 días, se controló temperatura, se realizó pruebas de probeta, flama y olor durante el proceso de generación de biogás. Se aplicó fórmulas para proyectar los resultados experimentales a un total de 20 cabezas de ganado bovino y obtener resultados globales que fueron: carga diaria de 240 Kg/d, volumen total del digestor $14,72\text{m}^3$, diámetro 1,27m, longitud 11,56m. Concluyendo que la producción de gas metano es $3,68\text{ m}^3$ diarios ayudando abastecer el 55,2% del valor total que necesita la Hacienda para cubrir sus necesidades. Se recomienda a la administración de la hacienda implementar el biodigestor por ser sistema económico y amigable con el ambiente que minimiza los impactos negativos causados por los residuos orgánicos del ganado que servirán como materia prima utilizada para generar productos como biogás y bioabono, este sistema puede ser implementado en el área ganadera del país.

Palabras claves

<BIODIGESTOR> <BIOGÁS> <ESTIERCOL> <GANADO VACUNO> <GAS METANO>
<PRUEBA DE PROBETA> <BIOABONO> <PRUEBA DE FLAMA>.

SUMMARY

This research was performed to design a tubular digester by getting biogas from organic waste cattle produced at Ranch "Santa Monica" located in the community Atapo Santa Cruz, Guamate canton, Chimborazo province, it was to reduce pollution generated by waste. By the experimental method sample manure 4 cows for 5 consecutive days is collected by averaging 6kg per day, that is a daily charge of 12 Kg/d data with the practical digester using drum 20L, pipes and valves are built same that was located inside the greenhouse being monitored for 62 days, temperatura controlled, test-tube, flame and swell was conducted during biogas generation. Formulas applies to project the experimental results to a total of 20 heads of cattle and overall results obtained were: daily load 240Kg/d, 14,72m³ digester total volumen, 1,27 diameter, length 11,56m. It is concluded that the production of methane gas is helping 3,68 m³ daily supply 55,2 % of the total value that needs the Ranch to meet their requirements. It is recommended to administration from Ranch implementing the digester for inexpensive and environmentally outgoing system that minimizes the negative impact caused by organic waste from cattle that serve as raw materials used by organic waste biogas and biofertilizer, this system can be implemented in the livestock area from country.

KEYWORDS:

<BIODIGESTOR>, <BIOGAS>, <MANURE>, <CATTLE>, <,METHANE GAS>, <TEST TUBE>, <BIOFERTILIZER>, <FLAMEPROOF>.

INTRODUCCIÓN

Las excretas generadas por el ganado vacuno son consideradas como una problemática ambiental por ello ha sido necesario implementar tecnologías nuevas y económicas para dar tratamiento a estos desechos sólidos y obtener productos amigables con el ambiente.

El sistema de fermentación mediante el cual se da un adecuado manejo al estiércol vacuno consiste en Biodigestores siendo los de tipo Taiwan o tubulares los más sencillos y de bajo costo, permitiendo su introducción a las comunidades rurales.

En Ecuador se ha incrementado poco a poco esta tecnología ya que por falta de estudios y conocimientos no se la ha puesto en práctica de forma masiva en las diferentes haciendas y comunidades agro-pecuarias, grandes productoras de desechos orgánicos.

La tesis que se presenta está enfocada en el diseño de un biodigestor tubular, cuyo objetivo es aprovechar los excrementos del ganado vacuno generados en la Hacienda Santa Mónica ubicada en la comunidad de Atapo Santa Cruz del cantón Guamote, para obtener biogás y solventar los problemas energéticos y consumo de gas doméstico.

Difundir a las familias la tecnología como una alternativa no muy costosa y de fácil acceso ya que en la zona se cuenta con la presencia de ganado vacuno, consiguiendo beneficios tanto económicos como ambientales, pues se evitará el consumo de leña y se promoverá un adecuado manejo de los desechos ganaderos, disminuyendo emisiones de gases contaminantes y olores indeseables en la zona, además se generará productos como biogás y bioabono o biol.

Antecedentes

Los procesos de biodigestión se usan desde la antigüedad, siendo el principal proceso la obtención de etanol, desde entonces se lo continúa utilizando en el aprovechamiento de los residuos orgánicos provenientes de granjas rurales. La actividad agropecuaria y manejo de

residuos orgánicos animales y vegetales ayudan a la obtención de energía mediante reacciones anaeróbicas que generan biogás.

En el año de 1887, Louis Pasteur concluye de los trabajos realizados por Gayón, que la fermentación de estiércol animal sería una buena fuente de energía, (Guevara, 1996, pág. 8) desde entonces diversos son los estudios sobre biodigestores anaeróbicos realizados en familias de comunidades rurales para satisfacer las necesidades de combustible y energía, además de aprovechar los residuos y disminuir la contaminación producida por los mismos.

En el año de 1927, Inglaterra hace uso del biogás recolectándolo en tanques flotantes de concreto armado con el fin de satisfacer las necesidades de las comunidades con un número mayor a 7000 habitantes, teniendo un éxito con este sistema. (Guevara, 1996, pág. 10)

En el año 2013 en el establo “Los Montañones” ubicado en la Ixtapaluca, México, el Ingeniero Juan Carlos Doroteo, debido que no existe el lugar adecuado para disponer las excretas, estudia el aprovechamiento de biogás proveniente del abono de ganado vacuno desarrollando un biodigestor para la obtención de biogás, siendo los resultados óptimos ya que el biogás que se generó cumple con los requerimientos para ser aprovechado como energía eléctrica dentro del establo. (Doroteo, 2012, pág. 19)

Dentro del Ecuador se han realizado diversos estudios como del Ingeniero Mecánico Monar Ulises en el 2009 quien diseña un biodigestor para una finca del recinto San Luis de las Mercedes perteneciente a la provincia de Bolívar, siendo su objetivo el uso de los residuos orgánicos para la obtención de biogás y de bioabono, generando como resultados, la producción diaria de biogás de 5m³ cubre el 35% de consumo mensual de energía y el bioabono obtenido permitirá sustituir el 86% de químicos. (Monar, 2009, pág. 18)

El Ingeniero Biotecnología Ambiental Wayllas Juan quien en el año 2010 realiza el diseño de un biodigestor tipo chino a partir de estiércol de ganado vacuno, con el fin de minimizar los problemas de contaminación en una finca ubicada en la comunidad el Olivo-Pallatanga y de

obtener biogás y biol. Concluyéndose que la cantidad de biogás que se genera satisface la demanda de energía de la finca. (Wayllas, 2010, pág. 29)

En el año 2013 el Ingeniero Biotecnología ambiental, Darwin Verdezoto propone el diseño de un biodigestor anaerobio en la finca los Laureles comunidad Flor del Manduro para producir de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno ya que existe gran cantidad de excretas que contaminan el sector, además de ello se generara abono orgánico satisfaciendo a la productividad agrícola de la finca. (Verdezoto, 2013, pág. 38)

A partir de los estudios realizados en diferentes lugares de América y del Ecuador, con los conocimientos adquiridos en la materia de biorreactores/biodigestores, se ha decidido diseñar un biodigestor tubular para disminuir las necesidades de la Hacienda Santa Mónica, y minimizar la contaminación presente en el lugar y así contar con un ambiente saludable.

Justificación

Debido a la escasez de gas doméstico en la Hacienda Santa Mónica y a la contaminación producida por desechos orgánicos que afecta directamente a los trabajadores y al ambiente, se considera importante aplicar nuevas alternativas tecnológicas para tratar a los residuos ganaderos minimizando la contaminación en la comunidad rural. Con la finalidad de reducir los problemas presentes en la hacienda se diseñará un biodigestor anaerobio del tipo Taiwan o conocido como tubular, del cual se obtendrá biogás, resultado de la descomposición del estiércol, siendo este la fuente de energía y combustible de la Hacienda. Con el proyecto se da seguimiento y manejo a los desechos orgánicos creando una alternativa ambiental de energía renovable, económica y amigable, satisfaciendo las diferentes necesidades de la hacienda Santa Mónica y beneficiándose de los diferentes productos que se obtienen de los biodigestores. La viabilidad para la ejecución del proyecto es favorable, ya que existen vías de acceso adecuadas para llegar a la hacienda, se tiene todo el apoyo del propietario para realizar las diversas actividades dentro de la propiedad, además se cuenta con la cantidad necesaria de estiércol vacuno considerada como materia prima para alimentar al biodigestor.

Objetivos

General

- Diseñar un biodigestor tubular para obtener biogás a partir de residuos orgánicos del ganado vacuno generados en la Hacienda “Santa Mónica” ubicada en el cantón Guamote.

Específicos

- Determinar los parámetros óptimos de diseño mediante la construcción de un biodigestor experimental.
- Encontrar la capacidad del biodigestor mediante la determinación del volumen total de los residuos orgánicos de ganado vacuno.
- Elaborar los planos para la posterior implementación del biodigestor en la hacienda.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Biodigestión o digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica es un proceso biológico complejo y de degradación que se desarrolla en ausencia de oxígeno, en donde la materia orgánica, residuos de animales y vegetales son convertidos en diferentes productos tales como biogás y bioabono principalmente gracias a las reacciones de óxido-reducción de bacterias metanogénicas.

El proceso de digestión anaeróbica se produce en las siguientes etapas, lo cual permite la conversión del estiércol de ganado en energía:

- **Hidrólisis:** esta primera etapa consiste en transformar mediante enzimas hidrolíticas compuestos orgánicos de estructura compleja, en compuestos más simples de fácil degradación como aminoácidos, azúcares, etc. (Bermúdez, 1988, pág. 13) (Castells, 2005, pág. 95)
- **Acidogénesis:** en esta etapa se lleva a cabo la conversión de los compuestos productos de la primera fase, en compuestos de menor peso gracias a bacterias acidogénicas. (Bermúdez, 1988, págs. 13-14) (Castells, 2005, pág. 95)
- **Acetogénesis:** durante esta fase se transforman ácidos grasos a ácido acético.
- La última fase es la **Metanogénica:** en donde las bacterias metanogénicas terminan de convertir los compuestos finales en estructuras sencillas como es el metano y dióxido de carbono. (Bermúdez, 1988, pág. 14) (Castells, 2005, pág. 95)

Las bacterias que se encargan de la degradación de la materia orgánica son organismos autótrofos es decir que utiliza moléculas orgánicas para reducir macromoléculas en compuestos más sencillos lo cual les sirve como alimento. (Metanogénesis, 2011)

La digestión anaerobia se la desarrolla en equipos cerrados, denominados biodigestores que se explica a continuación.

1.2 Biodigestor

Un biodigestor es una cámara cerrada e impermeable que aprovecha la digestión anaeróbica es decir en ausencia de oxígeno, constituyéndose en una alternativa para tratar los desechos orgánicos como es el estiércol animal, (Martí, 2008) obteniendo varias ventajas como:

- Proporciona combustible amigable con el ambiente (biogás)
- Reduce la contaminación ambiental al convertir los residuos orgánicos en productos finales útiles.
- Produce abono orgánico (bioabono) que permiten el aumento de nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo. (Botero, 1987, pág. 1)

Para que el biodigestor tenga una buena operación es importante que el mismo tenga las siguientes características:

- Hermético, para evitar fugas del biogás o entradas de aire.
- Térmicamente aislado para evitar cambios bruscos de temperatura, así evitar la muerte de las bacterias.
- Tener acceso para mantenimiento del biodigestor.

Como se mencionó se pueden utilizar los residuos orgánicos provenientes de las granjas agrícolas y ganaderas, principalmente **Estiércol De Ganado De Vacuno** se denomina así a los excrementos de vacas y toros, que constituyen un problema ambiental ya que generan altas cantidades de gases como el dióxido de carbono y metano al día. Además de ello el estiércol contiene grandes cantidades de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, características por las que se lo utiliza en los procesos anaerobios. (Bautista, 2010, págs. 25,26)

Tabla 1-1: Composición media de estiércol fresco (Como Porcentaje de la materia seca)

Nutrientes %	Ganado Vacuno
Materia orgánica	48,9
Nitrógeno total	1,27
Fósforo asimilable (P ₂ O ₅)	0,81
Potasio (K ₂ O)	0,84
Calcio (CaO)	2,03
Magnesio (MgO, %)	0,51

Fuente: ASO Y BUSTOS, 1991.

1.3 Factores que se deben controlar

Para que se realice una digestión correcta de todo el estiércol se debe controlar que se cumpla con las condiciones óptimas para que los microorganismos anaeróbicos se desarrollen satisfactoriamente. Entre los parámetros de importancia a controlar para la fermentación anaerobia son:

- **Sustrato:** la materia orgánica que se utiliza para generar biogás mediante el proceso de degradación se la puede conseguir en las zonas agrícolas, pecuarias, municipales e industriales de consistencia sólida, semisólida y líquida. En la siguiente tabla podemos observar la generación de biogás de acuerdo al sustrato que se tenga:

Tabla 2-1: Generación de biogás de acuerdo al tipo de sustrato

Sustrato	Generación de gas (L/Kg biomasa seca)	Promedio (L/Kg biomasa seca)
Excreta de porcino	340-550	450
Excreta de vacuno	150-350	250
Excreta de aves	310-620	460
Guano de caballo	200-350	250
Guano de oveja	100-310	200
Guano de establo	175-320	225
Paja de cereales	180-320	250
Paja de maíz	350-480	410
Paja de arroz	170-280	20
Bagazo	140-190	160
Desperdicios de verduras	300-400	350
Algas	380-550	460
Lodos de aguas servidas	310-640	450

Fuente: DISEÑO DE BIODIGESTORES, TEC. PABLO INFANTE CHAVEZ

- **Temperatura:** se constituye un factor importante ya que determina el tiempo de retención dentro del biodigestor, es decir a mayor temperatura mayor velocidad de digestión de los residuos e incremento de biogás o viceversa. Se considera que los rangos de temperatura límites están entre 15° y 45°C, siendo lo óptimo 35°C, en donde los microorganismos metanogénicos se reproducen, y producen metano. Se debe saber que a baja temperatura la producción de biogás se disminuye y menos de 5°C los microorganismos se quedan dormidos y no producen biogás; Importante por ello tener controlado este parámetro. (Olaya, 2009, pág. 3).

Tabla 3-1: Rangos de temperatura de fermentación anaeróbica

Fermentación	Mínimo (°C)	Óptima (°C)	Máximo (°C)	Tiempo de fermentación (días)
Psicrophilica	4-10	15-18	20-25	sobre los 100
Mesophilica	15-20	25-35	35-45	30-60
Thermophilica	25-45	50-60	75-80	10-15

Fuente: LAGRANGE 1979

- **Humedad:** la falta o el exceso de agua en la mezcla que ingresa al biodigestor son perjudiciales para el proceso de fermentación, así que se considera que el porcentaje de agua debe estar entre el 85% al 90%, es importante controlar la cantidad de humedad en la mezcla estiércol – agua, antes de ingresarla al biodigestor.
- **pH:** los valores óptimos para el proceso de digestión anaerobia están entre 6.5 y 7.5, cuando los valores suben o bajan de los límites se puede detener la fermentación debido a que los microorganismos no están en equilibrio dentro del biodigestor, disminuyendo la formación de biogás.

Tabla 4-1: Rangos de pH en la Generación de biogás

Valor de pH	Característica
7-7,2	Óptimo
Menor de 6,2	Retardo por ácidos
Mayor a 7,6	Retardo por amonios

Fuente: DISEÑO DE BIODIGESTORES, TEC. PABLO INFANTES CHÁVEZ

- **Relación carbono/nitrógeno:** los microorganismos consumen estos elementos ya que constituyen su principal fuente de alimentación, esta relación depende de la combinación de los materiales que se utilicen en la mezcla, es así que las excretas de ganado vacuno contienen una relación de 25:1.

Tabla 5-1: Valores promedios aproximados de la relación Carbono/Nitrógeno de algunos residuos disponibles en el medio rural

Tipo de residuo	%C	%N	C/N
Residuos animales			
Bovinos	30	1.30	25:1
Equinos	40	0.80	50:1
Ovinos	35	1.00	35:1
Porcinos	25	1.50	16:1
Caprinos	40	1.00	40:1
Conejos	35	1.50	23:1
Gallinas	35	1.50	23:1
Patos	38	0.80	47:1
Pavos	35	0.70	50:1
Excretas humanas	2.5	0.85	3:1
Residuos vegetales			
Paja trigo	46	0.53	87:1
Paja cebada	58	0.64	90:1
Paja arroz	42	0.63	67:1
Paja avena	29	0.53	55:1
Rastrojos maíz	40	0.75	53:1
Leguminosas	38	1.50	28:1
Hortalizas	30	1.80	17:1
Tubérculos	30	1.50	20:1
Hojas secas	41	1.00	41:1
Aserrín	44	0.06	730:1

Fuente: VARNERO Y ARELLANO, 1991

- **Concentración de agua y sustrato en la mezcla de carga diaria:** cuando la cantidad de agua en la mezcla es baja, los microorganismos presentes no funcionarían activamente por lo mismo habrá baja producción de biogás; caso contrario, si la mezcla diaria es muy

diluida, se generará limitadamente el biogás debido a la poca digestión de la materia orgánica. La relación biomasa:agua con la que se puede trabajar para promover una efectiva digestión es 1:1 (Olaya, 2009, pág. 5)

- **Tiempo de permanencia del substrato en el biodigestor:** se conoce al tiempo en el que la materia orgánica permanece en el interior del biodigestor realizando la digestión anaerobia para la obtención de biogás. Se elaboró una gráfica de tiempo de retención vs temperatura de operación basada en la Tesis “Aumento de la producción de biogás del digestor de la Facultad de Ingeniería de Zootecnia”, misma que trabajó con estiércol de ganado y a condiciones climáticas reales de la ciudad de Riobamba.

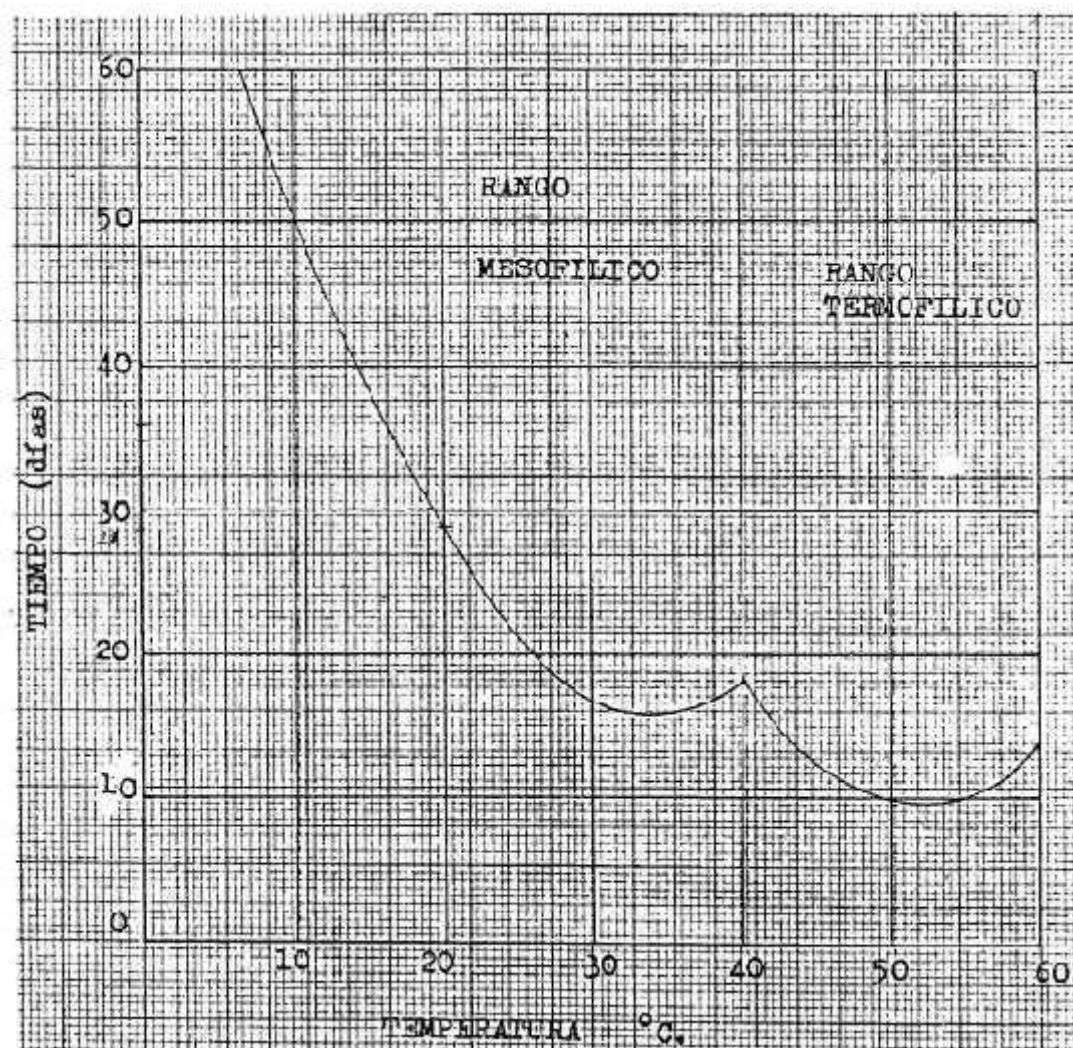


Gráfico 1-1: Tiempo de retención en función de la temperatura

Fuente: Criollo, E. 2014

1.4 Tipos de biodigestores

Los biodigestores se clasifican de acuerdo a las características del material, la aplicación del gas, y principalmente la relación costo-inversión-beneficio. Los tipos de biodigestores más conocidos y utilizados son:

1.4.1 Biodigestor de domo flotante o Hindú

Este biodigestor es considerado de modo semicontinuo, consiste en un tambor hecho en material de acero o fibra de vidrio, con paredes y fondo de ladrillo y hormigón, enterrado de modo vertical; la carga es semicontinua, dependiendo el volumen de mezcla del tiempo de fermentación o retención, este tipo consta de una campana flotante en la parte superior, la cual proporciona una presión constante que permite que el gas producido se almacene y salga para su uso (Lara, 2011). Las ventajas que presenta un biodigestor son: tiene fácil operación, una presión constante, no permite que se forme espumas y se puede retirar fácilmente el aumento de materia orgánica; las desventajas de este tipo de biodigestor son: los gasómetros de acero se pueden corroer u oxidar si no se encuentran protegidos, por lo que el mantenimiento de estos se lo debe realizar dos veces al año.

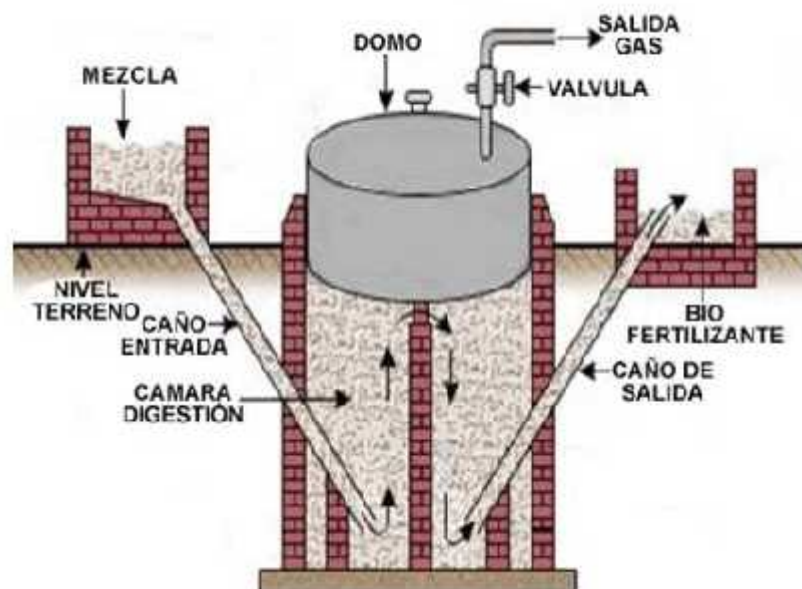


Gráfico 2-1: Biodigestor tipo Hindú

Fuente: Digestión anaerobia para el tratamiento de residuos orgánicos

1.4.2 Biodigestor domo fijo o chino

Este biodigestor consiste en una cámara construida de ladrillo, piedra y hormigón, con tapa y base semiesféricas. No cuenta con un gasómetro, almacenando el gas dentro del mismo sistema generando buena eficiencia de biogás (Lara, 2011, pág. 29). Las ventajas de este biodigestor son: fácil construcción y bajo costo, funciona mediante procesos continuos, tiene una elevada vida de utilización siempre y cuando se realice un adecuado mantenimiento; Las desventajas de este tipo son: para su construcción necesita gran recurso humano y la remoción total del estiércol se lo debe hacer dos o más veces al año. (Lara, 2011, pág. 30) (Monar, 2009, pág. 24)

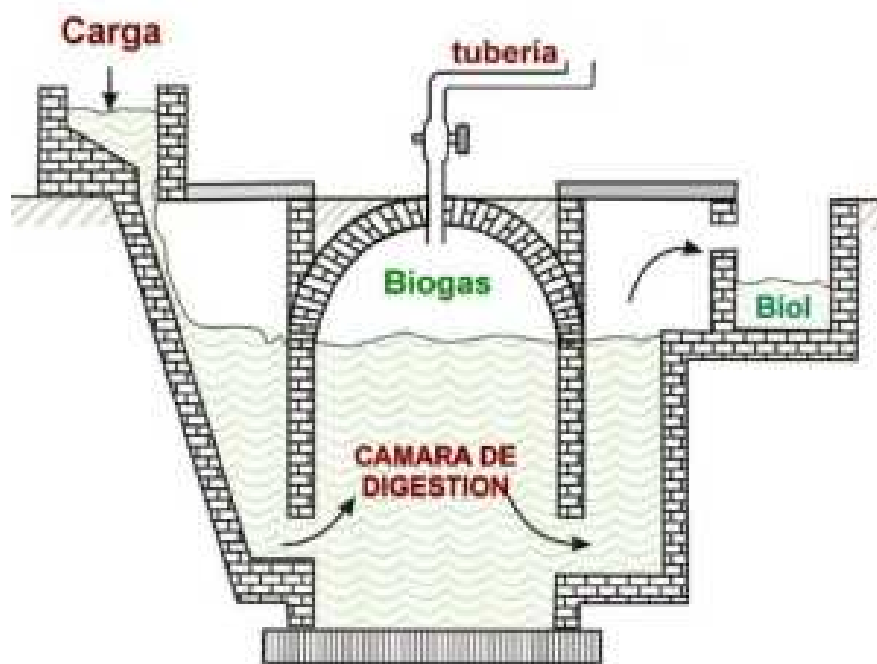


Gráfico 3-1: Biodigestor tipo Chino

Fuente: Digestión anaerobia. Proceso de producción de biogás.

1.4.3 Biodigestor tipo Taiwan o estructura flexible

Por los altos costos de materiales para elaborar digestores fijos se desarrolló en Taiwan este modelo de digestor con materiales más baratos como el nylon y neopreno inicialmente, para luego reemplazarlo por el polietileno, material que es actualmente el más utilizado (Wayllas, 2010, pág. 27)

En este biodigestor el proceso de digestión de la materia orgánica ocurre en la parte inferior y la acumulación del gas en la parte superior (Lara, 2011, pág. 32). Estos modelos familiares tienen las

siguientes ventajas: bajo costo de material e instalación, mantiene una presión constante, se obtiene energía barata y se reduce la polución; y desventajas del biodigestor de bolsa flexible son: el tiempo de vida útil es bajo pues el plástico puede ser cortado. (Lara, 2011, pág. 32) (Monar, 2009, pág. 27)

Pero también existen limitaciones como la disponibilidad de agua para la mezcla, la cantidad de ganado con la que cuenta la familia y en sí la apropiación y cuidado del digestor por parte de los beneficiarios.

Analizado los tipos de biodigestores, se decide utilizar el tipo Taiwan o bolsa flexible, por las características de instalación en lugares rurales, en donde las familias poseen ganado y cantidad de residuos orgánicos que pueden ser aprovechados para producir su propio combustible y fertilizante natural. (Martí, 2008, pág. 20)

Los biodigestores tubulares poseen ventajas socio-económicas para las familias de zonas rurales así como también ventajas ambientales: reduce la cantidad de leña lo que ayuda a conservar los bosques, mejora la calidad del aire dentro del área de la cocina y reducir las enfermedades respiratorias y produce abono orgánico. (FUCOSOH, pág. 5)

1.5 Componentes del biodigestor tubular

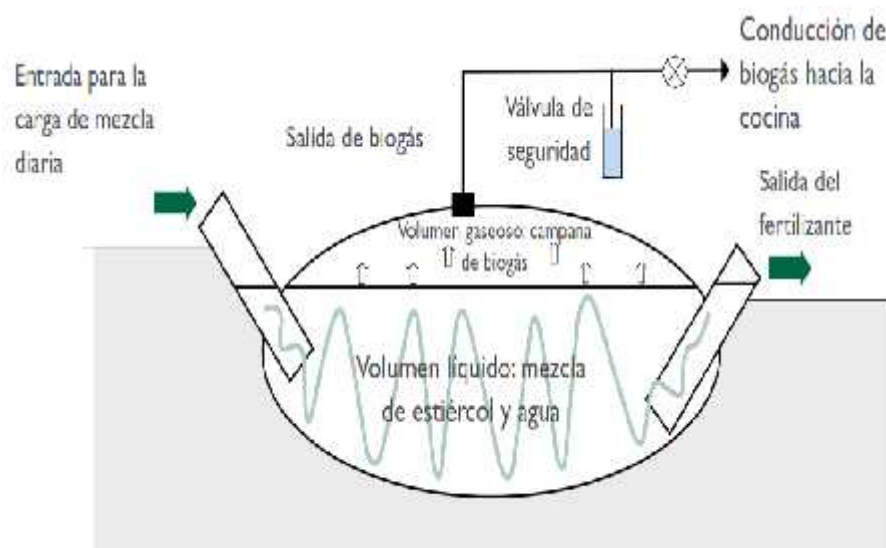


Gráfico 4-1: Esquema general de componentes de un biodigestor
Fuente: Guía de biodigestores familiares

1.5.1 Zanja para biodigestor

Se considera como zanja al canal en donde se colocará el biodigestor para lo cual se debe elegir el sitio adecuado de preferencia que se encuentre cerca del sustrato y del lugar que se va a beneficiar de biogás. Hay que tomar en cuenta que el dimensionamiento del biodigestor depende de la longitud y ancho que tenga la zanja, en la siguiente tabla se muestra las dimensiones:

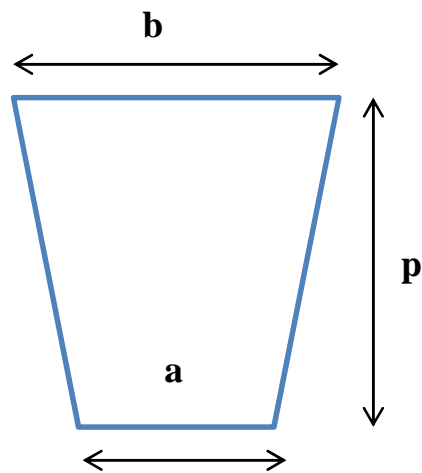


Gráfico 5-1: Vista Transversal de la zanja
Fuente: Guía de biodigestores familiares

Tabla 6-1: Dimensiones de la zanja del biodigestor

Dimensiones de la zanja según el ancho del plástico					
Ancho del plástico (m)	2	1,75	1,5	1,25	1
a (m)	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
b (m)	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
p (m)	1	0,9	0,8	0,7	0,6

Fuente: Martí J. Biodigestores familiares: guía de diseño y manual de instalación. 2008

Tabla 7-1: Parámetros según el ancho del rollo del plástico

Ancho de rollo (m)	Perímetro de la circunferencia (m)	Radio (m)	Diámetro (m)
1	2	0,32	0,64
1,25	2,5	0,40	0,80
1,50	3	0,48	0,96
1,75	3,5	0,56	1,12
2	4	0,64	1,28

Fuente: Martí J. Biodigestores familiares: guía de diseño y manual de instalación. 2008

1.5.2 Tanque de digestión o reactor

El tanque de digestión es la parte principal del biodigestor, ya que es el lugar en donde se ubica los desechos orgánicos que permanecerán el tiempo de retención necesario para descomponerse liberando el biogás. (Martí, 2008, pág. 32)

Para dimensionar el tanque se debe considerar los siguientes parámetros:

- La cantidad en Kg de desechos orgánicos a utilizar
- Determinar la relación de la mezcla sustrato: agua, con el fin de conocer la carga diaria.

$$C_d = S(K) + H_2O(K) \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

$$C_d = C \cdot d$$

$$S = C \cdot d \cdot s_1 \quad d \quad e \quad K$$

$$H_2O = C \cdot d \cdot a \quad e \quad K$$

- El Tiempo de retención hidráulica que se lo determina basado en la temperatura ambiente promedio de la zona en donde se ubicará el biodigestor.

Con los valores de los parámetros antes mencionados se puede obtener volumen total del biodigestor:

El volumen total del biodigestor almacena un espacio de 75% de la parte líquida y el 25% de fase gaseosa.

$$V_T = V_L + V_G \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

$$V_T = v \cdot t \cdot d \cdot b$$

$$V_L = v \cdot t \cdot l \cdot q$$

$$V_G = v \cdot t \cdot d \cdot g$$

$$V_L = C_d \times T_R \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde

$$V_L = v \cdot t \cdot l \cdot q$$

$$C_d = c \cdot d \cdot K$$

$$T_R = t \cdot d \cdot r \quad \text{ón hñ} \quad e \text{ día}$$

El volumen gaseoso es una cuarta parte del volumen total:

$$V_G = 0.2 \times V_T$$

$$V_G = \frac{0.2}{0.7} \times V_L \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde

$$V_G = v \cdot t \cdot g$$

La longitud óptima del biodigestor depende del ancho del plástico (1.25m, 1.5m, 1.75m, 2m), para su determinación se aplica la ecuación del volumen de un cilindro.

$$V_D = \pi \times \frac{L^2}{4} \times L \quad \text{Ec. (5)}$$

$$D = \frac{P}{\pi} \quad \text{Ec. (6)}$$

De la fórmula 5 se despeja para obtener la fórmula 7:

$$L_d = \frac{4 \times V_D}{\pi L^2} \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde:

$$V_D = v \quad d \quad b$$

$$L_d = l \quad d \quad b$$

$$D = d \quad \text{ám}$$

$$P = p \quad \text{ím}$$

$$4 = C$$

1.5.3 Tubería de entrada y salida de sustrato

La entrada o alimentación del biodigestor se lo introduce en la parte superior y la salida o extracción se lo coloca en la parte inferior es decir al lado contrario de la entrada diaria de la mezcla, las medidas de las tuberías pueden ser de 4'' o 6'', con una longitud de 0,50m a cada lado Considerando que el biodigestor escogido será ubicado en la zona rural el material que se puede utilizar en la tubería es PVC dependiendo en tamaño del reactor se escogerá el tamaño del tubo en pulgadas, el mismo que se debe sujetar herméticamente al plástico que forma parte del reactor, con el fin que ingrese y salga toda la mezcla evitando que existan fugas. (Guerrero, 2011, pág. 58) (Sanchez, 2007, pág. 76)

1.5.4 Sistema de Gas

Este sistema cumple la función de trasladar el biogás generado en el digestor desde este hacia los puntos donde se lo ocupará, por ejemplo en la cocina. El sistema está formado por:

- **Tubería de salida de biogás:** esta tubería debe ser de polietileno ya que cuenta con resistencia química, al paso del gas; Además hay que tomar en cuenta que la instalación debe ser aérea, no se debe enterrar ya que puede existir acumulación de agua en las tuberías y condensarse evitando el paso del gas. (Guerrero, 2011, pág. 60) (Sanchez, 2007, pág. 77)

- **Válvula de seguridad:** esta válvula debe estar ubicada cerca del biodigestor, en la tubería de salida, fabricada de forma sencilla con una botella de plástico parcialmente llena de agua. La función es formar un sello de agua para permitir que el gas salga en condiciones normales. En el caso que no se consuma el biogás por completo se pueda escapar evitando que incremente la presión dentro del biodigestor y se forme fisuras o rupturas en el plástico.

- **Filtro Purificador de biogás:** antes que el gas se lo utilice en la cocina u otra actividad se lo debe purificar, eliminando el sulfuro de hidrógeno H_2S , considerado como venenoso para los seres humanos. Existen diferentes métodos para eliminarlo pero uno sencillo es mediante la absorción por limaduras de hierro, para lo cual se debe eliminar las grasas de las virutas lavándolas con detergente, sumergirlas en HCl 5% por un periodo entre 5-10 minutos dejarlas secar e introducirlas en solución de NaOH 5% durante el mismo tiempo, dejar secar, quedando listas para luego utilizarlas.

1.5.5 Tanque Reservorio de biogás

El biogás que se obtiene debe ser almacenado, por lo que el tanque debe ser del mismo material que el digestor, y depende de la cantidad de biogás que se consume. Para pequeñas propiedades se considera que exista una relación de 5:1, entre el volumen del digestor y el tanque reservorio.

$$\frac{V_T}{V_R} = 5 \quad \text{Ec. (8)}$$

$$V_R = \frac{V_T}{5} \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde

$$V_R = v t \quad d \quad r$$

1.6 Productos finales del biodigestor

1.6.1 Biogás

Se conoce como biogás al gas producido durante el proceso de fermentación anaerobia de los residuos orgánicos, teniendo como principales componentes el metano en mayor proporción, dióxido de carbono entre 35-45%, en menor proporción el nitrógeno, hidrógeno, oxígeno y el sulfuro de hidrogeno en cantidad de trazas, la calidad del biogás depende del tipo de residuo que se incorporó para la fermentación (Argentino, 2007). Existe una gran cantidad de residuos que se pueden utilizar para generar biogás entre ellos tenemos el estiércol de vaca, cerdo, gallina, ovejas, y desechos de vegetales, que se los puede mezclar o utilizar por separado; hay que considerar que estos residuos se los debe mezclar con agua de forma homogénea para que se produzca el gas. (Martí, 2008, pág. 42)

El biogás es un combustible que arde y no desprende humo como la leña, no ensucia la cocina ni los alimentos (Wayllas, 2010, pág. 28). El biogás producido en este proceso posee una capacidad calorífica entre 4500 y 5600 Kcal/m³ lo cual indica que su alta fuente energética, que puede sustituir al combustible no renovable ya que un metro cubico de biogás es equivalente a 0,6 litros de gasolina.

El biogás puede utilizarse directamente como combustible en quemadores de cocinas, lámparas, como energía en diferentes electrodomésticos, así como combustible para vehículos, por ello se lo considera como un combustible alternativo para la zona rural. En el siguiente cuadro se muestra las aplicaciones del biogás. (Monar, 2009, pág. 26)

Tabla 8-1: Aplicación del biogás

Artefacto	Consumo	Rendimiento %
Quemador de cocina	300 – 600 L/h	50-60
Lámpara de gas (60W)	120 – 170 L/h	30-50
Refrigeradora de 100 L	30 – 75 L/h	20-30
Motor a gas	0,5 m ³ /kWh	25-30

Fuente: Sistemas de Energía Internacional S.A. de C.V. Aprovechamiento de los desechos sólidos municipales para la generación de Energía Eléctrica, 2008.

Tabla 9-1: Equivalencias de 1m³ de biogás con otros combustibles

1 m ³ de Biogás equivale a:	
Carbón vegetal	0,80 Kg
Leña	1,5 Kg
Diésel	0,55 L
Gasolina	0,61 L
GLP	0,45 Kg
KWh efic 20%	1,2
Alcohol carburante	0,81 L

Fuente: Manual Técnico de construcción y operación de Biodigestores modelo chino.

1.6.1 Bioabono

Otro producto del proceso de biodigestión es el bioabono, considerado como un abono orgánico natural, resultado de la fermentación de la materia orgánica, con propiedades fertilizantes excelentes que mejoran la actividad biológica de los suelos aportando vitaminas al mismo por lo mismo a los cultivos.

El bioabono no presente mal olor, ni atrae vectores como moscas, por lo que se puede aplicar directamente al suelo, o se lo puede almacenar para utilizarlo en aplicaciones posteriores. Se ha

comprobado que un metro cúbico puede fertilizar hasta dos hectáreas y hay que considerar que estos abonos orgánicos no dejan residuos tóxicos en el suelo cultivado (Verdezoto, 2013, pág. 41)

Se lo utiliza principalmente en la agricultura mejorando la estructura del suelo, estimulando la granulación lo que permite la labranza, además el bioabono permite la absorción de aire y agua, regulación de temperatura en el suelo.

1.7 Marco legal

Para el presente estudio se considera el siguiente marco legal

<i>Texto Legal</i>	<i>Artículos</i>
<i>Constitución de la República del Ecuador</i> (Ecuador, 2010, pág. 8)	<p>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, <i>sumak kawsay</i>. 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”.</p> <p>Art. 66.- “Se reconoce y garantizará a las personas:</p> <p>I27. El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza”.</p> <p>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 evolutivos. Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a</p>

los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema”.

Ley de Gestión Ambiental

(Ambiente, 2004, pág. 6)

Art. 2.- “La gestión ambiental se sujeta a los principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables y respecto a las culturas y prácticas tradicionales”.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÒGICO

2.1 Lugar de estudio

La investigación se la llevo a cabo en la Hacienda Santa Mónica ubicada en la Comunidad Atapo Santa Cruz, parroquia Palmira, cantón Guamote. Con la ayuda de un GPS se obtuvieron los datos de su latitud 754669 y longitud 9767438, altura de 3333 m.s.n.m y una temperatura de 13,5°C.



Gráfico 1-2: Ubicación del Lugar de estudio

Realizado por: Carlos Calderón. 2015

2.2 Determinación de la carga diaria de estiércol

2.2.1 Recolección de estiércol

2.2.1.1 Materiales

- Pala manual para recolectar el estiércol
- Balde de 10 litros
- Mandil.
- Balanza de 100 kg.

2.2.1.1 Método

De un total de 20 ganados vacunos que generan diariamente cada uno 10Kg de estiércol, dando un total de 200Kg, se aprovechará un 65% ya que el ganado en la mañana permanece libre en los potreros. Se seleccionaron 4 vacas adultas apartándolas en las noches en un establo desde las 18:00 pm hasta la 7:00am, recolectando en la mañana el estiércol en un balde de 10 litros con la ayuda de una pala, posteriormente se pesa con la balanza romana. El mismo procedimiento se lo realizo por 5 días consecutivos, obteniendo un valor promedio por día de 24,24 kg. La cantidad que cada vaca genera de estiércol es 6,06 kg por día.



Fotografía 1-2 Recolección de estiércol
Realizado por: Carlos Calderón 2015

2.2.2 *Preparación de materia prima*

2.2.2.1 *Materiales*

- Palas manuales
- Balde de 20 litros
- Balde de 2 litros con medida
- Agua
- Estiércol
- Bidón de agua de 20 litros
- Melaza
- Termómetro
- Embudo

2.2.2.1 *Método*

Se recolectó 6 kg de estiércol fresco lo colocamos en el balde de 20 litros para realizar la dilución 1:1, es decir se añade 6 litros de agua a 25°C mezclándolos homogéneamente sin dejar grumos; durante la mezcla se añade 0,5 litros de melaza que actuará como fuente de energía para el desarrollo de las bacterias metanogénicas. La mezcla se vacía en el bidón de agua de 20 L con la ayuda de un embudo, se toma la temperatura a la que se encuentra la dilución y se sella con la tubería. Terminado el biodigestor se lo ubica en el interior del invernadero cubriéndolo con paja para mantener la temperatura óptima y generar la degradación de la materia orgánica.





Fotografía 2-2: Elaboración de mezcla estiércol: agua
Realizado por: Carlos Calderón 2015

2.3 Implementación de biodigestor experimental

2.3.1 Construcción del invernadero y zanja

2.3.1.1 Materiales

- Vigas de madera
- Plástico de invernadero
- Clavos
- Caja de vidrio de 1m × 0,60 m
- Paja

- Termómetro

2.3.1.2 Método

Para conservar la temperatura del biodigestor y conseguir que el proceso de degradación de materia orgánica se desarrolle con mejor eficiencia, se construye una zanja representada por una caja de vidrio, dentro de esta se coloca paja seca cubriendo toda la superficie; se levanta una estructura con vigas de madera y alrededor se coloca plástico de invernadero, el cual cumple las funciones de aislante térmico. Terminada la construcción se ubicó un termómetro en el interior del invernadero al igual que en el exterior para controlar la temperatura del invernadero y ambiente.





Fotografía 3-2: Construcción de zanja e invernadero
Realizado por: Carlos Calderón 2015

2.3.2 Instalación de tuberías y válvulas

2.3.2.1 Materiales

- Tubería PVC de 1 ¼ pulgadas
- Tubería PVC de ½ pulgadas
- Reducción de 1 ¼ a ½ pulgadas
- Unión de ½ pulgadas
- Codos de ½ pulgadas
- T de ½ pulgadas
- Llaves de bola ¼ y de ½ pulgadas
- Teflón
- Taípe negro
- Manguera de gas
- Sierra
- Pegamento para tubería
- Tarraja
- Mechero bunsen

2.3.2.2 Método

Se corta una tubería PVC de 1 ¼ pulgadas en longitud de 25 cm, y tres tuberías de ½ pulgadas de 20 cm de largo, se saca rosca a las tuberías con la tarraja. La tubería de 1 ¼ se la instala en la

entrada del bidón de agua, se coloca la reducción de 1 ¼ a ½ y a esta la tubería de ½ con un codo de ½ la cual conduce a la primera llave de bola la que permitirá hacer la prueba de flama, en esta llave se anexa una T con una tubería ½ de la que sale la segunda llave de bola, se conecta la manguera de gas que conduce hacia la probeta prueba volumétrica de medición de gas. En todas las uniones e instalaciones de las tuberías se puso teflón, pegamento de tubería y taípe negro para evitar que existan fugas.



Fotografía 4-2: Construcción de la tubería
Realizado por: Carlos Calderón 2015

2.3.3 Prueba de probeta

2.3.3.1 Materiales

- Probeta 1000mL
- Manguera de gas
- Biodigestor
- Tina o recipiente grande
- Agua

2.3.3.2 Método

Luego de 19 días de mantener cerrado herméticamente el biodigestor se realiza las pruebas de probeta misma que consiste en ubicar un extremo de manguera en una de las tuberías del digestor y el otro extremo dentro de una probeta llena de agua ubicada de forma invertida dentro de una tina o recipiente grande, seguido de esto se procede a abrir la válvula permitiendo el paso del gas producido en el interior del fermentador. La existencia de gas se constata por la disminución de agua en la probeta, para conocer la cantidad generada se apunta el nivel inicial de agua en la probeta y el nivel al que llega cuando termina de pasar el gas, los resultados diarios producidos se los anota para elaborar una tabla acumulada de biogás generado que se indica en el capítulo de Resultados, en la tabla 3-4.





Fotografía 5-2: Prueba de probeta
Realizado por: Carlos Calderón 2015

2.3.4 Prueba de flama

2.3.4.1 Materiales

- Manguera de gas
- Biodigestor
- Fósforo

2.3.4.2 Método

La prueba de flama se la realiza colocando un extremo de manguera en una de las tuberías del digestor y el otro extremo se lo deja libre; se abre la válvula para permitir el paso de gas y se enciende un fósforo acercándolo a la manguera, si existe salida de gas se formará una llama de color amarillo el tamaño de la misma depende de la cantidad de biogás generado.



Fotografía 6-2: Prueba de flama
Realizado por: Carlos Calderón 2015

2.4 Cálculos

2.4.1 *Biodigestor experimental*

Para la obtención de biogás a partir del biodigestor experimental se utilizó tomó una muestra de 6 Kg representada de la siguiente manera:

Tabla 1-3: Cantidad de excretas diarias

Cantidad de Estiércol producido por 4 vacas	
N° día	Kg
1	24,1
2	23,9
3	24,5
4	24,3
5	24,4
Promedio	24,24

Realizado por: Carlos Calderón. 2015

$$C = \frac{P}{N^{\circ} g} \frac{K}{d}$$

$$C = \frac{24,24K}{4} \text{ /día}$$

$$C = 6,0 \text{ /día}$$

2.4.1.1 Carga diaria

La cantidad de sustrato que ingresa diariamente al biodigestor se lo determina por la relación 1:1 entre el estiércol y agua, es decir en partes iguales.

Siguiendo la Ec.1 tenemos:

$$C_{d1} = S(K) + H_2O(K)$$

$$C_{d1} = 6 \left(\frac{K}{d} \right) + 6(K)$$

$$C_{d1} = \frac{12K}{d}$$

2.4.1.2 Volumen líquido

Para la determinación del volumen de biodigestor se considera el **tiempo de retención** hidráulica que para el caso experimental es de 46 días, tiempo en que se generó la mayor cantidad de biogás.

Para el cálculo del volumen líquido se usa la fórmula 3:

$$V_L = C_{d1} \times T_R$$

$$V_L = 12 \frac{K}{d} \times 46 d$$

$$V_L = 552K$$

$$V_L = 0,5 \text{ m}^3$$

2.4.1.3 Volumen de metano producido

El volumen total del biodigestor almacena un espacio de 75% de la parte líquida y el 25% de fase gaseosa, por ello se aplica la Ec.4:

$$V_G = \frac{0,25}{0,75} \times V_L$$

$$V_G = \frac{0,25}{0,75} \times 0,552 m^3$$

$$V_G = 0,1 \quad m^3$$

2.4.1.4 Volumen total

El volumen total de biodigestor se lo calcula mediante la aplicación de la Ec. 2:

$$V_T = V_L + V_G$$

$$V_T = (0,552 + 0,184) m^3$$

$$V_T = 0,7 \quad m^3$$

Con los datos obtenidos para el biodigestor experimental se realizan los respectivos cálculos para el número total de ganados vacunos que cuenta la Hacienda de la siguiente manera.

2.4.2 Biodigestor proyectado

2.4.2.1 Carga diaria

La cantidad de estiércol generada por ganado vacuno diariamente es 6 kg, para conocer la cantidad de estiércol de 20 ganados vacunos se realiza la operación siguiente:

$$C = K \cdot d \cdot e \cdot p \cdot g \times N^{\circ} d \cdot g \cdot v$$

$$C = 6 K \times 20 g$$

$$C = 1 \quad /d$$

Al igual que para el biogestor experimental se aplica la Ec. 1 para determinar la cantidad de mezcla diaria que ingresa.

$$C_{ed} = C (K /d) + H_2O(K)$$

$$C_{ed} = 120(K /d) + 120(K)$$

$$C_{ed} = 2 \quad /d$$

2.4.2.2 Volumen líquido

El tiempo de retención que permitirá determinar el volumen de diseño del biodigestor es 46 días. Se utiliza la Ec. 3:

$$V_L = C_{ed} \times T_R$$

$$V_L = 240K /d \times 46 d$$

$$V_L = 11040K$$

$$V_L = 1,0 \text{ m}^3$$

2.4.2.3 Volumen de metano producido

Con la finalidad de conocer cuál es la cantidad de metano producido se aplica la Ec. 4, que dice que todo biodigestor tiene un espacio de 75% de parte líquida y el 25% de fase gaseosa.

$$V_G = \frac{0,25}{0,75} \times V_L$$

$$V_G = \frac{0,2}{0,7} \times 11,04 m^3$$

$$V_G = 3,6 m^3$$

Con el resultado del volumen líquido y de metano producido se obtiene el **Volumen total** aplicando la Ec. 2:

$$V_T = V_L + V_G$$

$$V_T = (11,04 + 3,68) m^3$$

$$V_T = 14,72 m^3$$

2.4.2.4 Diámetro y longitud del biodigestor

Con el resultado del volumen total se pueden determinar las dimensiones respectivas para el biodigestor que se implementará en la Hacienda, para ello se hace uso de las Ec. 6 y 7.

Según la tabla 6-1 (Parámetros según el ancho del rollo del plástico), para un ancho de 2m el perímetro es de 4m.

$$D = \frac{P}{\pi}$$

$$D = \frac{4 m}{\pi}$$

$$D = 1,27 m$$

Para el cálculo de la longitud se considera como un cilindro al biodigestor y se aplica la fórmula siguiente:

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

$$L = \frac{4 \times 14,72 \text{ m}^3}{\pi \times (1,27\text{m})^2}$$

$$L = 1,5\text{t}$$

2.4.2.5 Volumen del reservorio de biogás

Según la Ec. 9 se obtiene lo siguiente:

$$V_R = \frac{V_T}{5}$$

$$V_R = \frac{14,72\text{m}^3}{5}$$

$$V_R = 2,9 \text{ m}^3$$

Se considera que se debe determinar la longitud que tendrá el tanque reservorio aplicando la Ec. 7.

$$L_D = \frac{4 \times V_T}{\pi D^2}$$

$$L_D = \frac{4 \times 2,90 \text{ m}^3}{\pi \times (1,27\text{m})^2}$$

$$L_D = 2,2\text{t}$$

2.4.2.6 Cantidad de energía consumida por la hacienda

En la hacienda se consume mensualmente un promedio de 2 tanques de 15Kg de GLP usados en la cocina.

Cantidad de GLPS en m³ de biogás

$$\begin{aligned} 2 \text{ tanques de GLP de } 15 \text{ Kg} &= 2 \times 15 \text{ Kg} \\ &= \mathbf{30 \text{ Kg}} \end{aligned}$$

Considerando la tabla 8

$$\begin{aligned} \text{Consumo de Biogás} &= \frac{30 \text{ Kg}}{m} \times \frac{1 \text{ m}^3 \text{ b}}{0,45 \text{ Kg}} \\ &= \mathbf{6,6 \text{ m}^3 \text{ b}} \end{aligned}$$

Cantidad de energía en m³ de biogás

160 KWH al mes

De la tabla 8

$$\begin{aligned} \text{Consumo de Biogás} &= \frac{160 \text{ K}}{m} \times \frac{1 \text{ m}^3 \text{ b}}{1,2 \text{ K}} \\ &= \mathbf{1,3 \text{ m}^3 \text{ b}} \end{aligned}$$

Cantidad total consumida en la hacienda

$$\mathbf{6,6 \text{ m}^3 + 1,3 \text{ m}^3 = 7,9 \text{ m}^3 \text{ b}} \text{ á s a m}$$

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Cálculos de diseño

Tabla 1-4: Cálculos de diseño del biodigestor

Parámetro	Abreviatura	Resultado	Unidad
Tiempo de retención	T_{RH}	46	Días
Cantidad de excretas diarias	C_{ed}	120	Kg/d
Carga diaria	C_d	240	Kg/d
Volumen líquido	V_l	11,04	m^3
Volumen de metano	V_G	3,68	m^3
Volumen total de biodigestor	V_{TD}	14,72	m^3
Diámetro	D	1,27	m
Longitud	L	11,56	m
Volumen del reservorio	V_{RD}	2,90	m^3
Longitud del reservorio	L_R	2,27	m

Realizado por: Carlos Calderón 2015

3.2 Temperaturas promedio obtenidas del ambiente e invernadero

Tabla 2-4: Temperaturas obtenidas para el tiempo de retención

Fecha	Temperatura Ambiente °C	Temperatura invernadero °C
20/04/2015	8,5	13
21/04/2015	8	13
22/04/2015	10	15
23/04/2015	13	17
24/04/2015	10	15,5
25/04/2015	10	15
26/04/2015	12	16
27/04/2015	11	16
28/04/2015	13	18,5
29/04/2015	12	18
30/04/2015	11	17
01/05/2015	15	19
02/05/2015	9	14
03/05/2015	9,5	14
04/05/2015	10,5	15
05/05/2015	11	14
06/05/2015	11	14,5
07/05/2015	13	16,5
08/05/2015	12	16
09/05/2015	10	15
10/05/2015	10	16
11/05/2015	12	16,5
12/05/2015	13	17
13/05/2015	11	16
14/05/2015	11	16
15/05/2015	10	16
16/05/2015	13	16,5
17/05/2015	12	17
18/05/2015	10,5	16

19/05/2015	10	14
20/05/2015	8	12,5
21/05/2015	8,5	13
22/05/2015	10	15
23/05/2015	13	17
24/05/2015	11	16
25/05/2015	11	16
26/05/2015	13	17
27/05/2015	13	17
28/05/2015	14	18
29/05/2015	14,5	19
30/05/2015	14	19
31/05/2015	13	17
01/06/2015	13	16
02/06/2015	14	16
03/06/2015	12	15
04/06/2015	10	15
05/06/2015	10	15
06/06/2015	11	15
07/06/2015	13	18
08/06/2015	12	16
09/06/2015	13	16,5
10/06/2015	11,5	15
11/06/2015	12	16
12/06/2015	12	15,5
13/06/2015	11	16
14/06/2015	13	17
15/06/2015	12	17
16/06/2015	10,5	15
17/06/2015	12	16
18/06/2015	11	15
19/06/2015	10	14
20/06/2015	9,5	14

Realizado por: Carlos Calderón. 2015

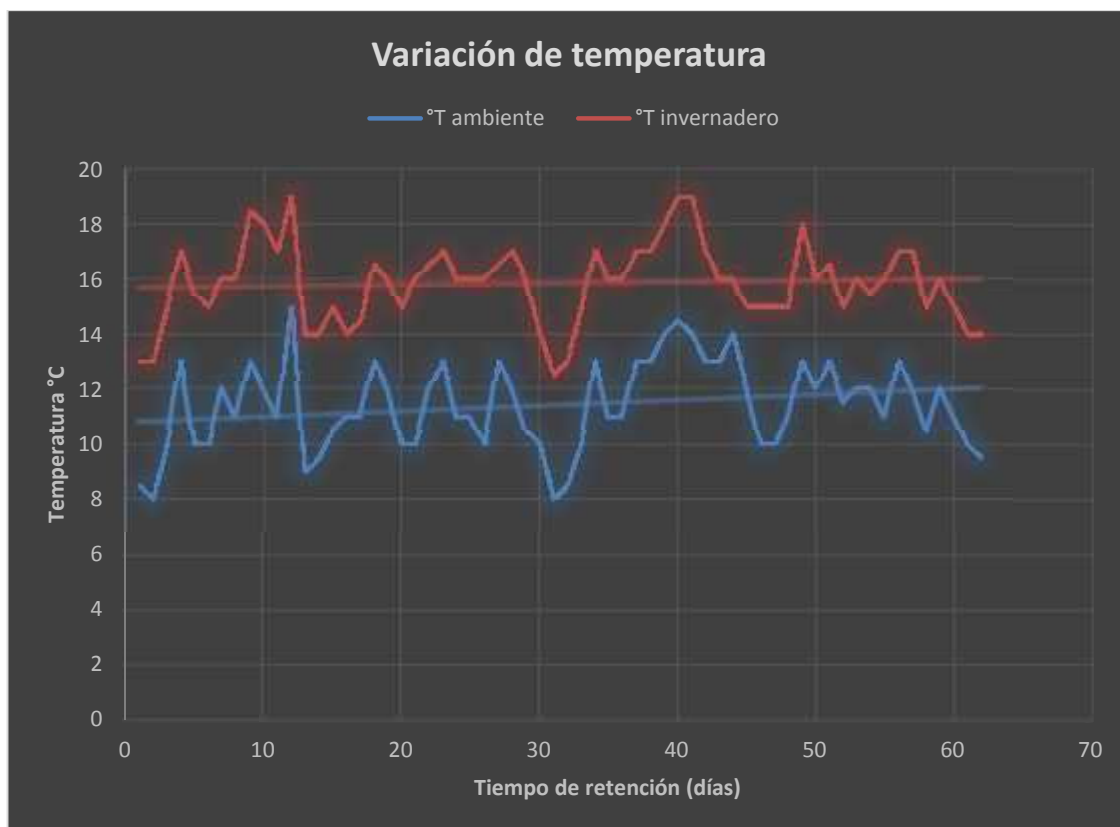


Figura 1-4: Variación de temperatura
Realizado por: Carlos Calderón 2015

3.3 Producción acumulada de biogás

Tabla 3-4: Producción diaria y acumulada de biogás

Fechas	Día	Volumen diario CH4 (mL)	Volumen CH4 acumulado (mL)
20/04/2015	1	0	0
21/04/2015	2	0	0
22/04/2015	3	0	0
23/04/2015	4	0	0
24/04/2015	5	0	0
25/04/2015	6	0	0
26/04/2015	7	0	0
27/04/2015	8	0	0
28/04/2015	9	0	0
29/04/2015	10	0	0

30/04/2015	11	0	0
01/05/2015	12	0	0
02/05/2015	13	30	30
03/05/2015	14	30	60
04/05/2015	15	50	110
05/05/2015	16	50	160
06/05/2015	17	70	230
07/05/2015	18	100	330
08/05/2015	19	100	430
09/05/2015	20	130	560
10/05/2015	21	150	710
11/05/2015	22	160	870
12/05/2015	23	190	1060
13/05/2015	24	250	1310
14/05/2015	25	0	1310
15/05/2015	26	260	1570
16/05/2015	27	300	1870
17/05/2015	28	310	2180
18/05/2015	29	350	2530
19/05/2015	30	350	2880
20/05/2015	31	360	3240
21/05/2015	32	400	3640
22/05/2015	33	430	4070
23/05/2015	34	470	4540
24/05/2015	35	470	5010
25/05/2015	36	500	5510
26/05/2015	37	530	6040
27/05/2015	38	550	6590
28/05/2015	39	600	7190
29/05/2015	40	0	7190
30/05/2015	41	650	7840
31/05/2015	42	680	8520
01/06/2015	43	700	9220
02/06/2015	44	730	9950
03/06/2015	45	760	10710
04/06/2015	46	780	11490
05/06/2015	47	440	11930
06/06/2015	48	450	12380
07/06/2015	49	420	12800
08/06/2015	50	400	13200
09/06/2015	51	310	13510

10/06/2015	52	275	13785
11/06/2015	53	240	14025
12/06/2015	54	200	14225
13/06/2015	55	170	14395
14/06/2015	56	120	14515
15/06/2015	57	90	14605
16/06/2015	58	90	14695
17/06/2015	59	65	14760
18/06/2015	60	50	14810
19/06/2015	61	50	14860
20/06/2015	62	35	14895

Realizado por: Carlos Calderón 2015

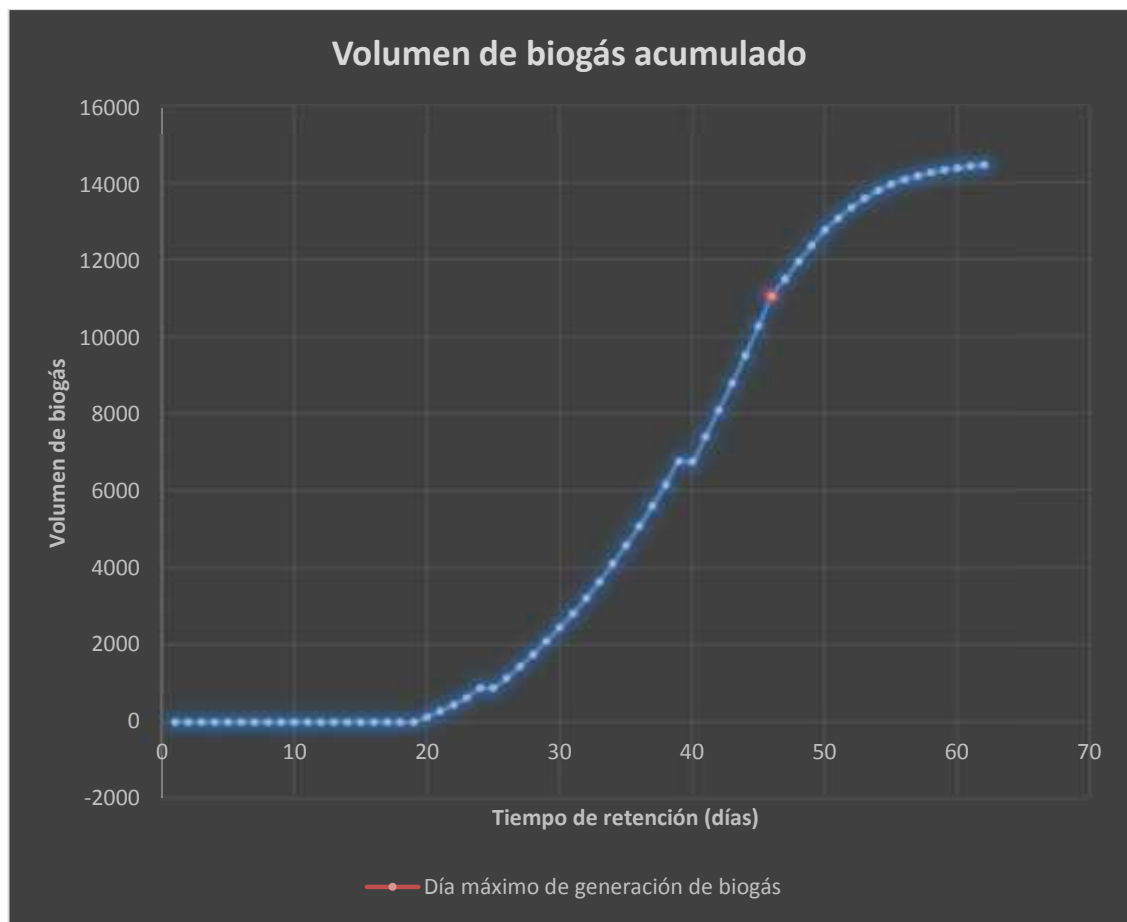


Figura 2-4: Producción acumulada de metano

Realizado por: Carlos Calderón 2015

3.4 Discusión de resultados

La medición de temperatura se realizó durante los 62 días que permaneció la materia prima dentro del biodigestor experimental obteniendo resultados variables por las condiciones climáticas ambientales de la zona; por lo tanto se implementó un invernadero que permitió incrementar la temperatura y acelerar el proceso de degradación biológica, cuyos resultados se los observa en la tabla 2-4.

El día 20 de abril de 2015 se implementa el biodigestor experimental iniciando con el proceso de digestión; desde esta fecha hasta el día 07 de mayo del 2015 se mantiene el biodigestor completamente hermético, cumpliendo con la primera fase de degradación. A partir del día 19 hasta el día 62 se realiza diariamente la prueba de la probeta con lo que se determina la cantidad de gas generado en el biodigestor experimental. Los días 25 y 40 se realizan la prueba de flama, lo cual mediante la presencia de una llama de color amarillo intenso y un amarillo con una base azuleada respectivamente nos indica que se genera biogás; en estos día no se obtuvo un valor cuantitativo, ya que la cantidad generada se consumió en la prueba de flama, lo cual podemos visualizar en la Tabla 3-4.

Por la periodicidad de las pruebas de la probeta, en el día 46 se observa la mayor cantidad de gas generado, siendo este el tiempo de retención considerado para realizar los cálculos correspondientes de la proyección del biodigestor familiar. En la Figura 2-4 se observa la curva de biogás acumulado indicando el día máximo de generación.

La Hacienda Santa Mónica consume dos tanques de 15Kg de GLP y 160KWH de energía al mes que es igual al 199,99m³ de biogás mensual, valor que se necesita para cubrir el 100% de uso en la propiedad. Con la cantidad de ganado vacuno que posee la hacienda la generación de biogás será de 3,68 m³ diarios (110,40 m³ al mes) lo cual cubrirá el 55,2 % del total requerido.

CONCLUSIONES

- El diseño del biodigestor tubular se terminó con satisfacción gracias a las facilidades brindadas por la administración de la Hacienda Santa Mónica, a la disponibilidad de materia orgánica y condiciones climáticas de la zona de intervención.
- Con la implementación del biodigestor experimental en la Hacienda Santa Mónica se comprueba que el estiércol de ganado vacuno cumple las características para la generación de biogás, ya que se obtuvo un total de 14465 mL de biogás en un tiempo de retención de 46 días con 12 Kg de carga diaria y a una temperatura promedio de 16°C misma que se logró incrementar en un promedio de 6°C respecto a la temperatura ambiente gracias a la construcción de un invernadero
- Realizado el biodigestor experimental y mediante la aplicación de técnicas cuantitativas y cálculos se determinó los diferentes parámetros de diseño del biodigestor como son: volumen total 14,72m³, longitud 11,56m, diámetro de 1,27m, con una carga de 240Kg, y una producción diaria de 3,68 m³ lo que permitirá cubrir el 55,2% del consumo familiar en la hacienda.
- A partir de estos resultados se diseñan los planos del biodigestor que permitirán al propietario la posterior construcción e implementación en la hacienda consiguiendo la disminución de residuos orgánicos (excretas de ganado) convirtiéndolos en materia prima utilizada para generar productos como biogás y bioabono.

RECOMENDACIONES

- El biodigestor debe ubicarse en un lugar cercano al establo donde se recolectará el estiércol y a la vivienda que va a utilizar el biogás producido, con la finalidad de optimizar costos en las tuberías de instalación.
- Para facilitar la mezcla de dilución se debe tener una fuente de agua cercana y evitar la contaminación cruzada.
- El terreno en donde se ubicará el biodigestor debe ser amplio, limpio de escombros y libre de sombra para obtener mayor cantidad de rayos solares y temperatura.
-

BIBLIOGRAFÍA

1. **BAUTISTA BUHIGAS, Alejandro.** *Sistema biodigestor para el tratamiento de desechos orgánicos (en línea).* (Tesis pregrado) Universidad Carlos III de Madrid, Estelí, Nicaragua. 2010. pp. 25-28. [Consulta: 10 noviembre 2014]. Disponible en: <http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10807/PFC%20Alejandro%20Bautista%20Buhigas.pdf?sequence=1>
2. **BERMÚDEZ, J.** *Digestión anaerobia.* Murcia - España: Secretario de publicaciones, 1988. pp. 13-19.
3. *Biodigestores de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas* [en línea]. Argentina: R. Botero, 1987.[Consulta: 18 noviembre 2014]. Disponible en: <http://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/04-biodigestores.pdf>
4. *Biodigestores de polietileno: construcción y diseño* [en línea]. Argentina, 2007. [Consulta: 20 enero 2015]. Disponible en: <http://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/11-polietileno.pdf>
5. *Biodigestores familiares, guía de diseño y manual de instalación. Biodigestores de polietileno tubular de bajo costo para trópico, valle y altiplano* [en línea].La Paz: J. Martí, 2008. [Consulta: 11 enero 2015]. Disponible en: <http://www.mienergiagratis.com/proyectos/59.pdf> .
6. **CASTELLS, X.** *Tratamiento y valorización energética de residuos* . Madrid - España: Días de Santos, 2005, pp. 95.

7. ***Constitución de la República del Ecuador*** [en línea]. Quito - Ecuador, 2008 [Consulta: 20 enero 2015]. Disponible en: <http://documentacion.asambleanacional.gob.ec/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/46f86955-7590-4b57-95c3-61add786d93c/Constitucion%2bReforma.pdf>

8. **CRIOLLO QUIZHPI, Erika Carmen, & GUZMÁN GUARACA, Adriana Catalina.** *Elaboración de un biodigestor piloto tubular para la producción de biogás a partir estiércol de ganado vacuno, en una vivienda de la comunidad de Tembo.* [en línea] (Tesis Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Chimborazo, 2014. pp. 29-31. [Consulta: 24 enero 2015]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/3398/1/236T0092.pdf>

9. **DOROTEO OTLICA, Juan Carlos.** *Aprovechamiento de biogás proveniente del abono de ganado vacuno en un establo ubicado en Ixtapaluca estado de México* [en línea] (tesis). (Maestría), Instituto Politécnico Nacional, Distrito Federal, México. 2012. pp. 19-21. [Consulta: 15 enero 2015]. Disponible en: <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/5606/Juan%20Carlos%20Doroteo%20Otllica.pdf?sequence=1>

10. ***Evaluación de la productividad y del efluente de biodigestores suplementados con grasas residuales*** [en línea] Guácimo-Costa Rica: E. Diaz, 2006. [Consulta: 20 noviembre 2014]. Disponible en: <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/dpg/29-06.pdf>

11. ***Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales*** [en línea]. Lima: A. Guevara, 1996. [Consulta: 20 enero 2015]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/031042/031042.pdf>

12. ***Fundamentos para el diseño de biodigestores, construcciones agrícolas*** [En línea]. Palmira - Colombia: Y. Olaya, 2009. [Consulta: 13 enero 2014]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/7967/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf>

13. **GUERRERO MAXI, Clara Daniela, & INGA CHACÓN, Erika Tamara, & SAMANIEGO CALLE, Fabián Eduardo.** *Optimización de un biodigestor en la depuración de agua residual con estiércol de ganado bovino* [en línea] (tesis pregrado) Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2011. pp. 58-69. [Consulta: 19 enero 2015]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1215>

14. **LARA GUILCAPI, Edwin Sebastián, & HIDALGO CHIMBORAZO, María Belén.** *Diseño de un biorreactor y conducción del biogás generado por las excretas de ganado vacuno* [en línea] (tesis pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2011. pp. 28-37. [Consulta: 14 enero 2015]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1652/1/236T0056.pdf>

15. **Ley de Gestión Ambiental** [en línea]. Quito - Ecuador, 2004. [Consulta: 16 enero 2015]. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTION-AMBIENTAL.pdf>

16. **Manual de Biogás** [en línea]. Santiago de Chile: M. Varnero, 2011. [Consulta: 24 enero 2014]. Disponible en: http://www.olade.org/sites/default/files/CIDA/Biocomustibles/FAO/manual_biogas.pdf

17. **Manual de información y la construcción de biodigestores para familias rurales** [En línea]. Honduras: Fundación cosecha Sostenible Honduras FUCOSOH, 2010 [Consulta: 23 enero 2015]. Disponible en: http://www.sustainableharvest.org/downloads/Biogas_Digester_Manual_Spanish.pdf

18. **Metanogénesis** [en línea] Valledupar - Colombia, 2011 [Consulta: 13 enero 2015]. Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358010/exe/leccin_29_metanognesis.html

19. **Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino** [en línea]. La Habana - Cuba, 2011 [Consulta: 17 noviembre 2014]. Disponible en: <http://vufind.uniovi.es/Record/oai%3Aadoaj.orgarticle%3Aaeddfdd09fe54f9ea8faedf979a9e10a>

20. **MONAR CASTILLO, Ulises Riquelme.** *Diseño de un biodigestor para una finca del recinto San Luis de las Mercedes del cantón Las Naves-Provincia de Bolívar.* [en línea] (tesis pregrado) Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 2009. pp. 9, 18-26. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/13521>

21. **Obtenido de Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas** [en línea]. Cuba: J. Guardado, 2007. [Consulta: 2 febrero 2015]. Disponible en: http://www.ideassonline.org/public/pdf/CUBASOLAR_Diseno_y_construccion_de_plantas_de_biogas.pdf

22. **PACA TELENCHANO, Fanny Indalicia.** *Diseño de un biodigestor de bolsa flexible con desechos de ganadería, en la comunidad Shobol Llin Llin, 2013.* [en línea] (tesis Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Chimborazo, 2013. pp. 22-28. [Consulta: 25 enero 2015]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3278/1/236T0087.pdf>

23. **Producción de biogás a partir de residuos gástrico ruminal de ganado bovino en trópico húmedo** [en línea]. Tabasco - México, 2006 [Consulta: 15 noviembre 2014]. Disponible en: <http://www.revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab/article/view/407/328>

24. **Producción de Biogás y biol a partir de excretas de ganado, experiencias en la ciudad de Tacna** [En línea]. Tacna: J. Salazar, 2012. [Consulta: 14 enero 2015]. Disponible en: <http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2013/01/6.pdf>

25. **SANCHEZ MENA, Milton Vinicio & PAZMIÑO GARZÓN, Germán Alexander.** *Diseño y construcción de un biodigestor plástico de flujo continuo a partir de desechos orgánicos para la Hacienda San Antonio de IASA II, perteneciente a la ESPE* [en línea] (tesis pregrado). Escuela Superior Politécnica del Ejercito, Sangolqui, Ecuador, 2007. pp. 76-87. [Consulta: 20 enero 2015]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2227>
26. **VERDEZOTO CARVAJAL, Darwin Eduardo.** *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 de Manduro* [en línea] (tesis pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2014. pp. 34-41. [Consulta: 25 enero 2015]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3279/1/236T0088.pdf>
27. **WAYLLAS PAZMIÑO, Juan Pablo.** *Diseño de un biorreactor chino anaerobio a partir del estiércol vacuno en la comunidad el Olivo-Pallatanga.*[en línea] (tesis Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Chimborazo, 2012. pp. 27-28. [Consulta: 25 enero 2015]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1633?mode=full>

ANEXOS

ANEXO A: Manual de mantenimiento

OBJETIVO

El objetivo del presente manual es establecer las directrices para una correcta y adecuada operación del biodigestor tubular, con el fin de generar y obtener cantidad y calidad de biogás.

ALCANCE

El alcance del presente manual es para los habitantes de la Hacienda “Santa Mónica” propiedad del Señor Cesar Tello quienes son los beneficiarios de la implementación del biodigestor.

REFERENCIAS

El manual se lo ha elaborado según las recomendaciones expuestas por Botero Raúl y Preston Thomas autores de “Biodigestores de bajo costo para la producción de combustible y fertilizantes a partir de sus excretas. Manual para su instalación, operación y mantenimiento”

RESPONSABILIDADES

La responsabilidad del mantenimiento del biodigestor implementado es del propietario de la Hacienda “Santa Mónica” y de todos los habitantes de la misma que son beneficiarios del proyecto.

DESCRIPCION DE LA ACTIVIDADES

SELECCIÓN DEL SITIO

- El biodigestor debe estar ubicado entre la cocina y el establo donde se encuentra el ganado, con la finalidad que la recolección del estiércol fresco sea más fácil y se economice en la instalación de tuberías.
- Seleccionar adecuadamente el sitio de excavación de la zanja, que sea un terreno estable y alejado del paso de vehículos. En zonas de pendiente acondicionar con cunetas alrededor para evitar que ingrese agua.
- Construida la zanja se quitaran piedras, raíces y obstáculos que puedan dañar el plástico y el fondo de la zanja deberá contener arena o paja en donde se ubicará el biodigestor.
- La zanja del biodigestor debe tener una cubierta o invernadero que impide la entrada de agua lluvia y rayos ultravioletas del sol directamente al plástico de polietileno para evitar su deterioro, así como del frío, por ello se lo debe ubicar de este a oeste.

CONSIDERACIONES GENERALES

- Evitar el ingreso de basuras, piedras, hojas que puedan tapan la tubería de entrada y dañar el plástico disminuyendo la vida útil del biodigestor.
- Cargar el biodigestor con la mezcla de estiércol: agua diariamente, evitando la entrada excesiva de agua.
- Revisar periódicamente el estado del biodigestor, es decir que no tenga hoyos ni fugas.
- Eliminar las acumulaciones de agua sobre el techo de biodigestor para evitar que los rayos solares dañen el mismo.
- Evitar ondulaciones en la manguera que conduce el biogás generado colocando una T para poder drenar el agua acumulada.
- Examinar la conducción de gas para detectar fugas en las uniones de las tuberías y en la válvula de seguridad.

- El reservorio debe estar cerca de la cocina y bajo techo para preservar su vida útil

Para el buen mantenimiento del biodigestor se debe atender las siguientes partes:

- La válvula de seguridad que se la elabora con una botella plástica llena de agua permite escapar el exceso de gas, por eso es necesario tenerla siempre llena.
- El filtro para eliminar el olor de ácido sulfhídrico que está hecho de lana de hierro se debe cambiar cuando se sienta el olor a gas en la cocina.

REPARACIÓN DEL BIODIGESTOR

- En caso de ruptura del plástico se lo puede parchar con lámina de hierro de 3mm de grosor y pedazos de neumáticos que deben cubrir el tamaño del hueco. Se debe unir la lámina con un pedazo de neumático perforado para el paso de tornillos; Se dobla el plástico en dos capas cubriendo el hueco, se coloca de un lado y del otro las láminas junto con los pedazos de neumáticos perforados ajustándolos con tornillos.

ANEXO B: Ubicación del lugar de estudio e implementación del biodigestor



Hacienda Santa Mónica



Medición del corral/establo de la Hacienda



Lugar en donde se implementaría el biodigestor

ANEXO C: Toma de temperatura en el invernadero

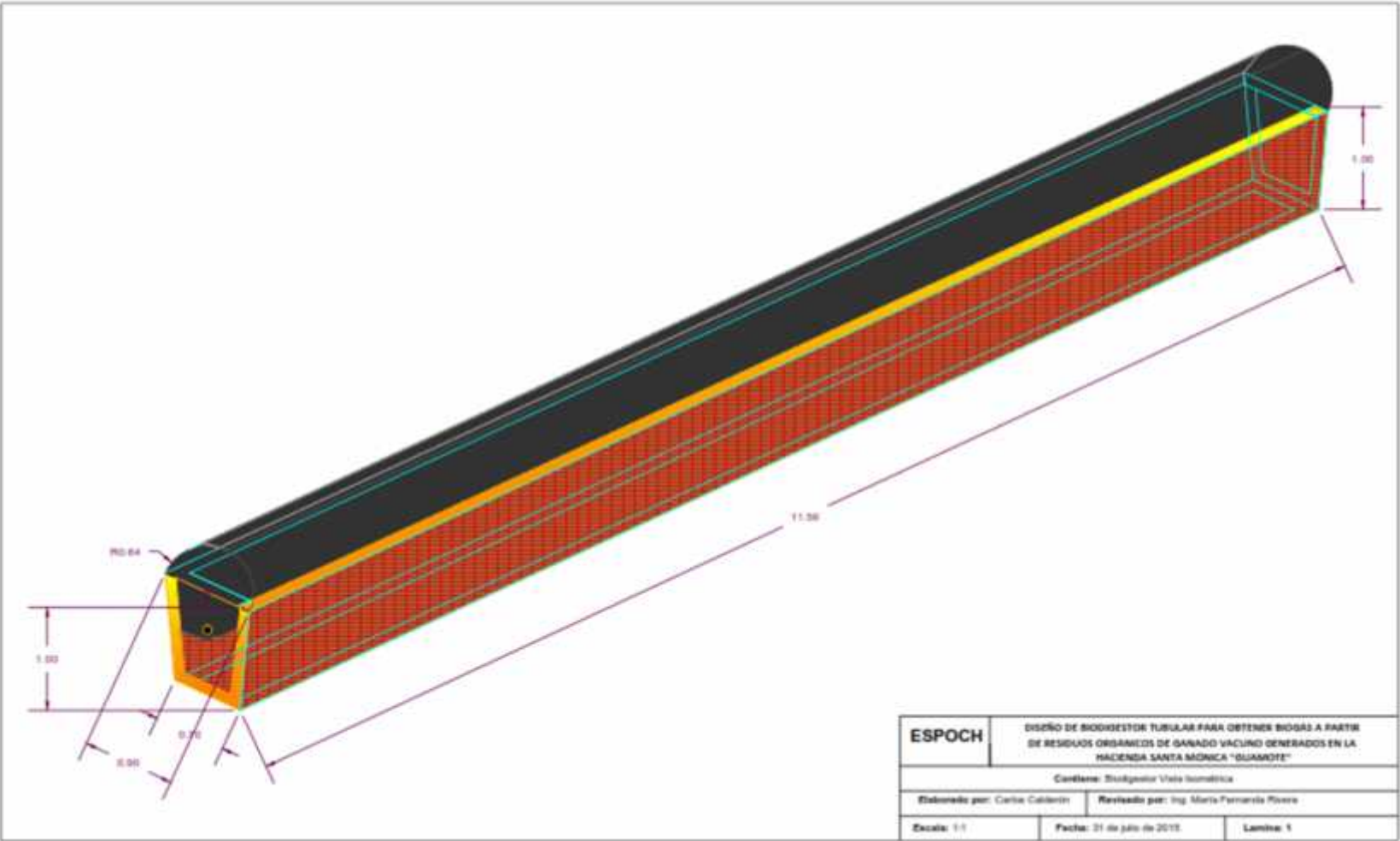


Termómetro ubicado en el interior del invernadero

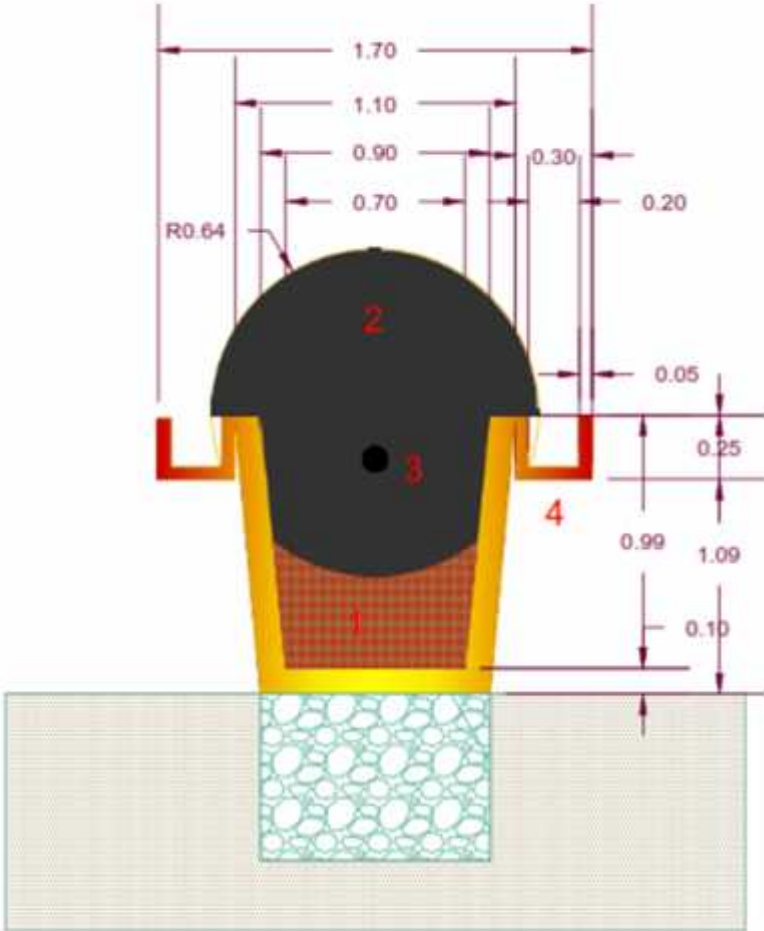
ANEXO D: Ganado de la hacienda



ANEXO E: Biodigestor Vista Isométrica



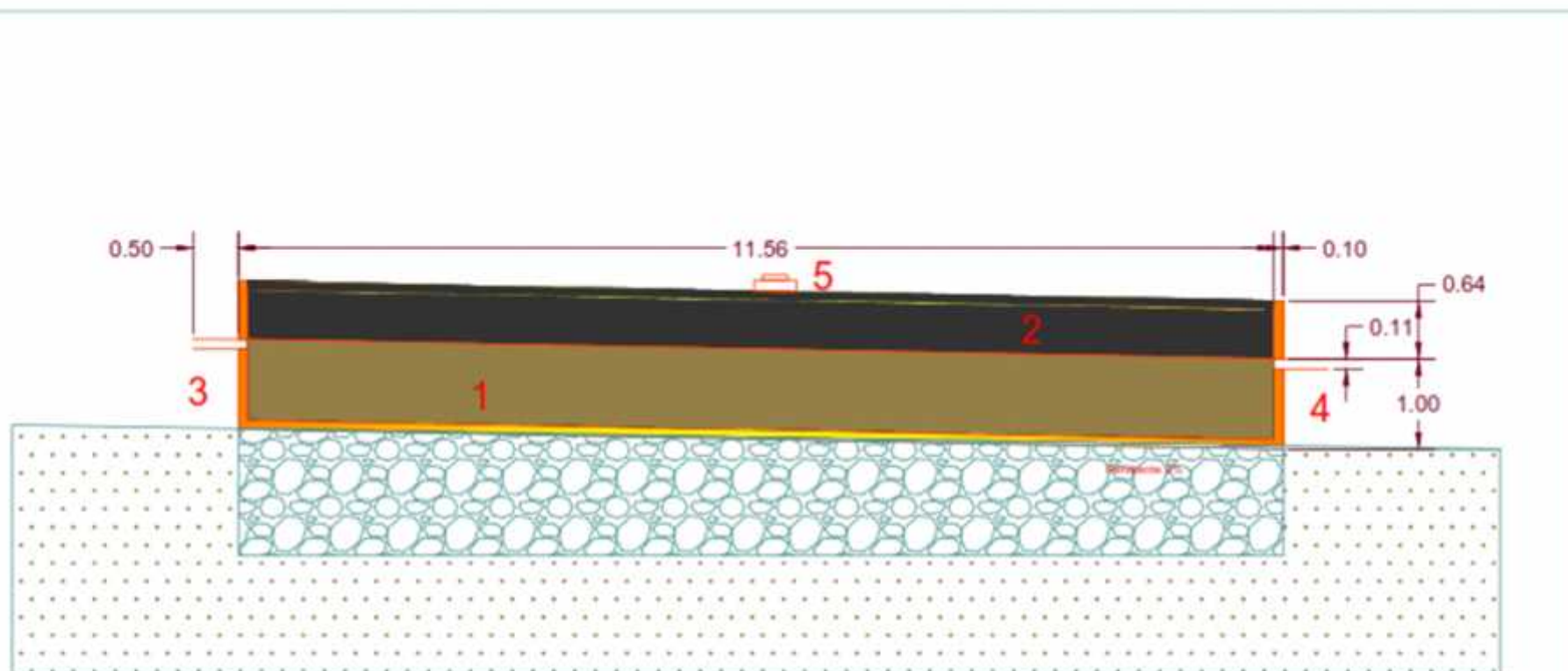
ANEXO F: Biodigestor Vista Frontal



LEYENDA
1.- Zanja del Biodigestor
2.- Biodigestor
3.- Tubería de Entrada de sustrato
4.- Canaletas

ESPOCH	DISEÑO DE BIODIGESTOR TUBULAR PARA OBTENER BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE GANADO VACUNO GENERADOS EN LA HACIENDA SANTA MONICA "SIJAMATE"	
	Contiene: Biodigestor Vista Frontal	
Elaborado por: Carlos Cobarrubias	Revisado por: Ing. María Fernanda Rivera	
Escala: 1:1	Fecha: 01 de julio de 2015	Lámina: 2

ANEXO G: Biodigestor Vista Lateral



LEYENDA

- 1.- Zanja del Biodigestor
- 2.- Biodigestor
- 3.- Tubería de Entrada de sustrato
- 4.- Tubería de Salida de sustrato
- 5.- Válvula de salida del Biogás

ESPOCH

DISEÑO DE BIODIGESTOR TUBULAR PARA OBTENER BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE GANADO VACUNO GENERADOS EN LA HACIENDA SANTA MONICA "GUAMOTE"

Contiene: Biodigestor Vista Lateral

Elaborado por: Carlos Calderón

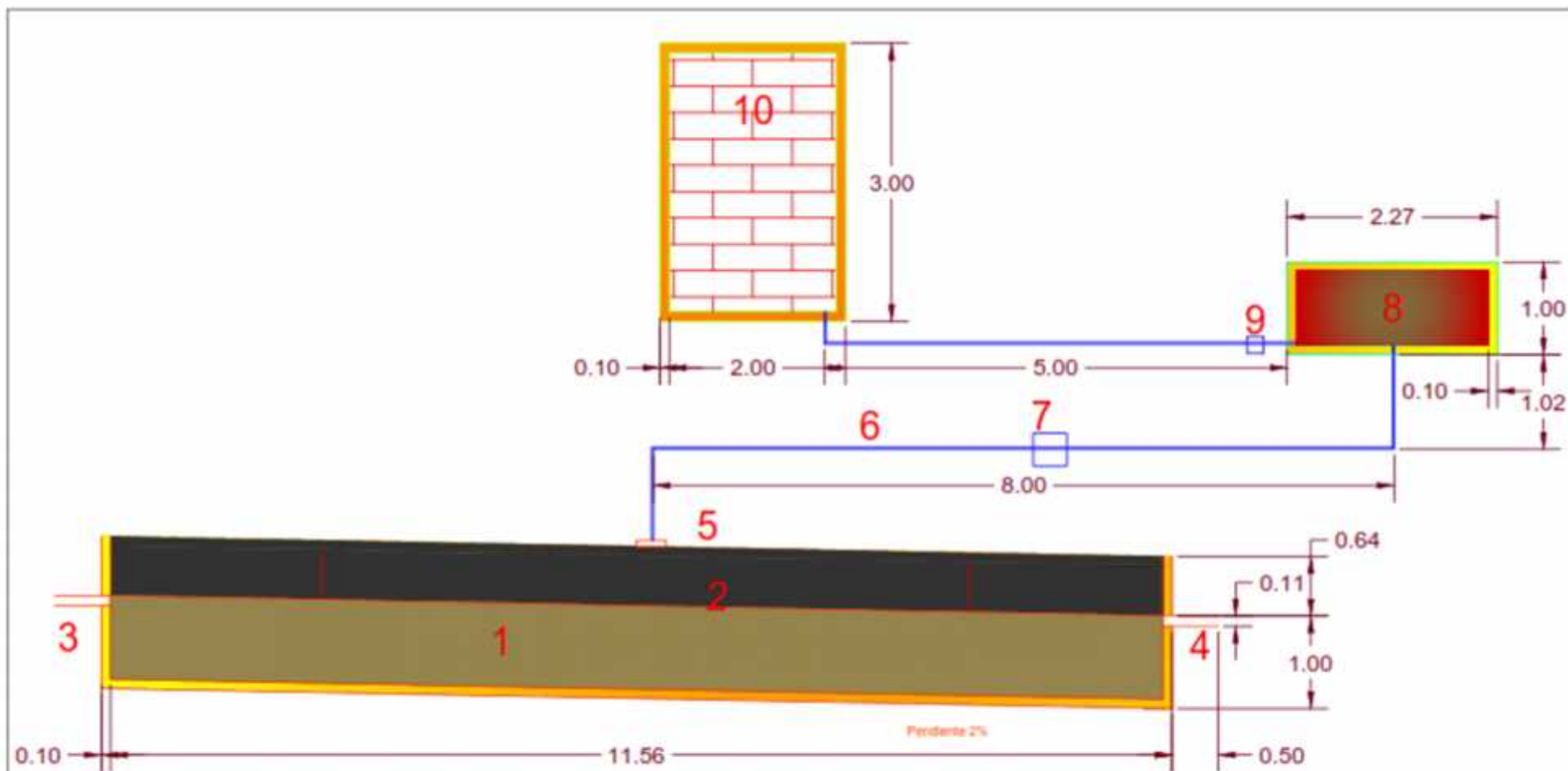
Revisado por: Ing. María Fernanda Rivera

Escala: 1:1

Fecha: 31 de julio de 2015

Lamina: 3

ANEXO H: Distribución de Biogás



- 1.- Zanja del Biodigestor
- 2.- Biodigestor
- 3.- Tubería de Entrada de sustrato
- 4.- Tubería de Salida de sustrato
- 5.- Válvula de salida del Biogás

LEYENDA

- 6.- Tubería de Distribución de Biogás
- 7.- Válvula de Seguridad
- 8.- Tanque Reservorio de Biogás
- 9.- Válvula de peso
- 10.- Cocina

ESPOCH

DISEÑO DE BIODIGESTOR TUBULAR PARA OBTENER BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE GANADO VACUNO GENERADOS EN LA HACIENDA SANTA MONICA "GUAMOTE"

Condiana: Distribución de Biogás (Biodigestor - Cocina)

Elaborado por: Carlos Calderín

Revisado por: Ing. María Fernanda Rivera

Escala: 1:1

Fecha: 31 de julio de 2015

Lamina: 4