



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**“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 de Grado Previo a la Obtención del Título de:

INGENIERAS EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

CRIOLLO QUIZHPI ERIKA CARMEN

GUZMÁN GUARACA ADRIANA CATALINA

Riobamba-Ecuador

2014

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis Padres Víctor y Luisa ya que son el principal pilar en mi vida y me enseñaron a valorar el amor, esfuerzo y comprensión que siempre me brindaron.

A mis hermanos Melania y Bryan porque con ellos he vivido grandes alegrías y tristezas que reafirmaron mi mente y mi corazón, a Jeremy mi querido sobrino que al cuidarlo mi responsabilidad se duplicó.

A Abigail y Maritza las mejores amigas del mundo que alegraron mis días con sus ocurrencias.

Erika Criollo

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mis padres Elvia y Luis que ha estado conmigo siempre apoyándome y dándome ánimos para seguir adelante.

A mis hermanos ya que siempre hemos estado iguales ayudándonos y superando cada adversidad, obstáculo que se nos ha presentado

.

Adriana Guzmán

AGRADECIMIENTOS

A Dios por habernos permitido terminar nuestros estudios y haber cumplido una meta más.

A nuestros padres que nos han ayudado de forma desinteresada y que han sido un apoyo incondicional

A los doctores Celso Recalde y Gerardo León quienes mediante sus conocimientos nos han guiado y ayudado a llevar a cabo este proyecto de tesis nuestros sinceros agradecimientos.

A la familia Maroto Flores ya que nos dieron toda la apertura la cual fue parte fundamental para poder ejecutar dicho trabajo.

Adriana Guzmán

Erika Criollo

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal de Tesis certifica que: El trabajo de investigación **“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”**, de responsabilidad de las señoritas egresadas Adriana Catalina Guzmán Guaraca y Erika Carmen Criollo Quizhpi, ha sido revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE

FECHA

FIRMA

Dr. Silvio Álvarez Luna
**DECANO DE LA FACULTAD
DE CIENCIAS**

Dra. Nancy Veloz
**DIRECTORA DE LA ESCUELA
DE CIENCIAS QUÍMICAS**

Dr. Celso Recalde
DIRECTOR DE TESIS

Dr. Gerardo León
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

**DIRECTOR DEL CENTRO DE
DOCUMENTACIÓN**

NOTA DE LA TESIS

“Yo, Adriana Catalina Guzmán Guaraca, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenecen a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

ADRIANA CATALINA GUZMÁN GUARACA

“Yo, Erika Carmen Criollo Quizhpi, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenecen a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

ERIKA CARMEN CRIOLLO QUIZHPI

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

atm	Atmósferas
C/N	Relación carbono nitrógeno
C _d	Carga diaria
Ced	Cantidad de excretas diarias
CH ₃ COOH	Ácido acético
CH ₄	Metano
CIPAV	Centro para la Investigación en Sistemas Sustentables de Producción Agrícola
cm	Centímetro
CO ₂	Dióxido de carbono
°C	Grados centígrados
D	Diámetro
DBO	Demanda biológica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
Fe (OH) ₃	Hidróxido férrico
Fe ₂ O ₃	Óxido férrico
FeCL ₃	Cloruro férrico
g	Aceleración de la gravedad
GLP	Gas licuado de petróleo (GPL)
h	Altura del fluido
H ₂ O	Agua
HCl	Ácido clorhídrico
H ₂ S	Ácido sulfhídrico
K ₀	Descomposición de los sólidos volátiles en el tiempo
Kg	kilogramo
KPa	kilopascales
Lo	Longitud del biodigestor
L	Litro
M	Molar
m ³	Metro cúbico
MO	Materia orgánica
m	Metro
msnm	Metros sobre el nivel del mar
mbar	Milibar
mm	Milímetro
MOR	Materia orgánica resistente
NaOH	Hidróxido de sodio
NC	Células nuevas
NH ₃	Amoníaco
NPK	Nitrógeno, fósforo y potasio

p	Perímetro
P	Presión hidrostática
P_0	Presión ejercida por el gas producido dentro del digestor sobre el fluido
Pa	Pascales
pH	Potencial de hidrógeno
Pt	Perímetro torácico
Pv	Peso vivo
PVC	Policloruro de vinilo
P_{CH_4}	Potencial de producción de metano
S	Cantidad de sustrato disponible
SV	Sólidos volátiles
T	Temperatura
T_{Rh}	Tiempo de retención hidráulica
U_0	Crecimiento de la producción de metano con el cambio de temperatura por día
V_g	Volumen del biogás producido
V_l	Volumen líquido
VS	Versus
V_{Td}	Volumen total del biodigestor
V_{CH_4}	Volumen de metano producido
V_{Rb}	Volumen del reservorio de biogás.
ρ	Densidad del fluido

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVOS	4
CAPÍTULO I.....	5
CAPÍTULO I	6
1. MARCO TEÓRICO	6
1.1. ÁREA DE ESTUDIO	6
1.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA GRANJA.....	8
1.1.2. CARACTERIZACIÓN DEL ESTABLO.....	8
1.2. DIGESTIÓN ANAEROBIA.....	8
1.2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	9
1.2.2. FACTORES DE CRECIMIENTO	11
1.2.2.1. FUENTES DE CARBONO.....	11
1.2.2.2. FUENTES DE ENERGÍA.....	11
1.2.2.3. NUTRIENTES Y REQUERIMIENTOS DE LOS FACTORES DE CRECIMIENTO	11
1.2.3. MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA BIODEGRADABILIDAD ANAERÓBICA	12
1.2.3.1. TÉCNICAS BASADAS EN EL CONSUMO DEL SUSTRATO.....	12
1.2.3.2. TÉCNICAS BASADAS EN LA MEDICIÓN DEL BIOGÁS O GAS METANO GENERADO	12
1.3. BIOGÁS.....	12
1.3.1. FACTORES DETERMINANTES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS	14
1.3.1.1. SUSTRATO:.....	14

1.3.1.2. RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO	15
1.3.1.3. PROCESO	15
1.4. BIODIGESTORES	18
1.4.1. BIODIGESTOR TUBULAR	18
1.4.1.1. COMPONENTES	19
1.4.1.1.1. TANQUE DE DIGESTIÓN	19
1.4.1.1.2 VOLUMEN DEL RESERVORIO O TANQUE DE BIOGÁS	22
1.4.1.1.3.TUBERÍA DE ENTRADA Y SALIDA DEL SUSTRATO.-	22
1.4.1.1.4.TUBERÍA DE SALIDA DEL BIOGÁS.-	22
1.4.1.1.5.VÁLVULA DE SEGURIDAD.-	22
1.4.1.1.6.PURIFICADOR DE BIOGÁS.-	23
1.4.1.1.7.ZANJA PARA EL BIODIGESTOR.-	24
1.4.1.2. PRESIÓN HIDROSTÁTICA PRESENTE EN EL INTERIOR DEL BIODIGESTOR.....	24
1.4.1.3. METANO PRODUCIDO	25
1.4.1.3.1.POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE METANO (PCH ₄).....	25
1.4.1.3.2.VOLUMEN DE METANO PRODUCIDO (VCH ₄)	26
CAPÍTULO II.....	28
2. PARTE EXPERIMENTAL	28
2.1. LUGAR DE INVESTIGACIÓN	28
2.2. DETERMINACIÓN DE LA CARGA DIARIA DE ESTIÉRCOL.....	29
2.2.1. MATERIALES	29
2.2.2. MÉTODO	29
2.3. OBTENCIÓN DE LA MUESTRA PARA LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS PRE Y POST TRATAMEINTO.....	30
2.3.1. MATERIALES	30
2.3.2. MÉTODO	30
2.4. PREPARACIÓN DE MATERIA PRIMA	31
2.4.1. MATERIALES	31
2.4.2. MÉTODO	31

2.5. DIMENSIONAMIENTO Y GENERACIÓN DE PLANOS DEL BIODIGESTOR TUBULAR.....	32
2.6. CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DEL BIODIGESTOR TUBULAR O FAMILIAR	32
2.6.1. EXCAVACIÓN DE LA ZANJA.....	32
2.6.1.1. MATERIALES	32
2.6.1.2. MÉTODO	33
2.6.2. CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR.....	33
2.6.2.1. MATERIALES	33
2.7. INSTALACIÓN DEL BIODIGESTOR	35
2.7.1. VÁLVULA DE SEGURIDAD.....	35
2.7.1.1. MATERIALES	35
2.7.1.2. MÉTODO	36
2.7.2. FILTRO	36
2.7.2.1. MATERIALES	36
2.7.2.2. MÉTODO	37
2.7.3. CONDUCCIÓN DEL BIOGÁS	37
2.7.3.1. MATERIALES	37
2.7.3.2. MÉTODO	38
2.8. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE OBTENCIÓN DE BIOGÁS.....	38
2.8.1. MATERIALES	38
2.9. MONITOREO Y CONTROL.....	39
2.10. MANUAL DE OPERACIÓN.....	39
2.10.1. IMPORTANCIA.....	39
2.10.2. OPERACIÓN.....	39
2.10.2.1. MONITOREO.....	39
2.10.2.2. RECOLECCIÓN DEL ESTIÉRCOL	40
2.10.2.3. HERRAMIENTAS	40
2.10.2.3.1. PROCEDIMIENTO:.....	40
2.10.2.4. PREPARACIÓN DE LA CARGA DIARIA	41

2.10.2.4.1.PROCEDIMIENTO:.....	41
2.10.2.5. CARGA DIARIA.....	41
2.10.2.5.1.PROCEDIMIENTO:.....	41
CAPÍTULO III.....	43
3. CÁLCULOS DE DISEÑO	43
3.1.2. VOLUMEN DE METANO PRODUCIDO.....	46
3.2. DIÁMETRO DEL BIODIGESTOR.....	46
3.3. LONGITUD DEL BIODIGESTOR	47
3.4. VOLUMEN DEL RESERVORIO O TANQUE DE BIOGÁS	48
3.5. CÁLCULO DE PRESIÓN HIDROSTÁTICA EN EL INTERIOR DEL BIODIGESTOR.....	49
3.5.1. PRESIÓN INICIAL (PRIMEROS 20 DÍAS DEL TIEMPO DE RETENCIÓN)	50
3.5.2. PRESIÓN FINAL.....	50
3.6. VOLUMEN DE METANO PRODUCIDO (VCH ₄).....	51
CAPÍTULO IV	57
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
4.1. RESULTADOS	57
4.1.1. CÁLCULOS DE DISEÑO	57
4.1.2. TEMPERATURAS PROMEDIO OBTENIDAS EN EL INTERIOR DEL INVERNADERO Y AMBIENTE	58
4.1.3. ANÁLISIS DE LABORATORIO	59
4.2. DISCUSIÓN	60
4.2.1. CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN Y MONITOREO DEL BIODIGESTOR	60
4.2.1.1. DÍA 28 DE OCTUBRE - 13 DE NOVIEMBRE (TIEMPO DE RETENCIÓN 1- 14 DÍAS).....	60
4.2.1.2. DÍA 14 DE NOVIEMBRE - 12 DE DICIEMBRE (TIEMPO DE RETENCIÓN 14- 46DÍAS)	60
4.2.2. CONTROL DE TEMPERATURA.....	62
4.2.3. VOLUMEN DE BIOGÁS PRODUCIDO	64
4.2.4. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS.....	64
4.2.4.1. SÓLIDOS VOLÁTILES.....	64

4.2.4.2. DBO5, DQO.....	65
4.2.4.3. SULFUROS	66
4.2.4.4. pH.....	66
4.2.4.5. N, P, K.....	66
4.2.4.5.1 Nitrógeno	67
4.2.4.5.2. Fósforo	67
4.2.4.5.3. Potasio.....	68
CAPÍTULO V.....	70
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
5.1. CONCLUSIONES.....	70
5.2. RECOMENDACIONES.....	71
CAPÍTULO VI	75
6. BIBLIOGRAFÍA	75
ANEXOS	83
b) COSTOS INDIRECTOS	85
c) COSTO TOTAL DEL PROYECTO	86

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: CONDICIONES METEOROLÓGICAS.....	7
TABLA 2: COMPOSICIÓN PORCENTUAL DEL BIOGÁS	13
TABLA 3: ENERGÍA EQUIVALENTE (VALOR ENERGÉTICO) BIOGÁS VS. OTRAS.....	13
TABLA 4: GENERACIÓN DE BIOGÁS DE ACUERDO AL TIPO DE SUSTRATO.....	14
TABLA 5: RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENOS DE ACUERDO AL SUSTRATO	15
TABLA 6: RANGOS DE TEMPERATURA DE FERMENTACIÓN ANAERÓBICA.....	15
TABLA 7: RANGOS DE PH EN LA GENERACIÓN DE BIOGAS	17
TABLA 8: DIMENSIONES DE LA ZANJA.....	24
TABLA 9. POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE METANO DE ALGUNOS RESIDUOS	25
TABLA 10: MEDIDAS DEL GANADO VACUNO.....	43
TABLA 11: CARACTERÍSTICAS DEL GANADO VACUNO UTILIZADO.....	44
TABLA 12: DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE EXCRETAS DIARIAS	45
TABLA 13: TEMPERATURA DEL BIODIGESTOR Y TIEMPO DE RETENCIÓN	51
TABLA 14: VOLUMEN DE METANO PRODUCIDO DURANTE 46 DÍAS.....	53
TABLA 15: RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE DISEÑO DEL BIODIGESTOR.....	57
TABLA 16: TEMPERATURAS PROMEDIO OBTENIDAS PARA EL TR.	58
TABLA 17: RESULTADOS DE ANÁLISIS	59

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1: TIEMPO DE RETENCIÓN EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA	17
GRÁFICA 2: ESQUEMA GENERAL DE UN BIODIGESTOR TUBULAR	21
GRÁFICA 3: VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA.....	62
GRÁFICA 4: PRODUCCIÓN DE BIOGAS.....	64
GRÁFICA 5: COMPARACIÓN DE ESTIERCOL VS BIÓL	65
GRÁFICA 6: COMPARACIÓN DE NPK	67

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: UBICACIÓN DE LA HACIENDA MAROTO	6
FIGURA 2: FASES DE LA FERMENTACIÓN ANAEROBIA	11
FIGURA 3: VISTA TRANSVERSAL DE LA ZANJA.....	24
FIGURA 4: DIMENSIONES DEL BIODIGESTOR	48
FIGURA 5: CORTE A-A DEL BIODIGESTOR.....	48
FIGURA 6: DISTRIBUCIÓN DE LA PRESIÓN DENTRO DEL BIODIGESTOR.....	49

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 COSTO DEL PROYECTO	84
ANEXO 2 FOTOGRAFÍAS	87
ANEXO 3 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS	103
ANEXO 4: PLANOS	106

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1: ÁREA DE EXPERIMENTACIÓN REFERENCIADA	87
FOTOGRAFÍA 2 MEDICIÓN DE LA LONGITUD DE LA VACA PARA DETERMINAR SU PESO.	88
FOTOGRAFÍA 3 CONSTRUCCIÓN DEL ESTABLO.....	88
FOTOGRAFÍA 4 TERMINACIÓN DEL ESTABLO	88
FOTOGRAFÍA 5 DIVISIÓN DE LOS LUGARES OCUPADOS POR LAS VACAS SELECCIONADAS	89
FOTOGRAFÍA 6 BOLSA UTILIZADA PARA EL BIODIGESTOR	89
FOTOGRAFÍA 7 ACOLCHONAMIENTO CON ASERRÍN DE LA ZANJA.....	90
FOTOGRAFÍA 8 ACOLCHONAMIENTO CON PAJA DE LA ZANJA	90
FOTOGRAFÍA 9 UBICACIÓN DEL BIODIGESTOR DENTRO DE LA ZANJA.	91
FOTOGRAFÍA 10 UBICACIÓN CORRECTA DE LA TUBERIA DE ENTRADA DEL BIODIGESTOR.	91
FOTOGRAFÍA 11 UBICACIÓN CORRECTA DE LA TUBERIA DE SALIDA DEL BIODIGESTOR.	92
FOTOGRAFÍA 12 PROLONGACIÓN DE LA TUBERIA DE ENTRADA PARA REALIZAR LA CARGA DIARIA.....	92
FOTOGRAFÍA 13 VÁLVULA DE SEGURIDAD	93
FOTOGRAFÍA 14 RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA DE ESTIERCOL.....	93
FOTOGRAFÍA 15 PESAJE DEL ESTIÉRCOL PRODUCIDO.	94
FOTOGRAFÍA 16 PESAJE DEL AGUA PARA REALIZAR LA MEZCLA (ESTIÉRCOL-AGUA).....	94
FOTOGRAFÍA 17 PREPARACIÓN DEL SUSTRATO DILUCIÓN 1:1	95
FOTOGRAFÍA 18 INTRODUCCIÓN DE LA CARGA DIARIA	95
FOTOGRAFÍA 19 BIODIGESTOR DÍA 1 (DESPUÉS DE LA PRIMERA CARGA).....	96
FOTOGRAFÍA 20 BIODIGESTOR DÍA 6.....	96

FOTOGRAFÍA 21 BIODIGESTOR DÍA 9	97
FOTOGRAFÍA 22 BIODIGESTOR DÍA 13	97
FOTOGRAFÍA 23 BIODIGESTOR DÍA 16	98
FOTOGRAFÍA 24 BIODIGESTOR DÍA 19	98
FOTOGRAFÍA 25 BIODIGESTOR DÍA 25	99
FOTOGRAFÍA 26 PRIMERAS PRUEBAS DE LA EXISTENCIA DE BIOGAS.	99
FOTOGRAFÍA 27 BURBUJEO DE LA VALVULA DE SEGURIDAD POR SALIDA DE BIOGÁS	100
FOTOGRAFÍA 28 COLOCACIÓN DEL FILTRO.....	100
FOTOGRAFÍA 29 COCINETA UTILIZADA PARA LA CONDUCCIÓN DE BIOGÁS..	101
FOTOGRAFÍA 30 PRUEBAS DE CONDUCCIÓN DE BIOGÁS EN LA COCINETA SELECCIONADA.	101
FOTOGRAFÍA 31 LIMADURAS DE HIERRO TRATADAS PARA LA CONDUCCIÓN DE BIOGÁS	102
FOTOGRAFÍA 32 UTILIZACIÓN DE BIOL EN LOS SEMBRÍOS DEL SR. MAROTO.	102

RESUMEN

La presente investigación trata del Diseño e Implementación de un Biodigestor Piloto para la producción de biogás en una de las viviendas de la Comunidad Santa Lucía de Tembo perteneciente a la Parroquia San Isidro de Patúlu del Cantón Guano.

Nuestro estudio investigativo-experimental consistió en: revisar exhaustivamente varios trabajos realizados en condiciones ambientales similares, seleccionar aleatoriamente siete cabezas de ganado vacuno cuyas excretas fueron utilizadas para determinar la carga diaria y caracterizaciones físico-químicas, recopilar datos meteorológicos que permiten calcular el tiempo de retención. Con todos estos parámetros se diseñó un biodigestor tubular, que fue colocado en una zanja de aislamiento térmico ubicada a 8,3 y 1,2m de distancia entre la vivienda y el establo respectivamente. Durante los 46 días de monitoreo se controló temperatura, presión, pH, en el proceso de producción de biogás, incluyendo pruebas de olor y color de la llama.

Bajo las siguientes condiciones: carga diaria 58,3Kg/día, temperatura media anual 13,5°C, tiempo de retención 39 días, dilución agua:estiércol 1:1; se diseñó un biodigestor cuyas dimensiones son: longitud 4,7m, diámetro 1,27m, Volumen total 6,03 m³. El aislamiento térmico permitió incrementar la temperatura interna 3-5°C días fríos y 15-20°C días soleados.

Concluyendo que la producción diaria de biogás en días cálidos es de 1,5m³ que proporcionan 1.68 horas de llama encendida, consiguiendo hervir una olla con 40 litros de agua en 48 minutos.

Recomendamos al usuario hacer uso constante del biogás producido para ayudar a difundir este tipo de tecnologías energéticas amigables con el medio ambiente.

ABSTRACT

This research deals with the desing and implementation of a Pilot Biodigestor for biogas production in one of de house of the community of Saint Lucia Tembo belonging to the Parish of San Isidro Patulu Guano Canton.

Our research – experimental study consisted of: thoroughly reviewing several studies carried out in similar environmental conditions, randomly select seven heads of cattle whose faces were used to determinate the daily burden and physical characterizations-chemical, collect meteorological data to calculate the retention time. With these parameters at tubular digester, which was placed in trench insulation located 8,3 and 1,2m distance between the house and the barn was designed respectively. During the 46 days of monitory temperature, pressure, pH, were controlled in the process of biogas production, including test of odor and color of the flame.

Under the following conditions: daily load 58,8 Kg /day, mean annual temperature 13,5°C retention time 39 days, dilution water: manure 1:1, a digester was designed with dimensions: length 4,7m, diameter 1,27m , total volume 6,03m³. Thermal insulation allowed increasing the internal temperature 3-5°C, cold days and 15-20°C sunny days.

Concluding that the daily production of biogas on warm days is 1,5 m³ providing 1,68 hours when on call, getting a pot boil 40 liters of water in 38 minutes.

We recommended the user to make constant use of the biogas produced to help spread that kind of energy technology friendly to the environmental.

INTRODUCCIÓN

Los Biodigestores tubulares son un sistema de fermentación sencillo mediante el cual se realiza un adecuado manejo de los residuos orgánicos sean estos de origen animal o humano, dicha fermentación permite obtener energía a bajo costo ya que los materiales de los cuales están hechos este tipo de digestores son económicos, permitiendo en muchas comunidades especialmente rurales en las que han sido introducidos solventar la problemática energética.

En el Ecuador esta tecnología ha ido creciendo paulatinamente, ya que son escasos los estudios realizados que impiden poner en práctica dicha técnica por parte de comunidades y grandes haciendas, las cuales originan residuos orgánicos necesarios para la producción de energías alternativas.

Nuestra tesis se encuentra enfocada en el diseño e implementación de un biodigestor familiar tubular con el objetivo de que se difunda entre los pobladores ya que es una alternativa energética no muy costosa, de fácil acceso de la cual se puede obtener varios beneficios entre los principales tenemos: el tratamiento del estiércol proveniente del ganado vacuno transformándolo en un tipo de abono fácilmente asimilable por los suelos y de buena calidad y como producto de esta degradación la producción de biogás que puede ser utilizado tanto para cocinar y en algunos casos para la generación de energía eléctrica, sumado a esto los resultados de los análisis fisicoquímicos, las condiciones meteorológicas del lugar que nos permitieron elegir este tipo de biodigestor y dimensionarlo por medio de ecuaciones, fórmulas para su posterior construcción.

JUSTIFICACIÓN

Considerando que el sector agrícola produce la mayor cantidad de desechos orgánicos por las acciones que realiza, los cuales al no tener una disposición adecuada se convierten en un factor contaminante para los recursos agua y suelo, al utilizar de forma directa como abono estos residuos tanto de origen animal como vegetal sin previo tratamiento demora en su degradación tardando la recuperación y asimilación por parte del suelo. Conjuntamente con la gran distancia a la que se encuentra ubicada la comunidad Santa Lucía de Tembo hace que los abastecimientos de gas (GPL) no lleguen con el producto al sector, lo que ocasiona su especulación lo cual tiene incidencia directa en la economía familiar por el aumento de su costo.

Surge entonces la necesidad de implementar tecnologías limpias que ayuden a un adecuado manejo de los residuos que genera el ganado vacuno creando así una alternativa para la producir energía renovable importante para las actividades de los propietarios del lugar, a más de ello esta opción sería una alternativa para prevenir la degradación de los suelos de cultivo, atenuación del cambio climático, preservación del recurso hídrico y biodiversidad.

Esto se lleva a cabo mediante la implementación de un Biodigestor Familiar para tratar los residuos orgánicos de origen vacuno que se encuentran dispersos en los terrenos de la familia beneficiaria, con el cual se obtendrá beneficios como la generación de biogás el cual puede tener un uso similar al GLP, la obtención de bioabono rico en nutrientes que al ser dispuestos en el suelo es fácilmente asimilable ayudando a la obtención de cultivos de mejor calidad, con una disminución del uso de fertilizantes.

OBJETIVOS

General

- Elaborar un biodigestor piloto tubular para la producción de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno, en una de las viviendas de la comunidad de Tembo.

Específicos

- Diseñar un biodigestor tubular acorde a las condiciones ambientales de la zona.
- Mejorar las condiciones térmicas del área de experimentación para el proceso de digestión anaerobia.
- Comprobar que el biodigestor elegido cumpla con los requerimientos esperados mediante los datos experimentales obtenidos.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1.ÁREA DE ESTUDIO

La vivienda en la que se realizó nuestro proyecto de tesis se encuentra ubicada en la comunidad rural de la Santa Lucía de Tembo ubicada en la parte norte de la parroquia San Isidro De Patúlu, a una distancia de 15km de Riobamba y a 6Km desde Guano, localizada en las siguientes coordenadas geográficas S1 33 23.1 W78 41 55.7 y UTM: Oeste 755791 y Sur 9827451 Datum WGS84, a una altitud de 3219msnm.

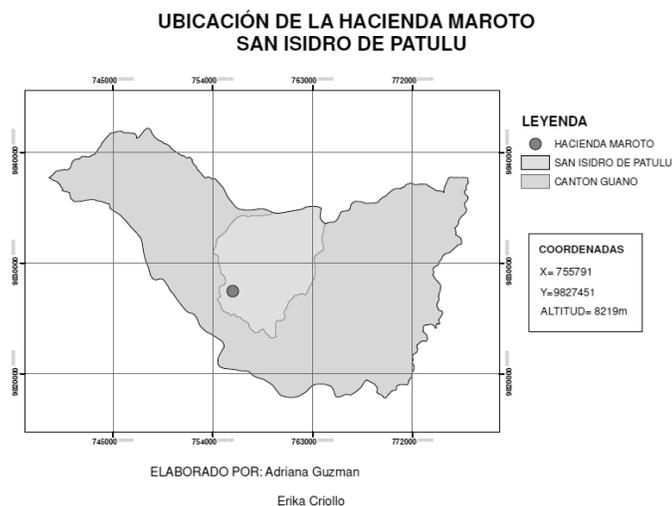


FIGURA 1: UBICACIÓN DE LA HACIENDA MAROTO

La situación económica de las familias se sustenta básicamente en tres actividades productivas principales que son: agricultura, ganadería y comercio. En cuanto a la

agricultura la forma de tenencia de las tierras el 95% son propietarios, 3% aparceros y el 2% arrendatarios, los principales productos que se cultivan son: papas, cebolla blanca, arveja, brócoli, cebada, habas, chocho, maíz, frejol, uvillas, arboles madereros como pino y eucalipto, además de alfalfa y vicia para la alimentación del ganado. En cuanto a la ganadería tenemos: vacuno, ovino, porcino y especies menores (cuyes y conejos). Parte de los productos que aquí se producen son destinados al comercio y a la alimentación de las familias. Las vías de acceso a la comunidad son vías de tercer orden recientemente asfaltadas (16).

Los datos sobre las condiciones climáticas de la comunidad se indican en la siguiente tabla los cuales fueron tomados de la Estación Meteorológica de la ESPOCH por ser la estación más cercana al lugar del proyecto y ubicarse a una altitud de 2853msnm con una diferencia de 366m con respecto a la propiedad del Sr. Maroto, por lo que las variaciones climáticas no son muy notables.

TABLA 1: CONDICIONES METEOROLÓGICAS

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Temperatura	Celsius	13.5
Humedad	%	62,58
Precipitación	Mm	0,0012
Presión	mBa	768,3703

FUENTE: ESTACIÓN METEOROLÓGICA ESPOCH, FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

Estos datos son un promedio de los últimos 7 años.

1.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA GRANJA

La granja perteneciente a la familia del Sr. Humberto Maroto posee una extensión de 20 hectáreas, la cual cuenta con un sistema de riego mixto por aspersión y por surcos. El espacio cuenta con:

- Criaderos de especies menores como: cuyes, conejos.
- Establo para ganado vacuno
- Criadero de cabras
- Terrenos destinados para la agricultura y siembra de pasto, papas, maíz.

1.1.2. CARACTERIZACIÓN DEL ESTABLO

Es una estructura de 10m de largo por 3m de ancho edificada en cemento, ladrillo en sus paredes, palos de eucalipto en sus bases y zinc en el techo, piso de concreto, comederos, además cuenta con siete divisiones hechas con tablas de eucalipto. Este espacio es ocupado por 7 cabezas de ganado vacuno las cuales permanecen estabuladas durante la noche 6pm y madrugada 6:30am antes de ser sacadas para el ordeño y pastoreo. El proceso de limpieza del establo se lo realiza todas las mañanas, para lo cual se hace uso de una lampa para la recolección del estiércol producido.

1.2.DIGESTIÓN ANAEROBIA

La digestión anaerobia es un proceso biológico muy antiguo en el cuál los microorganismos producen la descomposición de la materia orgánica biodegradable en ausencia del oxígeno molecular, como resultado de este proceso se producen gases como dióxido de carbono y metano que son los más abundantes y este último de mayor importancia por su forma de aprovechamiento. Los procesos anaerobios son aplicados en la estabilización de fangos

concentrados producidos durante el tratamiento de aguas residuales y determinados residuos provenientes de industrias (4).

1.2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso de digestión anaerobia se produce en sistemas completamente cerrados, en los cuales ingresa la materia orgánica (MO) a degradar ya sea de forma continua o intermitente y permanece durante periodos de tiempo (tiempo de retención) que varían de acuerdo a la temperatura ambiente a la que vaya a estar sometido el biodigestor, durante y después de este período se obtiene productos como CH₄, CO₂, NH₃, células nuevas (NC) y materia orgánica no degradada o resistente (MOR). De acuerdo a la siguiente ecuación (4) (1):

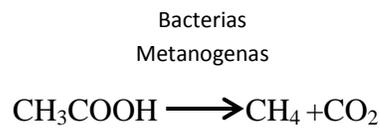


Esta conversión biológica de la materia orgánica se produce entre etapas:

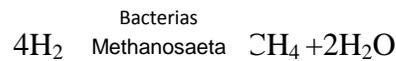
- a) **Hidrólisis.-** transformación enzimática de los compuestos de alto peso molecular como son los polímeros orgánicos y lípidos en compuestos estructurales básicos como los monosacáridos, aminoácidos utilizados como fuente de energía y de carbono celular (4)(1).
- b) **Acidogénesis.-** es la conversión bacteriana de los compuestos resultantes de la primera etapa en compuestos intermedios identificables de menor peso molecular (4) (1).
- c) **Metanogénesis.-** es la transformación bacteriana de los compuestos producidos durante la fase acidogénesis en productos finales de estructura molecular sencilla dentro de estos tenemos principalmente metano y dióxido de carbono en más del

99% del gas total y en menor cantidad amoniaco, sulfuro de hidrogeno y materia orgánica resistente (biól) (4) (1).

Este proceso se puede dar por dos rutas. La primera es la fermentación del mayor producto de las fases de formación de ácido acético en metano y dióxido de carbono, las bacterias que realizan este proceso son las acetoclásticas o acetófilas (4) (1):



La segunda ruta parte del ácido acético e hidrógeno, se basa en condiciones termodinámicas analizadas experimentalmente por Droste, quien indica que a una presión parcial de hidrogeno por debajo de 10^{-4} atm (equivalente a una solución 10^{-8} M) las bacterias del género Methanosaeta de crecimiento lento se adaptan mejor y son capaces de reducir el dióxido de carbono en metano (13):



Considerando que exista un equilibrio entre el hidrogeno líquido y gaseoso.

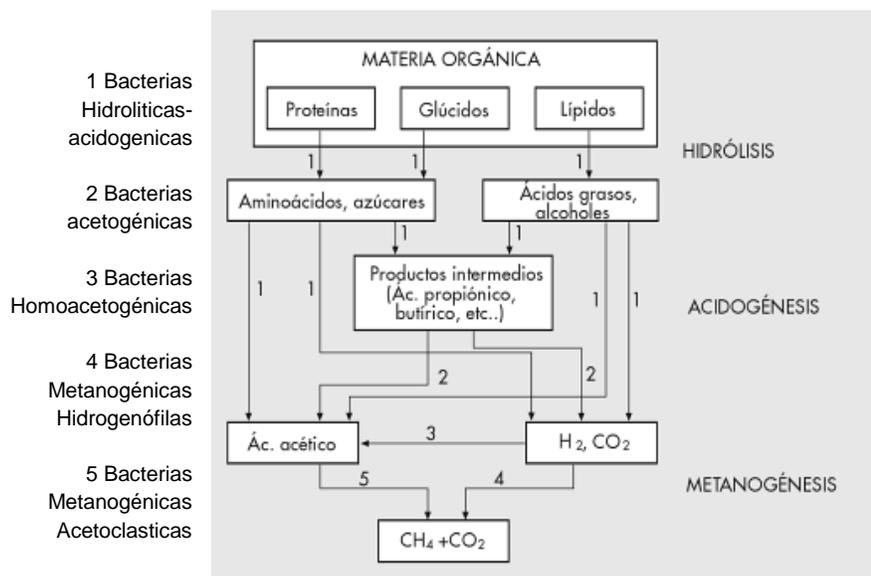


FIGURA 2: FASES DE LA FERMENTACIÓN ANAEROBIA

1.2.2. FACTORES DE CRECIMIENTO

Para que los microorganismos presentes en el proceso de digestión anaerobia mantengan un adecuado crecimiento, funcionamiento, reproducción deben poseer fuentes de energía y de elementos inorgánicos (12). Dentro de estos tenemos:

1.2.2.1.FUENTES DE CARBONO

Necesario para el crecimiento celular, los microorganismos lo obtienen a partir de dos fuentes: materia orgánica o dióxido de carbono (1).

1.2.2.2.FUENTES DE ENERGÍA

La energía necesaria para la síntesis celular puede ser proporcionada por la luz o por reacciones químicas redox (oxido-reducción). Cuando la energía es obtenida de la segunda forma, las bacterias pueden oxidar compuestos orgánicos e inorgánicos para obtener energía, a estos organismos se los conoce como quimiotrófos (1).

1.2.2.3.NUTRIENTES Y REQUERIMIENTOS DE LOS FACTORES DE CRECIMIENTO

Las bacterias para su crecimiento a más del carbono nutrientes como nitrógeno, fosforo, azufre, potasio, magnesio, calcio, hierro, sodio, cloro cuya ausencia puede impedir el crecimiento bacteriano y en menor proporción se incluye zinc, manganeso, selenio, cobalto,

cobre y níquel (12). Además los microorganismos requieren de nutrientes orgánicos conocidos como factores de crecimiento y que son utilizados como precursores o constituyentes del material orgánico celular dentro de estos compuestos tenemos: aminoácidos, bases nitrogenadas, vitaminas. Todos estos nutrientes están presentes en la mayoría de desechos orgánicos, con excepción de algunos desechos industriales (1).

1.2.3. MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA BIODEGRADABILIDAD ANAERÓBICA

1.2.3.1. TÉCNICAS BASADAS EN EL CONSUMO DEL SUSTRATO

La disminución de los componentes del sustrato debido al consumo de estos por los microorganismos que participan en la digestión anaeróbica, se utiliza como base para establecer la biodegradabilidad anaeróbica del residuo. Esta medición se basa en determinar parámetros como: análisis de sólidos totales, suspendidos, fijos, volátiles, DQO (total o soluble), carbono orgánico, nitrógeno orgánico, nitrógeno Kjeldahl, o por el seguimiento de un compuesto específico que este dentro del sustrato (15).

1.2.3.2. TÉCNICAS BASADAS EN LA MEDICIÓN DEL BIOGÁS O GAS METANO GENERADO

Existen varias metodologías para la medición del gas generado (biogás, gas metano o dióxido de carbono), dentro de estas tenemos: método volumétrico que consiste en la medición de la cantidad de biogás mediante el desplazamiento de soda y el análisis de la composición de los gases por cromatografía de gases (15).

1.3. BIOGÁS

El biogás es el producto gaseoso de la digestión anaerobia, se compone principalmente de metano (50 % -70 %) y dióxido de carbono (30 % -50 %), con cantidades traza de otras

partículas y contaminantes. Se produce a partir de diversas fuentes de residuos, incluido el material de vertedero, abono animal, aguas residuales, también puede ser producido a partir de biomasa lignocelulósica otra (por ejemplo, cultivos y residuos forestales, cultivos energéticos) (11).

El biogás se puede quemar para producir calor, electricidad o ambos, además se puede mejorar a metano puro también llamado biometano renovable o gas natural por eliminación de agua, dióxido de carbono, ácido sulfhídrico, y otros elementos traza, llegando de tal forma a ser comparable al gas natural, pudiendo ser inyectado en la red de tuberías para utilizarse como combustible para el transporte de forma comprimida o licuado (11).

TABLA 2: COMPOSICIÓN PORCENTUAL DEL BIOGÁS

GAS	PORCENTAJE
Metano, CH ₄	50-70 %
Dióxido de carbono, CO ₂	27-45 %
Hidrógeno	1-10 %
Nitrógeno	0,5-3 %
Ácido sulfhídrico, H ₂ S	0,1%

FUENTE: DISEÑO DE BIODIGESTORES, TEC. PABLO INFANTES CHÁVEZ

TABLA 3: ENERGÍA EQUIVALENTE (VALOR ENERGÉTICO) BIOGAS VS. OTRAS

VALORES	BIOGAS (70% CH ₄ , 28% CO ₂ y “% otros gases)	GAS NATURAL	GAS PROPANO	GAS METANO	HIDROG.
Valor Calorífico (Kwh/ m ³)	7.0	10	26	10	3
Densidad (Kg/m ³)	1.08	0.7	2.01	0.72	0.09
Densidad con respecto al aire	0.81	0.54	1.51	0.55	0.07
Límite de explosión (%)	6-12	5-15	2-10	5-15	4-80

de gas en el aire)					
Temperatura de encendido	687	650	470	650	585
Máxima velocidad de encendido en el aire (m/s)	0.31	0.39	0.42	0.47	0.43
Requerimiento teórico de aire (m ³ /m ³)	6.6	9.5	23.9	9.5	2.4

FUENTE: DISEÑO DE BIODIGESTORES, TEC. PABLO INFANTES CHAVEZ

1.3.1. FACTORES DETERMINANTES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Presentan gran influencia sobre la calidad y cantidad del biogás producido así como la velocidad a la que se logra obtener.

1.3.1.1.SUSTRATO:

- **Composición.-** pueden ser efluentes municipales, agrícolas, pecuarios, pesqueros e industriales, de consistencia líquida, sólida o semisólida (11).

TABLA 4: GENERACIÓN DE BIOGÁS DE ACUERDO AL TIPO DE SUSTRATO

SUSTRATO	GENERACION 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	220
Bagazo	140 – 190	160
Desperdicios de	300 – 400	350

verduras		
Algas	380 – 550	460
Lodos de aguas servidas	310 – 640	450

FUENTE: DISEÑO DE BIODIGESTORES, TEC. PABLO INFANTES CHÁVEZ

1.3.1.2.RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO.- depende de la combinación de materiales con un significativo contenido de nitrógeno y carbono cuya fermentación generan una elevada producción de gas (2).

TABLA 5: RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENOS DE ACUERDO AL SUSTRATO

SUSTRATO	RELACIÓN C/N
Orina	0.8
Excreta de vacuno	10 – 20
Excreta de Porcino	9 – 13
Excreta de Gallina	5 – 8
Excreta de caprino / ovino	30
Excreta de Humanos	8
Paja de cereales	80 – 140
Paja de maíz	30 – 65
Gras fresco	12
Desperdicios de verduras	35

FUENTE: DISEÑO DE BIODIGESTORES, TEC. PABLO INFANTES CHÁVEZ

1.3.1.3.PROCESO

- **Temperatura.-** tiene una relación directamente proporcional a la tasa de hidrólisis (primera fase de la digestión anaerobia), ya que conforme aumenta la temperatura la tasa incrementa, provocando un aumento en la velocidad metabólica de las bacterias y en la producción de biogás (2).

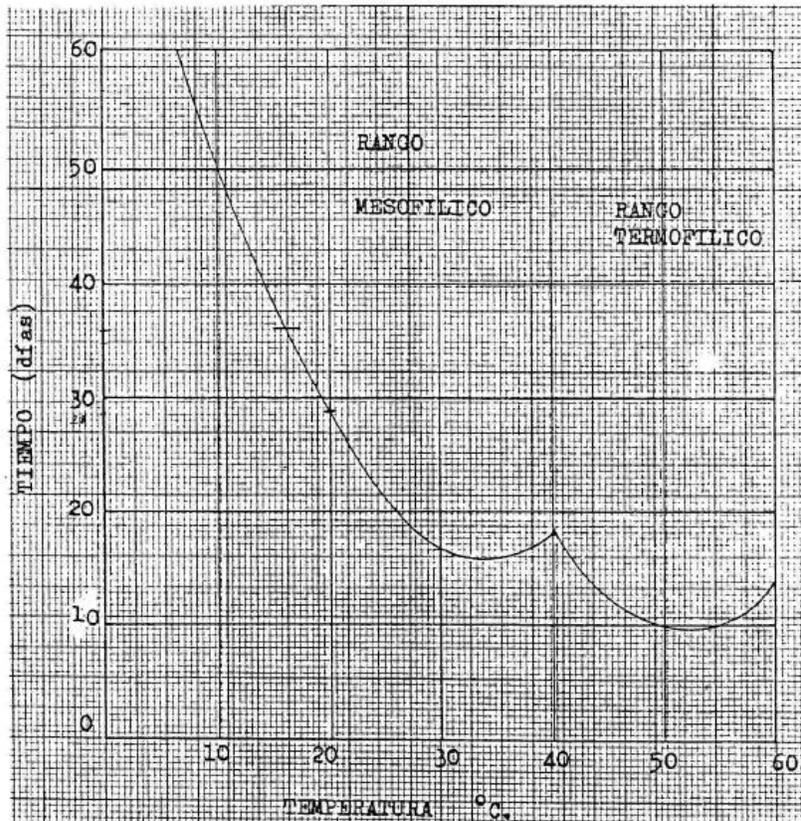
TABLA 6: RANGOS DE TEMPERATURA DE FERMENTACIÓN ANAERÓBICA

FERMENTACIÓN	MÍNIMO	ÓPTIMO	MÁXIMO
Psycrophilica	4-10 °C	15-18°C	25-30°C
Mesophilica	15-20 °C	28-33°C	35-45°C
Thermophilica	25-45°C	50-60°C	75-80°C

FUENTE: DISEÑO DE BIODIGESTORES, TEC. PABLO INFANTES CHÁVEZ

- **Concentración de agua y sustrato en la mezcla de carga.-** los microorganismos no pueden funcionar adecuadamente cuando el contenido de agua en la mezcla es demasiado bajo, y la cantidad de biogás producido será pequeña, y si por el contrario es demasiado diluida, se puede digerir poca materia orgánica y la producción del biogás es limitada. El uso de excretas humanas, estiércol, y desechos de agricultura, como alimento para el digestor, debe ser una relación de biomasa:agua entre 1:1 y 1:2; y por cada 100 Kg de heces y orina, para así promover una digestión efectiva (2).
- **Tiempo de permanencia del sustrato en el Biodigestor.-** es el tiempo por el cual la materia orgánica o sustrato permanece dentro del biodigestor para que se realice su digestión anaeróbica completa, durante este periodo se puede determinar la fracción de biogás que se obtenga de la producción máxima (14).

De acuerdo a la tesis Aumento De La Producción De Biogás Del Digestor de la F.I.Z (Facultad de Ingeniería en Zootecnia) realizada por parte de los estudiantes Javier Cáceres y Julio Gutiérrez (1985), quienes realizaron pruebas con estiércol de ganado vacuno en condiciones de operación reales (condiciones climáticas de Riobamba altitud 2750msnm) a las que estaba sujeto el biodigestor, elaboraron la gráfica del tiempo de retención vs la temperatura de operación (14).



GRÁFICA 1: TIEMPO DE RETENCIÓN EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA

- **Valor de pH.-** Los digestores son operados generalmente a pH7, ya que sus tasas metabólicas son favorables para los formadores de metano y su actividad disminuye considerablemente cuando el pH cae fuera del rango entre 6-8(13).

TABLA 7: RANGOS DE PH EN LA GENERACIÓN DE BIOGAS

Valor 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

1.4.BIODIGESTORES

La acogida de este tipo de tecnología ha sido muy alta entre los agricultores de áreas donde la leña escasea o el acceso a electricidad u otras fuentes de energía es limitado. Esta situación ha sido visible en las áreas rurales de varios países especialmente de los llamados en vías de desarrollo, en algunos de estos países se están realizando varios trabajos relacionados a la obtención de biogás. Como resultado de la investigación en sistemas de obtención de biogás, varios han sido los diseños de biodigestores que se han desarrollado como es el caso del modelo Hindú que posee una campana flotante, el modelo chino de campana fija para el almacenamiento de biogás (Brown, 1987; Marchaim, 1992), en estos dos tipos de biodigestores en varios lugares que ya han sido implementados se ha observado la aparición de grietas en sus paredes constituidas por concreto especialmente durante períodos largos de altas temperaturas. En cambio el modelo de digestor tubular que data de los años sesenta cuyos inventores fueron ingenieros Taiwaneses que lo construyeron con materiales elásticos baratos, locales y accesibles, los primeros fueron en base a nylon y neopreno pero resultaron algo costosos, durante los años siguientes este sistema fue evolucionando es así que desde 1986, el Centro para la Investigación en Sistemas Sustentables de Producción Agrícola (CIPA) situada en Colombia, ha indicado a los biodigestores tubulares de plástico económico como una tecnología apropiada para el tratamiento de excrementos pecuarios, reduciendo de esta forma el impacto que podría ocasionar sobre otros recursos naturales el uso de biodigestores más grandes y más complejos. (7) (23).

1.4.1. BIODIGESTOR TUBULAR

Los biodigestores familiares al ser de bajo precio han sido ejecutados en países pertenecientes al sureste del continente asiático, en España, mientras que en América Latina, solo países como Cuba, Colombia y Brasil tienen implementada esta tecnología, sin embargo en países como Uruguay, Perú, Bolivia se han registrado varios proyectos en

especial en este último que se está tratando de introducirlo en el altiplano y en nuestro país (Ecuador) que aunque no se encuentra muy desarrollado se conoce de varios proyectos de tesis realizados en distintos lugares como: la implementación de un biodigestor tubular para tratar las aguas residuales eliminadas durante el lavado del establo en la granja Juan Lunardi de la Universidad Politécnica Salesiana localizada a 2100msnm a una temperatura de 19°C, otro proyecto de construcción del biodigestor tubular lo realizaron estudiantes de la ESPE en la hacienda San Antonio del IASA II ubicada en la vía a Quevedo en Sto. Domingo, en ambos trabajos se utilizó desechos de animales presentes en las granjas y el agua residual generada(7) (23).

1.4.1.1.COMPONENTES

1.4.1.1.1. TANQUE DE DIGESTIÓN.- o cámara de fermentación anaeróbica en la que se ubica el material a descomponer y que permanecerá durante todo el tiempo de retención, en el cual ocurre la degradación y liberación del biogás. Su geometría es cilíndrica y su capacidad está dada por el volumen de material a degradar (8).

Para su dimensionamiento es necesario determinar los valores de los siguientes parámetros:

- a) Cantidad en Kg de la materia orgánica o residuo disponible para ser utilizado.
- b) Determinar la relación de la mezcla sustrato:agua, para de esta forma conocer el valor de carga diaria que será alimentada al biodigestor.

$$C_d = S(Kg) + H_2O (Kg)$$

Ecuación 1

C_d: Carga diaria.

S: Cantidad de sustrato disponible en Kg.

H₂O: Cantidad de agua en Kg

- c) Tiempo de retención hidráulica que es igual al tiempo de retención celular el cual se determina en base a la temperatura ambiente promedio del lugar en el que será ubicado el biodigestor.

Conocidos estos valores podemos aplicar la siguiente formula:

$$V_{Td} = V_l + V_g \quad \text{Ecuación 2}$$

V_{Td}: volumen total del biodigestor.

V_l: volumen líquido.

V_g: volumen del biogás producido.

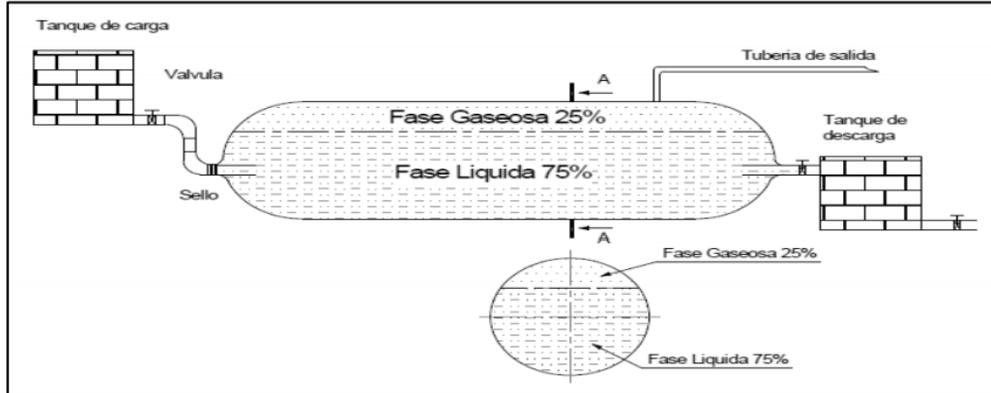
$$V_l = C_d * T_{Rh} \quad \text{Ecuación 3}$$

V_l: volumen líquido.

C_d: Carga diaria en Kg.

T_{Rh}: tiempo de retención hidráulica en días.

En la siguiente figura se puede observar la distribución del volumen dejando un porcentaje del volumen total equivalente al 75% para la fase líquida a degradar y un 25% restante servirá como campana o gasómetro que será ocupado por el metano que se produzca durante la desintegración(16) (17) (21).



GRÁFICA 2: ESQUEMA GENERAL DE UN BIODIGESTOR TUBULAR

A partir de esto tenemos la siguiente ecuación para calcular el volumen del gas:

$$V_g = 25\% \times V_l \quad \text{Ecuación 4}$$

V_g : volumen que ocupa la fase gaseosa

V_l : volumen líquido

La longitud del biodigestor depende del ancho del plástico que se utilice ya que este puede ser de 1.25m, 1.5m, 1.75m, 2m, debido a que la forma del digestor es tubular se aplica la ecuación del volumen de un cilindro:

$$D = \frac{P}{\pi} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$V_{Td} = \pi \times \frac{D^2}{4} \times L \quad \text{Ecuación 6}$$

$$L = \frac{4 \times V_{Td}}{\pi D^2} \quad \text{Ecuación 7}$$

V_{Td} : volumen total del biodigestor.

L: longitud del biodigestor

D: diámetro

P: perímetro

1.4.1.1.2. VOLUMEN DEL RESERVORIO O TANQUE DE BIOGÁS

La cantidad de biogás que se puede almacenar depende del consumo y la aplicación que se dé, por lo cual la cantidad en exceso se la puede almacenar en un tanque hecho del mismo material del digestor. Se considera que el volumen del digestor y del tanque reservorio debe tener una relación de 5:1 para fincas pequeñas (14).

$$\frac{V_{Td}}{V_{Rb}} = 5 \quad \text{Ecuación 8}$$

$$V_{Rb} = \frac{V_{Td}}{5} \quad \text{Ecuación 9}$$

V_{Rb} : Volumen del reservorio de biogás.

1.4.1.1.3. **TUBERÍA DE ENTRADA Y SALIDA DEL SUSTRATO.**-la entrada o alimentación y la salida o descarga del biodigestor se la realiza a través de un tubo PVC de 4" o de 6", dependiendo del tamaño del biodigestor, los cuales se ubican en la parte media de los extremos del plástico, van bien sujetos para evitar cualquier tipo de fuga, sus longitudes son de 50cm cada uno (17) (21).

1.4.1.1.4. **TUBERÍA DE SALIDA DEL BIOGÁS.**-la tubería que conduce el biogás es de polietileno tiene resistencia química y al desgaste, bajo peso, baja toxicidad y economía, pudiendo utilizarse tubería de 1" o de 1/2"(17) (21).

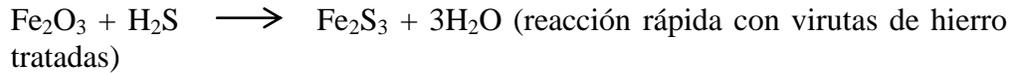
1.4.1.1.5. **VÁLVULA DE SEGURIDAD.**-Se debe procurar que la presión que existe dentro del biodigestor especialmente la generada por el biogás no se incremente demasiado de tal forma que pueda sobrepasar la resistencia del plástico que lo conforma ya que puede ocasionar fisuras que disminuyen el tiempo de durabilidad del dispositivo, para lo cual el sistema de conducción de biogás debe contar con un mecanismo de escape ubicado cerca del

biodigestor y elaborado a partir de una botella de plástico parcialmente llena de agua, permitiendo observar con facilidad el nivel del agua, la longitud de tubería que va dentro del agua depende de la presión requerida dentro del biodigestor, constituyendo así un sello de agua que permite controlar la presión dentro del digestor, siempre se debe observar que el nivel del agua se mantenga constante ya que si esta se llega a evaporar puede dejar el tubo descubierto y ocasionar la entrada de aire al digestor afectando al proceso de digestión anaerobia(14).

1.4.1.1.6. PURIFICADOR DE BIOGÁS.-Para que el biogás pueda ser utilizado es necesario eliminar el sulfuro de hidrógeno (H_2S) que viene incorporado, ya que no solo es corrosivo, sino venenoso para las personas, su presencia se puede notar por su olor característico similar a un huevo podrido. Los métodos para poder eliminar este gas son(10) (17):

- Burbujeando aire biológico para capturar el azufre dentro de la biomasa, impidiendo la formación de H_2S (10).
- Eliminando el vapor de agua que está presente en el biogás mediante su condensación, es decir producir un enfriamiento del gas para evitar la formación de ácido sulfúrico (10).
- Absorbiendo el H_2S mediante el uso de limaduras o virutas de hierro que han pasado por el siguiente proceso: primero lavarlas con detergente para que estén libres de grasas, luego sumergirlas en una solución de HCl al 5% por 5-10 minutos, retirarlas y dejarlas secar, luego dejarlas dentro de una solución de NaOH al 5% por el mismo tiempo, luego secarlas; de esta forma las virutas se han transformado en óxido férrico (Fe_2O_3) que reacciona de forma rápida con el H_2S (10) (21).





Reacciones que suceden durante el tratamiento de las virutas de hierro.



1.4.1.1.7. **ZANJA PARA EL BIODIGESTOR.**-para lo cual primero se debe identificar el lugar apropiado en el cual se ubicara el biodigestor ya que de preferencia debe ir en un lugar que este cerca a la fuente del sustrato y al lugar en el que se vaya a realizar el aprovechamiento del biogás, además de ser un espacio a que el sol lo mantenga cálido. Una vez seleccionado el sitio se procede al dimensionamiento del biodigestor ya que de ello dependerá la longitud y ancho de la zanja (6).

TABLA 8: DIMENSIONES DE LA ZANJA

DIMENSIONES DE LA ZANJA SEGÚN EL ANCHO DEL PLASTICO A UTILIZAR					
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

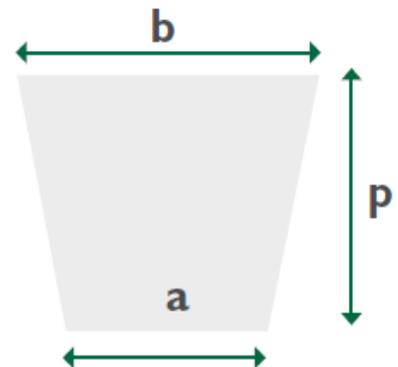


FIGURA 3: VISTA TRANSVERSAL DE LA ZANJA

1.4.1.2.PRESIÓN HIDROSTÁTICA PRESENTE EN EL INTERIOR DEL BIODIGESTOR.

Ya que el sustrato diluido en el interior del biodigestor está en reposo la única presión existente es la presión hidrostática la cual se define:

Presión hidrostática.- la presión que un fluido en reposo ejerce va a ser la misma en todas direcciones (de forma horizontal), ya que con respecto a la profundidad (dirección vertical) esta presión va irse incrementando debido a que el fluido soporta más presión mientras más cerca esta del fondo y menos presión mientras más cerca de la superficie se encuentra (16).

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P = \rho gh + P_0 \quad \text{Ecuación 10}$$

Dónde:

P : presión hidrostática

ρ : densidad del fluido (Kg/m³)

g: aceleración de la gravedad (m/s²)

h: altura del fluido (m)

P₀: es la presión ejercida por el gas producido dentro del digestor sobre el fluido (Pa).

Al estar dentro de un recipiente cerrado (biodigestor) la presión ejercida por el gas sobre el fluido se considera uniforme, además de considerarse un gas de peso muy pequeño (16).

1.4.1.3.METANO PRODUCIDO

1.4.1.3.1. POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE METANO (P_{CH_4})

Se refiere al volumen de metano producido por kilogramo de sólidos volátiles presentes en la materia orgánica [$\frac{m^3}{Kg SV}$], a continuación se presenta algunos valores de potencial de producción de metano de algunos residuos (24):

TABLA9. POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE METANO DE ALGUNOS RESIDUOS

RESIDUO ORGÁNICO	$P_{CH_4} [\frac{m^3}{Kg SV}]$,
Vaca	0,2
Res	0,35
Desecho Municipal	0,2
Cerdo	0,45
Gallina	0,39
Aguas negras	0,406

FUENTE: ENERGÍAS RENOVABLES CONCEPTOS Y APLICACIONES, SANCHEZ MIÑO SANTIAGO.

1.4.1.3.2. VOLUMEN DE METANO PRODUCIDO (V_{CH_4})

La producción de metano para biodigestores cargados con materia orgánica se puede calcular mediante las siguientes formulas tomadas del artículo Kineticanalysis of anaerobicdigestion of pigmanure and itsdesingapplications por CHEN, Y.R (9):

$$K_0 = 0,6 + 0,0006 * e^{(0,1185*SV)} \text{Ecuación 11}$$

$$U_0 = 0,013 * T - 0,129 [m^3/día] \text{Ecuación 12}$$

$$V_{CH_4} = P_{CH_4} * SV * (1 - \frac{K_0}{U_0*TR-1+K_0}) [m^3CH_4/día] \text{Ecuación 13}$$

Dónde:

K_0 : Es la descomposición de los sólidos volátiles (SV) en el tiempo, además es una cantidad adimensional.

U_0 : Crecimiento de la producción de metano con el cambio de temperatura por día $[\frac{m^3}{día}]$.

TR: tiempo de retención en días.

T: temperatura[°C].

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

CAPÍTULO II

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1.LUGAR DE INVESTIGACIÓN

El lugar de estudio se llevó a cabo en Santa Lucía de Tembo la cual se encuentra en la parte norte de la parroquia San Isidro de Patúlu. Con la ayuda de un GPS se obtuvieron datos como su ubicación, que está a una altitud de 3 219 msnm, la información climatológica se la adquirió de la estación meteorológica ESPOCH ubicada a 2853msnm, debido a que la diferencia de altura no es muy grande como se mencionó en el capítulo I, área de estudio del presente documento, de acuerdo a estos datos la temperatura promedio anual del lugar es de 13.5°C (ver anexo 2 fotografía 1) .

El área de implementación del biodigestor de preferencia debe estar entre la cocina y el establo a distancias reducidas, esto es para que la recolección de estiércol fresco cada mañana sea lo más fácil posible, a la vez que se ahorra en conducción de biogás al ser menor el recorrido (21). Nuestro biodigestor está ubicado a 8.5 m de la cocina de la familia beneficiaria y a 1.2 metros del establo donde duermen las vacas, de esa manera la recolección del estiércol se lo realiza rápidamente y sin mayor esfuerzo en cuanto a su traslado. El área del establo es un espacio adecuado para la cría de animales como se lo describió en el capítulo I, descripción de la granja , ocupando con siete cabezas de ganado vacuno, la producción mínima diaria de estiércol de cada animal es de 8,3 Kg,

proporcionando un promedio diario total de 58,3Kg de estiércol cuya obtención se explica en el procedimiento de determinación de carga diaria del presente capítulo.

2.2.DETERMINACIÓN DE LA CARGA DIARIA DE ESTIÉRCOL

2.2.1. MATERIALES

- Dos palas manuales para la recolección del estiércol.
- Un balde de 5 litros.
- Mandil, guantes, mascarillas, botas de caucho.

Equipo

- Una balanza de 100 kg.

2.2.2. MÉTODO

Se tomaron 7 vacas con un edad promedio de 5.8 años y se las ubicó en cada uno de los lugares del establo, la alimentación diaria de cada una de ellas es a base pasto y balanceado, según lo descrito en el capítulo I, Tabla 4, el excremento vacuno es un buen sustrato para la producción de biogás es por eso que se eligió el ganado vacuno a más de ser la principal especie existente en la hacienda. El tiempo promedio de estabulación de las vacas determinamos desde la noche que ingresan al establo 18:00 pm hasta 6:30am que son llevadas al pastoreo. El tiempo de estabulación de las vacas permitirá conocer la cantidad total de excretas diarias producidas por el ganado vacuno.

La materia prima para el biodigestor (estiércol de vacas) se recolectó con la ayuda de un balde de 10 litros, tomamos las palas y llenamos cada balde con el estiércol, se procedió a pesar con ayuda de una balanza analógica se sumó todas las muestras recogidas teniendo una cantidad total en 58,3 kg. La cantidad individual que genera por cada vaca está en un rango de 8,3 a 12,5 Kg. Este ensayo se realizó durante cuatro días para tener un valor

promedio considerable. El establo debe estar libre de cualquier elemento que pueda producir cortes en el interior del biodigestor por esa razón se lo limpia diariamente para que las excretas no se mezclen con materiales extraños que generalmente son llevados por el ganado al momento de ingresar al establo.

2.3.OBTENCIÓN DE LA MUESTRA PARA LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS PRE Y POST TRATAMEINTO.

2.3.1. MATERIALES

- Envases estériles
- Palas
- Guantes
- Mascarillas

2.3.2. MÉTODO

Según el muestreo aleatorio sistemático se tomó la primera muestra de estiércol al azar en un recipiente estéril, y las siguientes muestras condicionadas por la primera, se recolectaron de la misma forma bajo condiciones sépticas, obteniendo así el espécimen necesario para su posterior análisis en el laboratorio (ver anexo2).

Los análisis que se realizaron a las muestras pre y post tratamiento fueron: DBO,DQO, sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos volátiles, cenizas, pH, humedad, NPK, según lo mencionado por Cáceres, Javier Y Gutiérrez, Julio En Su Diseño Y Construcción De Un Biodigestor Plástico De Flujo Continuo (21). Estos son los parámetros principales los cuales no llevan a determinar si la materia prima es adecuada para una excelente fermentación y posterior producción de biogás.

Técnicas analíticas empleadas

La mayoría de análisis realizados a la muestra de estiércol vacuno se basan en técnicas analíticas manejadas en varias etapas experimentales, descritas en los métodos estándar para el análisis de aguas potables y residuales (APHA; AWWA; WPCF; 17 ed). Realizadas en el laboratorio de aguas de la facultad de Ciencias de la ESPOCH.

2.4.PREPARACIÓN DE MATERIA PRIMA

2.4.1. MATERIALES

- Palas manuales
- Carretillas
- Baldes de 5 litros
- Agua caliente 30° C
- Termómetro
- Tiras de pH

2.4.2. MÉTODO

Recolectamos todo el estiércol producido por las siete vacas y colocamos en dos carretillas tratando de dividir cantidades iguales, cuando se trata de estiércol vacuno la dilución estimada es de 1:1 como se menciona en el capítulo I, Factores determinantes para la producción de Biogás, colocamos por cada Kg de estiércol un litro de agua, tomando los mismos baldes que utilizamos para pesar la materia prima sólida, los llenamos con agua caliente la cual ayuda a la fermentación del sustrato durante los primeros días (15), esta debe estar en un rango de temperatura de 20-30°C la cual era controlada con un termómetro. Realizamos una mezcla con el estiércol y el agua, tratando de diluir totalmente y evitando que no quede grumos en la dilución, tomamos tiras de pH e introducimos en la mezcla controlando que esta se encuentre en un rango de 6-8 para un proceso de fermentación adecuado (13). Una vez preparada la dilución (estiércol –agua) vaciamos por

la tubería de entrada y durante los primeros días debemos tapar la tubería de entrada y salida para contribuir con el proceso de fermentación.

2.5.DIMENSIONAMIENTO Y GENERACIÓN DE PLANOS DEL BIODIGESTOR TUBULAR

Para el dimensionamiento del Biodigestor tubular o familiar se manejó una serie de ecuaciones, fórmulas y cálculos de ingeniería los mismos que nos permiten conocer longitud, diámetro y volumen del Biodigestor y la zanja donde será ubicado el mismo, estos parámetros geométricos fueron trazados en planos mediante el programa AutoCAD. (Anexo 4 planos)

2.6.CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DEL BIODIGESTOR TUBULAR O FAMILIAR

El biodigestor diseñado mediante las condiciones del lugar, la topografía y la accesibilidad a la materia prima su construcción e instalación se basa en la Guía de diseño y Manual De Instalación de Biodigestores Familiares, Martí Herrero Jaime (6).

2.6.1. EXCAVACIÓN DE LA ZANJA

2.6.1.1.MATERIALES

- Palas
- Pico
- Clavos
- Nivel
- Sacos o fundas de plástico
- Paja
- Aserrín

- Plástico de invernadero

2.6.1.2.MÉTODO

Conociendo los parámetros de dimensionamiento de la zanja mencionados en el capítulo I, componentes del Biodigestor, para un plástico de ancho dos metros y espesor 7micras; mediante la utilización de herramientas como palas y picos, cavamos una zanja con una longitud de 4.7m (l), una profundidad de 1,10 m (p), los 10cm se llenaron con el material aislante (aserrín y paja) y la base tiene un ancho de 0.7m (a), terminando en una abertura de 0.9m (b). Se nivelaron las paredes de la zanja y adicionalmente retiramos raíces y ramas presentes para que encaje el biodigestor y no se produzcan daños en la bolsa, colocamos en el fondo plástico y sacos, posteriormente esparcimos aserrín cubriendo todo el espacio, para terminar de rellenar el fondo extendemos paja de forma entrecruzada para cuando se realice la primera carga se pueda acomodar correctamente, se forraron las paredes clavando de igual manera plásticos y sacos con el fin de aislar la humedad del suelo y mantener una temperatura adecuada para favorecer con la fermentación del sustrato (ver anexo2) (11).

2.6.2. CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR

2.6.2.1.MATERIALES

- Plástico de invernadero negro
- Tuberías de polietileno de ½ pulgada
- Tubos PVC de 6 pulgadas
- Empaques
- Teflón
- Tiras de caucho
- Clavos

- Chova
- Nivel
- Sierra
- Tarraja
- Tijeras

2.6.2.2.MÉTODO

Tomamos dos mangas de plásticos negro de 7 micras de espesor , extender una de ellas en un lugar libre de piedras y ramas que puedan lastimar el plástico, la otra manga se recogió y se la extendió por el interior del primer plástico logrando que este quede cruzado y así obtener una manga doble capa, igualando los dos extremos para evitar arrugas internas, una vez que conseguimos tener la manga de plástico de doble capa perforamos un hoyo en la mitad e introducimos una rosca macho y hembra en la abertura asegurándola y ajustándola con teflón para evitar que existan fugas cuando empieza a salir el gas durante el proceso de fermentación, se colocó choba alrededor de la salida de la rosca para asegurarse más de que no haya fugas.

Cortamos dos tubos de 4 pulgadas para la entrada y salida de la materia prima cada uno de un metro, seccionamos tiras de caucho de 10 cm de grosor y envolvemos en cada uno de los extremos (bocas) de los tubos que van dentro del digestor para protegerlo de posibles rupturas ya que normalmente son ásperos, los mismos que se introducen en los extremos de la manga de plástico y así la liga se amordaza sobre sí misma y protege al plástico por el interior y evita que se rompa , se dejó fuera del plástico 20 cm del tubo y posteriormente se realizaron pliegues con el plástico hasta ponerlo en contacto con el tubo y se lo ajusta con tiras de caucho del mismo grosor para cerrar los extremos de la manga, se lo ajustó fuertemente para que no haya fugas; el mismo proceso se lo realiza por ambos lados, se midió 50 cm a partir del origen del plástico para empezar a envolverlo con las ligas quedando 30cm de la tubería sin amarrar ya que se encuentra en el interior (6).

2.7.INSTALACIÓN DEL BIODIGESTOR

Una vez que armamos el biodigestor lo trasladamos entre dos personas hacia la zanja, lo extendemos a lo largo de la zanja colocando correctamente la entrada y la salida del mismo, de manera que las tuberías queden bien ubicadas y faciliten tanto el ingreso como la salida del sustrato.

Construimos una caseta con un plástico de invernadero, lo primero es colocar dos palos en los dos extremos de la zanja con 1m de separación de ella, estos palos podrán ser redondos o cuadrados de 1 metro de longitud. Conviene enterrar los palos para que tengan mayor fijación, cruzamos a lo largo de los dos palos una caña guadua de 5,5m de largo y colocamos por encima el plástico de invernadero. De esta manera, la carpa solar se apoyará sobre la caseta con la finalidad de que se mantenga la temperatura en días soleados logrando un efecto de tipo invernadero que se necesita para el proceso de producción de biogás. Unimos una tubería de 1/2 a la rosca que colocamos en el centro del biodigestor y la sacamos por la carpa solar realizando una abertura para llevar el resto de tubería hacia la casa donde se utilizará el biogás, de igual manera se debe sellar la abertura después de sacar la tubería con choba para evitar que ingrese agua durante los días de lluvia.

2.7.1. VÁLVULA DE SEGURIDAD

2.7.1.1.MATERIALES

- Botella plástica de soda de 3 L
- Tijeras
- Tee
- Agua
- Tubería PVC 1/2 "

2.7.1.2.MÉTODO

Tras la salida de la tubería de la carpa solar mencionada en el proceso de instalación del sistema de tuberías, capítulo I, a 40cm se colocó una tee la misma que posee tres piernas, dos de ellas ocupada por la tubería para la conducción del gas, mientras que en la tercera se colocó una tubería de ½" de 40cm, en ella se encajó una botella de gaseosa de 3L y se hizo una abertura en la parte superior con la finalidad de colocar agua cuando esta se haya evaporado. La botella se sujeta con un alambre para que esta no caiga y la tubería este sumergida a la distancia correcta para controlar la presión del sistema. Como se ha mencionado en la Guía de diseño y Manual De Instalación de Biodigestores Familiares, Martí Herrero Jaime (6), la presión va a estar determinada por la altura del lugar, la distancia que existe entre el digestor y la cocina y el tipo de estufa que se va a utilizar, cuando a mayor altura se presenta el lugar menor presión debe existir y menos tiene que estar sumergida, la tubería se la sumergió así unos 8cm de acuerdo a 3 063 m.s.n.m de altura a la que está ubicada la vivienda. Cuando se culmine con el tiempo de retención establecido (39 días) y se empiece con la utilización del gas si al momento de encender la estufa la llama no tiene fuerza se puede manipular la presión del sistema sumergiendo más la tubería de la válvula de presión a unos 13- 15cm o colocando costales rellenos con tierra de pesos iguales encima del biodigestor.

2.7.2. FILTRO

2.7.2.1.MATERIALES

- Tubería PVC
- Virutas de hierro

Sustancias

- HCl al 5%
- NaOH al 5%

2.7.2.2.MÉTODO

Primero se las lavó las virutas de hierro con detergente para que estén libre de grasas, luego se las sumergió en una solución de HCl al 5% por 10 minutos, se las extrae y se dejó secar, luego se las colocó en una solución de NaOH al 5% de igual forma por el mismo tiempo y se las dejó secar, de esta forma las virutas se transforman en óxido férrico (Fe_2O_3) compuesto que reacciona de forma rápida con el H_2S (10). Una vez preparadas las virutas se colocó dentro de una tubería de 1" de 37 cm de longitud, para después de esta continuar con la conducción normal del biogás, de esa manera se pudo controlar el olor en un 98%, proceso mencionado en el capítulo I, purificador de biogás,

2.7.3. CONDUCCIÓN DEL BIOGÁS

2.7.3.1.MATERIALES

- 4 codos PVC de ½"
- 3 Llaves de bola de ½"
- 2 Tee de ½" de plástico
- 13m de Tubería PVC ½"
- 2 Reducciones de 1" a ½"
- Tarraja
- Teflón
- 1 adaptador de ½" de tubo a manguera
- 2 abrazaderas de ½"
- 1.5m de manguera PVC punto rojo de ½".
- 2 llaves de tubo
- 1 universal de ½"
- 2 uniones de ½"

2.7.3.2.MÉTODO

A partir de la rosca central del biodigestor levantamos 1.20m de tubería la cual sale de la carpa solar que lo cubre, a continuación se acopla un codo de 90° para dar dirección a la tubería, luego de 40cm de tubería instalada colocamos una tee de ½, en la pierna inferior enroscamos 40cm de tubería PVC la cual forma parte de la válvula de seguridad, en el otro extremo se continua con 10cm de tubería la cual va acoplada a una válvula de bola la cual sirve para enviar o detener la salida del biogás, después de haber instalado 57cm de tubería a partir de la válvula se continua con un codo para dirigir 1,40 m de tubería hacia el suelo, continuando con un codo de 90° al cual se le conectó 7,6m de tubería, al término de esta se adaptó un filtro de 36cm, de 1 pulgada de diámetro.

A partir del filtro colocamos una tee de ½, su lado horizontal va adaptado a una válvula de bola la cual ayuda a regular la cantidad de biogás que sale a la cocineta mediante un adaptador de llave a manguera se une 1,5m de manguera de ½ punto rojo PVC para finalizar con la unión de esta a la hornilla de la cocineta. Por el lado vertical de la tee unimos 15cm de tubería, ajustamos una válvula de bola la cual permite la entrada o salida del biogás del reservorio.

2.8.DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE OBTENCIÓN DE BIOGÁS.

2.8.1. MATERIALES

- Cocina industrial
- Olla
- Fósforos
- Cronómetro

2.8.2. MÉTODO

Una vez culminados los días de retención (39 días), capítulo I, Tiempo de permanencia del sustrato en el Biodigestor, tras un arduo monitoreo y control de parámetros como la temperatura, presión, pH y la preparación de la materia prima, el biodigestor se encontraba lleno de biogás, para determinar el tiempo que duraría el gas se colocó sobre la cocineta una olla grande con 40 litros de agua y se encendió la hornilla, al ver que la llama no era lo suficientemente fuerte se controló la presión mediante: dos sacos de 50kg de tierra ubicados en la parte superior y media(salida del biogás) del biodigestor, además la tubería de la válvula de seguridad se sumergió 15cm. Con la ayuda de un cronómetro se determinó el tiempo que duró el gas hasta dejar el biodigestor vacío.

2.9.MONITOREO Y CONTROL

Durante el tiempo que se realizó la carga diaria se registraron parámetros que ayudaron con la de producción de biogás. La temperatura y humedad del interior de la carpa solar se determinaba antes de colocar el sustrato ya que con estas trabajó el biodigestor. Se registraron los kg diarios de estiércol producido por el ganado vacuno, mientras que de la mezcla de agua y estiércol se controlaba el pH tanto a la entrada como la salida del biodigestor.

2.10. MANUAL DE OPERACIÓN

2.10.1. IMPORTANCIA

Su conocimiento y uso facilitará la operación del biodigestor tubular, puesto que se indica todos los pasos a seguir durante su funcionamiento.

2.10.2. OPERACIÓN

2.10.2.1. MONITOREO

- Controlar el pH del sustrato de salida para evitar una alteración en el proceso de fermentación.
- Con un termómetro se tomaba la temperatura dentro de la caseta plástica donde se encontraba el biodigestor.
- Controlar la presión ya que la altura de la columna de agua en la válvula de seguridad depende de la presión atmosférica del área.
- Cuando el Biodigestor alcanza su volumen máximo se hizo pruebas de olor, llama del biogás.

2.10.2.2. RECOLECCIÓN DEL ESTIÉRCOL

De preferencia se debe realizar la carga diaria a la misma hora todos los días para de esta manera ayudar a una mejor digestión de la materia prima la hora escogida fue 7am.

2.10.2.3. HERRAMIENTAS

- 2 Carretillas
- 2 Lampas
- 4 baldes de 10 litros de capacidad
- 1 romanilla

2.10.2.3.1. PROCEDIMIENTO:

- a) Con las lampas recolectar el estiércol del ganado en los baldes de 10litros pesar cada uno con la romanilla hasta completar el valor de la carga diaria, al momento de pesar los baldes tomar en cuenta el peso tanto vacío como lleno para tener un valor de carga diaria más preciso.
- b) Distribuir equitativamente el peso entre las dos carretillas y llevarlo al lugar de preparación.

2.10.2.4. PREPARACIÓN DE LA CARGA DIARIA

2.10.2.4.1. PROCEDIMIENTO:

- a) Calentar el agua a una temperatura entre 20-30 °C controlando mediante un termómetro, ya que debido a la altura del lugar las mañanas suelen ser heladas y el agua es demasiado fría entre 3-5 °C.
- b) Realizar la dilución en concentración 1:1 para lo cual se pesa con la romanilla una cantidad igual de agua a la del estiércol contenido en cada carretilla.
- c) Con las lampas mezclar hasta que este homogéneo y no exista grumos.
- d) Antes de hacer la carga se controla el pH debe oscilar entre 6-8.

2.10.2.5. CARGA DIARIA

2.10.2.5.1. PROCEDIMIENTO:

- a) Por la tubería de entrada del sustrato alimentar al biodigestor con la mezcla preparada
- b) Durante los primeros 30 días se tapa la entrada y salida del mismo para una rápida fermentación, a partir de este día el sustrato llegó al límite dentro del biodigestor este empezó a emerger por lo tanto cada vez que se realizaba la carga se recolectó el biól que salía, para de esta forma ayudar a controlar la presión dentro del digestor y evitar rupturas en el plástico.

CAPÍTULO III

CÁLCULOS DE DISEÑO

CAPÍTULO III

3. CÁLCULOS DE DISEÑO

3.1.VOLUMEN DEL BIODIGESTOR

Para el dimensionamiento del biodigestor se utilizó la cantidad de estiércol producido por 7 vacas de las siguientes características:

Su peso fue determinado por el método de *Quetelet*(5):

$$Pv = Pt^2 \times Lo \times Constante$$

Dónde:

Pv: Peso vivo(Kg)

Pt: Perímetro torácico tomado tras de la cruz, espalda y codo.

Lo: longitud del animal medido desde el hombro hasta la punta de la nalga (anexos 2 fotografía2).

Constante: para hembras es de 87,5 y para machos es de 99.

TABLA 10: MEDIDAS DEL GANADO VACUNO

Nombre	Perímetro del tórax (m)	Largo del animal (m)
Maricusa	1,71	1,37
Salomé	1,76	1,40
Maribel	1,72	1,38
Valentina	1,69	1,35

Samanta	1,87	1,50
Juliana	1,84	1,43
Isabel	1,86	1,48

FUENTE: AUTORES

Mediante la aplicación de la formula anterior tenemos en valor del peso vivo de las cabezas de ganado. Ejemplo:

Maricusa

$$Pv = 1,71^2 \times 1,37 \times 87,5$$

$$Pv = 350,53 \text{ Kg}$$

TABLA 11: CARACTERÍSTICAS DEL GANADO VACUNO UTILIZADO

Arete #	Nombre	Edad (años)	Raza	Peso (Kg)
9582	Maricusa	3	Jersey F1	350,53
9585	Salomé	4	Holstein	379,46
9590	Maribel	3	Holstein	357,23
9591	Valentina	3	Holstein	374,86
9594	Samanta	4	Brown Swiss	458,97
9597	Juliana	2	Holstein	423,62
9598	Isabel	6	Brown Swiss	448,02

FUENTE: AUTORES

3.1.1. VOLUMEN DE CARGA

Debido que para la realización de la carga se utilizó estiércol fresco con una humedad de del 83,45%, por lo cual se puede asumir que 1Kg de residuo es igual a 1 litro de agua.

TABLA 12 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE EXCRETAS DIARIAS

Cantidad de excretas / día en Kg			
día1	día 2	día3	dia4
58,2	57,9	58,4	58,7

FUENTE: AUTORES

$$Ced = \frac{58,4 + 57,9 + 58,4 + 58,7}{4}$$

$$Ced = \frac{233,3}{4}$$

$$Ced = 58,3 \text{ Kg/d}$$

La cantidad de sustrato que ingresa en el biodigestor viene determinada por la relación existente entre el sustrato y agua, lo cual se lo realizo tomando en cuenta las pruebas experimentales realizadas en el laboratorio realizadas por los tesisas Sebastián Lara y María Belén Chimborazo, a distintas relaciones de concentración dando mejor resultado la proporción 1:1.

De acuerdo a la ecuación 1 tenemos:

$$C_d = 58Kg \text{ estiercol} + 58 Kg \text{ agua}$$

$$C_d = 116 Kg$$

La determinación del volumen de carga total viene dado por el tiempo de retención que en nuestro caso es de 39 días (14).

De acuerdo a la ecuación 3 tenemos que el volumen líquido se calcula de la siguiente manera:

$$V_l = 116Kg * 39 d$$

$$V_l = 4524 Kg = 4524 l = 4,524 m^3$$

3.1.2. VOLUMEN DE METANO PRODUCIDO

De acuerdo a varias bibliografías consultadas entre ellas tenemos los trabajos de implementación realizados: en la hacienda San Antonio perteneciente a la ESPE, en la EPN, y los implementados en La Paz-Bolivia; en los cuales se considera que el 75% del volumen del digester está constituido por la fase líquida y el 25 % por la fase gaseosa, este volumen a la vez sirve como gasómetro o campana de biogás.

De acuerdo a la ecuación 4 tenemos que el volumen del biogás es:

$$V_g = \frac{0.25}{0.75} \times 4,52 m^3$$

$$V_g = 1,51m^3$$

El volumen total del biodigestor será ecuación 2:

$$V_{Td} = (4,524 + 1,51)m^3$$

$$V_{Td} = 6,03 m^3$$

3.2. DIÁMETRO DEL BIODIGESTOR

Una vez calculado el volumen del biodigestor se puede determinar las dimensiones del biodigestor, tomando como referencia el ancho de la membrana de polietileno tubular seleccionada que en nuestro caso tiene 4m de perímetro.

Calculo del diámetro del biodigestor, ecuación 5:

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

$$D = 1,27m$$

3.3.LONGITUD DEL BIODIGESTOR

Para lo cual se tomó al biodigestor como un cilindro, para lo cual nos basamos en la ecuación 7:

$$L = \frac{4 \times 6,03m^3}{\pi \times 1.273m^2}$$

$$L = \frac{4 \times 6,03m^3}{\pi \times 1,27m^2}$$

$$L = 4,74m$$

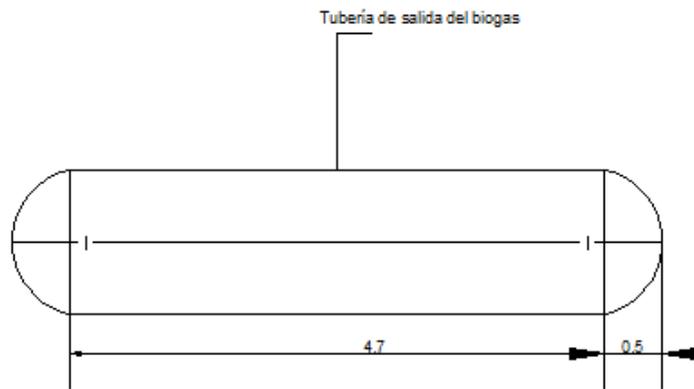


FIGURA 4: DIMENSIONES DEL BIODIGESTOR

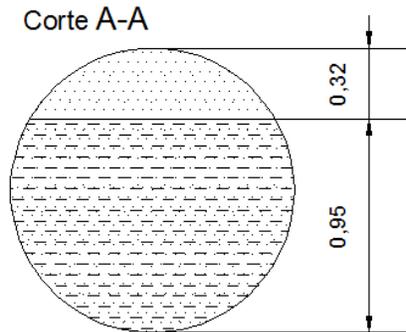


FIGURA 5: CORTE A-A DEL BIODIGESTOR

3.4.VOLUMEN DEL RESERVORIO O TANQUE DE BIOGÁS

De acuerdo a la ecuación 9 tenemos:

$$V_{Rb} = \frac{6,03m^3}{5}$$

$$V_{Rb} = 1,20m^3$$

Conocido el volumen podemos calcular sus dimensiones:

$$L = \frac{4 \times 1,20m^3}{\pi \times 1,27m^2}$$

$$L = 1,20\text{m}$$

3.5.CÁLCULO DE PRESIÓN HIDROSTÁTICA EN EL INTERIOR DEL BIODIGESTOR

El siguiente grafico nos indica la forma en que se distribuye la presión en las paredes del digestor:

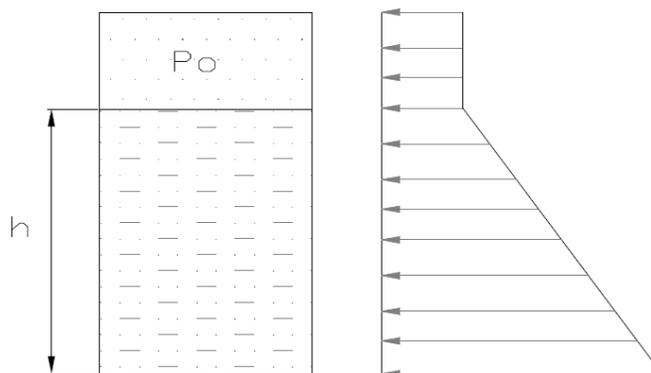


FIGURA 6: DISTRIBUCIÓN DE LA PRESIÓN DENTRO DEL BIODIGESTOR

De acuerdo al grafico se puede observar que la presión en el fluido se incrementa de forma vertical de arriba hacia abajo y la presión que ejerce el gas sobre el fluido es uniforme. Tomando en cuenta todo esto la presión que se va a calcular es la generada en el punto más bajo, dicho esto tenemos que la presión generada en el interior del biodigestor será igual a la suma de presión generada por el gas más la presión generada por el fluido.

Siendo P_o la presión ejercida por el gas la cual es igual a la longitud del tubo sumergido en la botella expresado como mm de columna de agua, más la presión atmosférica que existe en la válvula de seguridad la cual depende de la altitud del lugar. Debido a que el lugar en el que se realizó el proyecto está ubicado a una altitud de 3219msnm la presión atmosférica es de 0,67 atm que equivalen a 67,89 KPa.

Debido a que la presión ejercida por el agua sobre el gas en la válvula de seguridad vario se tiene dos presiones la primera correspondiente a los primeros 20 días de funcionamiento en los cuales la longitud del tubo dentro del agua fue de 13cm en la válvula de seguridad y la segunda del resto de días de retención en los que la longitud fue de 3cm.

3.5.1. PRESIÓN INICIAL (PRIMEROS 20 DÍAS DEL TIEMPO DE RETENCIÓN)

1mm de columna de H₂O =9,81 Pa

$P_o = 130\text{mm de columna de H}_2\text{O} + P \text{ atmosférica}$

$$P_o = 1274,86 \text{ Pa} + 67890 \text{ Pa}$$

$$P_o = 69164,86 \text{ Pa} = 69,16 \text{ KPa}$$

La presión hidrostática se calcula mediante la ecuación 10, tomando en cuenta que al fluido se lo considera tener la misma densidad que el agua:

ρ : densidad del fluido 1000 Kg/m³

g : aceleración de la gravedad 9,8m/s².

h : altura del fluido 0,9525 m.

P_0 : 69 164,8645Pa

$$P = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,95\text{m} + 69\ 164,86 \text{ Pa}$$

$$P = 78\ 49,36\text{Pa} = 78,5 \text{ KPa}$$

3.5.2. PRESIÓN FINAL

$P_o = 30\text{mm de columna de H}_2\text{O} + P \text{ atmosférica}$

$$P_0 = 294,2 \text{ Pa} + 67\,890 \text{ Pa}$$

$$P_0 = 68\,184,2 \text{ Pa} = 68,18 \text{ KPa}$$

La presión hidrostática se calcula mediante la ecuación 10, tomando en cuenta que al fluido se lo considera tener la misma densidad que el agua:

ρ : densidad del fluido 1000 Kg/m^3

g : aceleración de la gravedad $9,8 \text{ m/s}^2$.

h : altura del fluido $0,95 \text{ m}$.

P_0 : $69\,164,86 \text{ Pa}$

$$P = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,95 \text{ m} + 68\,184,2 \text{ Pa}$$

$$P = 77\,518,7 \text{ Pa} = 77,5 \text{ KPa}$$

3.6. VOLUMEN DE METANO PRODUCIDO (V_{CH_4})

Para determinar de forma teórica el volumen de metano producido diariamente se hizo uso de las ecuaciones 11, 12 y 13; Para la aplicación de dichas ecuaciones se hizo uso de los siguientes datos:

TABLA 13: TEMPERATURA DEL BIODIGESTOR Y TIEMPO DE RETENCIÓN

Fecha	Tiempo de Retención	T(°C) Promedio Biodigestor
29/10/2013	2	27,25
30/10/2013	3	26,2
31/10/2013	4	25,9
01/11/2013	5	23,95
02/11/2013	6	24
03/11/2013	7	25,85
04/11/2013	8	24,5
05/11/2013	9	26,95
06/11/2013	10	26,35

07/11/2013	11	25,2
08/11/2013	12	26,7
09/11/2013	13	26
10/11/2013	14	26,6
11/11/2013	15	25,2
12/11/2013	16	23,25
13/11/2013	17	25,05
14/11/2013	18	25,9
15/11/2013	19	25,9
16/11/2013	20	25,85
17/11/2013	21	25,2
18/11/2013	22	23,95
19/11/2013	23	24,3
20/11/2013	24	24,8
21/11/2013	25	26,3
22/11/2013	26	25,8
23/11/2013	27	27,8
24/11/2013	28	25,8
25/11/2013	29	30,2
26/11/2013	30	29,05
27/11/2013	31	29,25
28/11/2013	32	27,75
29/11/2013	33	29,9
30/11/2013	34	31,6
01/12/2013	35	24,7
02/12/2013	36	29
03/12/2013	37	25,9
04/12/2013	38	26,4
05/12/2013	39	25,3
06/12/2013	40	26,8
07/12/2013	41	26,1
08/12/2013	42	25,5
09/12/2013	43	25,5
10/12/2013	44	24,7
11/12/2013	45	22,95
12/12/2013	46	28,95

FUENTE: AUTORES

Para el cálculo del volumen de metano producido durante todos los días del tiempo de retención se conserva el mismo valor de sólidos volátiles de 0,81 Kg SV/día y de potencial de producción de metano $P_{CH_4} = 0,2 \frac{m^3}{Kg SV}$ de acuerdo a la tabla 10 del capítulo I.

Ejemplo:

Día 2 Del Tiempo De Retención

$$K_0 = 0,6 + 0,0006 * e^{(0,1185*0,81)}$$

$K_0 = 0,60$ (este valor se considera constante para todos los días del tiempo de retención)

$$U_0 = 0,013 * 27,25 \text{ } ^\circ\text{C} - 0,129$$

$$U_0 = 0,23 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$V_{CH_4} = 0,2 \frac{m^3 CH_4}{Kg SV} * 0,81 \frac{Kg SV}{\text{día}} * \left(1 - \frac{0,60}{0,23 * 2 - 1 + 0,60}\right)$$

$$V_{CH_4} = -1,74 \frac{m^3 CH_4}{\text{día}}$$

Luego de aplicar las mismas ecuaciones en los 46 días que conformaron el tiempo de retención debido a que en cada uno de ellos la temperatura promedio fue diferente, llegamos a obtener los siguientes resultados:

TABLA 14: VOLUMEN DE METANO PRODUCIDO DURANTE 46 DÍAS

Tiempo de Retención	Ko	Uo	$V_{CH_4} \frac{m^3 CH_4}{\text{día}}$	Volumen de Metano Acumulado
2	0,60	0,23		
3	0,60	0,21		
4	0,60	0,21		
5	0,60	0,18		

6	0,60	0,18	0,02	0,02
7	0,60	0,21	0,07	0,09
8	0,60	0,19	0,07	0,17
9	0,60	0,22	0,10	0,27
10	0,60	0,21	0,11	0,37
11	0,60	0,20	0,11	0,48
12	0,60	0,22	0,12	0,60
13	0,60	0,21	0,12	0,72
14	0,60	0,22	0,13	0,84
15	0,60	0,20	0,12	0,97
16	0,60	0,17	0,12	1,09
17	0,60	0,20	0,13	1,22
18	0,60	0,21	0,13	1,35
19	0,60	0,21	0,13	1,49
20	0,60	0,21	0,14	1,62
21	0,60	0,20	0,14	1,76
22	0,60	0,18	0,14	1,89
23	0,60	0,19	0,14	2,03
24	0,60	0,19	0,14	2,17
25	0,60	0,21	0,14	2,31
26	0,60	0,21	0,14	2,45
27	0,60	0,23	0,15	2,60
28	0,60	0,21	0,14	2,74

29	0,60	0,26	0,15	2,89
30	0,60	0,25	0,15	3,04
31	0,60	0,25	0,15	3,19
32	0,60	0,23	0,15	3,34
33	0,60	0,26	0,15	3,49
34	0,60	0,28	0,15	3,64
35	0,60	0,19	0,15	3,79
36	0,60	0,25	0,15	3,94
37	0,60	0,21	0,15	4,08
38	0,60	0,21	0,15	4,23
39	0,60	0,20	0,15	4,38
40	0,60	0,22	0,15	4,53
41	0,60	0,21	0,15	4,68
42	0,60	0,20	0,15	4,83
43	0,60	0,20	0,15	4,98
44	0,60	0,19	0,15	5,13
45	0,60	0,17	0,15	5,28
46	0,60	0,21	0,15	5,43

FUENTE: AUTORES

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.RESULTADOS

4.1.1. CÁLCULOS DE DISEÑO

TABLA 15: RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE DISEÑO DEL BIODIGESTOR

DISEÑO DEL BIODIGESTOR		
Parámetro	Resultado	Unidad
Tiempo de retención	39	Días
Cantidad de excretas	58,3	Kg/día
Cantidad del sustrato	116	Kg
Volumen del líquido	4,52	m ³
Volumen de metano producido	1,51	m ³
Volumen total del Biodigestor	6,03	m ³
Diámetro del Biodigestor	1,27	M
Longitud del Biodigestor	4,7	M
Volumen del reservorio de biogás	1,20	m ³

Presión Inicial (primeros 20 días del tiempo de retención)	78,5	KPa
Presión Final	77,5	KPa

FUENTE: AUTORES

4.1.2. TEMPERATURAS PROMEDIO OBTENIDAS EN EL INTERIOR DEL INVERNADERO Y AMBIENTE

TABLA 16: TEMPERATURAS PROMEDIO OBTENIDAS PARA EL TR.

Fecha	T °C Promedio Ambiente	T °C Promedio Invernadero
28/10/2013	16,8	26,5
29/10/2013	15,4	27,25
30/10/2013	15,6	26,2
31/10/2013	15,5	25,9
01/11/2013	16,05	23,95
02/11/2013	15	24
03/11/2013	15,5	25,85
04/11/2013	16,2	24,5
05/11/2013	16,9	26,95
06/11/2013	16,3	26,35
07/11/2013	16,4	25,2
08/11/2013	16,1	26,7
09/11/2013	15,6	26
10/11/2013	16	26,6
11/11/2013	16,6	25,2
12/11/2013	14,5	23,25
13/11/2013	15,4	25,05
14/11/2013	13,2	25,9
15/11/2013	14,65	25,9
16/11/2013	15,7	25,85
17/11/2013	15,1	25,2
18/11/2013	16,9	23,95
19/11/2013	15,2	24,3
20/11/2013	14,12	24,8
21/11/2013	14	26,3
22/11/2013	14,8	25,8

23/11/2013	16,3	27,8
24/11/2013	15,8	25,8
25/11/2013	17,7	30,2
26/11/2013	16,6	29,05
27/11/2013	16,8	29,25
28/11/2013	16,8	27,75
29/11/2013	15,3	29,9
30/11/2013	15,1	31,6
01/12/2013	14,7	24,7
02/12/2013	16,5	29
03/12/2013	15,9	25,9
04/12/2013	16,4	26,4
05/12/2013	15,3	25,3
06/12/2013	16,8	26,8
07/12/2013	16,1	26,1
08/12/2013	15,5	25,5
09/12/2013	15	25,5
10/12/2013	14,7	24,7
11/12/2013	12,3	22,95
12/12/2013	16,4	28,95

FUENTE: AUTORES

4.1.3. ANÁLISIS DE LABORATORIO

TABLA 17: RESULTADOS DE ANÁLISIS

Parámetro	Estiércol	Biól día 46	Unidades
DQO	23500	8000	mg/Kg
DBO	19400	4900	mg/Kg
Sólidos Volátiles	13852	520	mg/Kg
sulfuros	48	0	mg/L
pH	6,91	7,5	
N	0,7	0,71	%
P	1,7	3,84	%
K	4,5	1,54	%
	Biól Día 39	Biól Día 46	
pH	6,8	7,5	

N	0,45	0,71	%
P	3,68	3,84	%
K	1,47	1,54	%

FUENTE: LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS Y DEPARTAMENTO DE SUELOS ESPOCH

4.2.DISCUSIÓN

4.2.1. CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN Y MONITOREO DEL BIODIGESTOR

4.2.1.1.DÍA 28 DE OCTUBRE - 13 DE NOVIEMBRE (TIEMPO DE RETENCIÓN 1-14 DÍAS)

Durante este periodo se realizó de forma normal la carga diaria controlando parámetros como la temperatura dentro del invernadero, pH del sustrato, en el transcurso de estos días se observó un leve aumento en el volumen del biodigestor comprobando de esta manera el cumplimiento de lo mencionado en el capítulo I, en la descripción del proceso de la digestión anaerobia(hidrólisis, acidogénesis) siendo aún más notable la etapa de metanogénesis el día catorce ya que el biodigestor se infló totalmente y al acercar una vela encendida al final de la tubería se produjo una pequeña llama la cual duró pocos segundos.

4.2.1.2.DÍA 14 DE NOVIEMBRE - 12 DE DICIEMBRE (TIEMPO DE RETENCIÓN 14- 46DÍAS)

Desde el día 14 de noviembre el biodigestor se mantuvo completamente lleno, observando el día 17 de noviembre pequeñas aberturas en la manga externa del biodigestor debido a una sobre presión en su interior de 78,5KPa por lo cual se reguló la presión a 77,5 KPa disminuyendo la longitud del tubo sumergido dentro del agua en la válvula de seguridad de 13cm a 3cm, esto sucedió debido a que la instalación inicial se la realizo según la Guía de diseño y Manual De Instalación de Biodigestores Familiares, Martí Herrero Jaime, ya que

esta se asemejaba a las condiciones ambientales presentes en el lugar del proyecto, existiendo una diferencia de altitud de los dos lugares ya que al encontrarse el altiplano boliviano a una altitud de 3600- 4000msnm la presión atmosférica es menor (0,641-0,6089 atm) por lo cual en ese lugar los mm de columna de agua debe ser mayor en la válvula de seguridad, en cambio la altitud en la que está ubicado el biodigestor es de 3219msnm siendo menor a la citada anteriormente por lo cual la presión atmosférica era mayor de 0,67atm, siendo así los mm de columna de agua disminuidos.

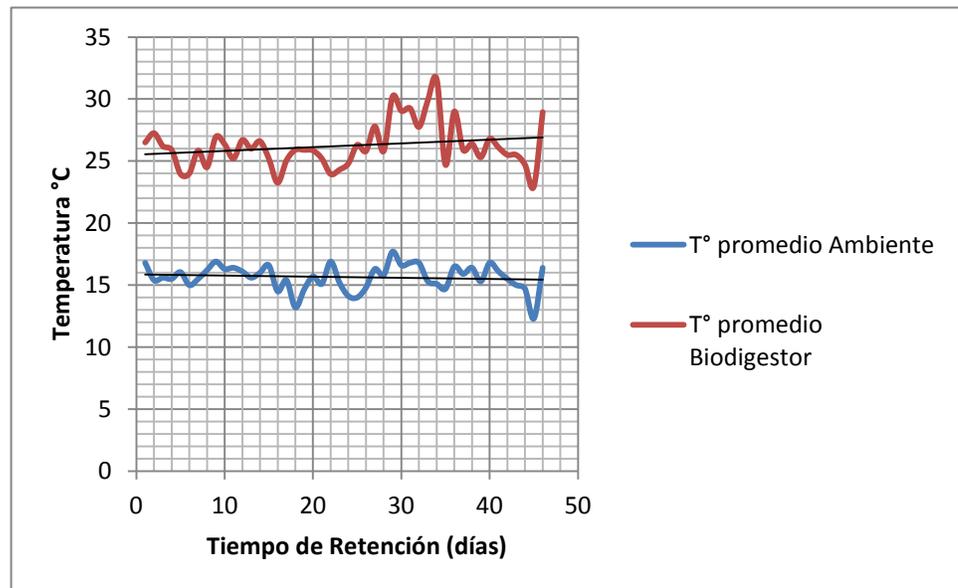
A partir del día 26 de noviembre empezó la salida de pequeñas cantidades de biól conjuntamente en las mañanas se realizaban pruebas del biogás que se producía. Estas pruebas consistían en acercar una vela encendida observando que el color de la llama durante los primeros días tomaba un color amarillo por la presencia de gases como CO₂ y sulfuro de hidrógeno ya que por existencia de este último el gas emitía un olor comparado a huevo podrido llegando este a dispersarse varios metros a la redonda, verificando lo mencionado en la parte componentes del biodigestor (capítulo I), para lo cual en la instalación inicial de la tubería de conducción del biogás se colocó un filtro que contenía limaduras de hierro sin ser tratadas previamente según la tesis Diseño y Construcción de un Biodigestor para Pequeñas y Medianas Granjas de la Politécnica Nacional, al notar que no existía una disminución de olor que emitía el biogás tratamos las limaduras de acuerdo a lo sugerido en la tesis Optimización de un Biodigestor en la Depuración de Agua residual con Estiércol de Ganado Bovino de la Universidad Politécnica Salesiana y a lo expresado en el capítulo I, componentes del biodigestor, disminuyó el olor en un 95% por que no se apreció olor alguno y los propietarios podían circular apaciblemente por la cocina incluso pegarse a la estufa; al término del tiempo de retención la llama iba tornándose más azul y manteniéndose encendida durante más tiempo.

La mayor parte de los días en los que se desarrolló el proyecto presentaron una temperatura cálida con tardes muy soleadas llegando a una temperatura de hasta 54° C dentro del invernadero, y observando que el biodigestor durante estos días producía mayor cantidad de biogás ya que el volumen del mismo se inflaba completamente en tiempos

cortos(dos horas) después de haber realizado una completa evacuación de biogás, además con dicha temperatura existía un aumento de la presión dentro del biodigestor siendo controlada por la salida del biogás a través de la válvula de seguridad mediante el burbujeo observado (ver anexo2 fotografía 29). En un periodo corto de días fríos (primeros días de diciembre) con una temperatura dentro del invernadero de máximo 28°C el comportamiento del biodigestor era diferente ya que se demoraba dos días en inflarse completamente, no aumentaba considerablemente la presión ya que la válvula de seguridad se mantenía estable.

Cumplido el tiempo de retención día 39 al realizar los análisis del biól y al percibir un fuerte olor se determinó una falta de degradación del sustrato para ser utilizado posteriormente como abono, para lo cual a partir de ese día realizada la carga se procedió a tapar la tuberías de entrada y salida, para de esta forma poder acelerar la degradación.

4.2.2. CONTROL DE TEMPERATURA

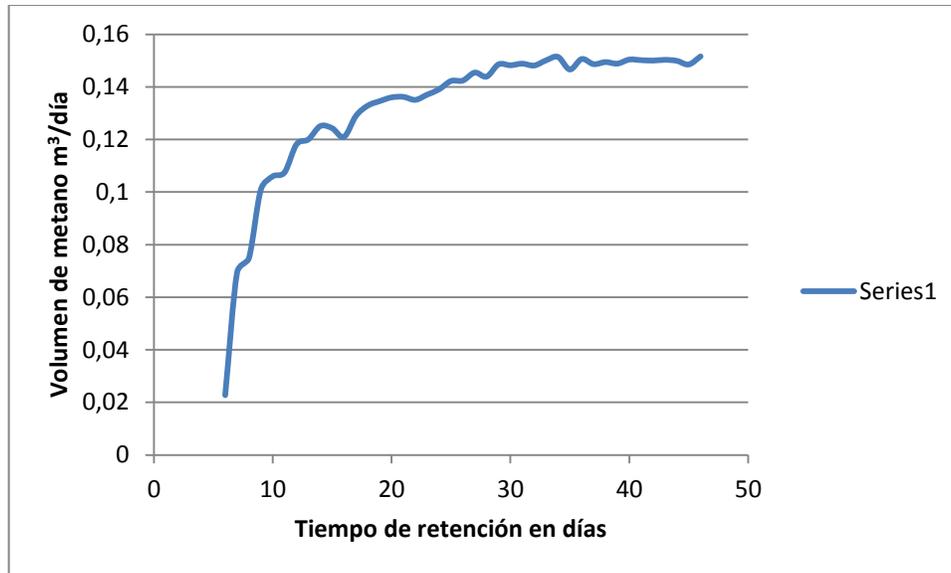


GRÁFICA 3: VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA

Como podemos apreciar en la gráfica obtenida a partir de la tabla 16 la variación de la temperatura promedio diaria que existe dentro el invernadero que cubre al biodigestor oscila entre 20-35 °C, mientras que la temperatura ambiente se encuentra entre 10-20°C; esta diferencia se debe al aislamiento térmico realizado según lo descrito en el capítulo II, Construcción e Instalación del Biodigestor, lo que nos permitió tener una variación de temperatura en días fríos de 3-5 °C, mientras que en días cálidos era de 15-20 °C, con respecto a la temperatura ambiente(Tabla 16).

Además podemos observar que a partir del día 39 la temperatura del biodigestor tiene un comportamiento similar a la temperatura ambiente lo cual indica una estabilización del biodigestor coincidiendo de esta forma lo indicado en la teoría capítulo I Factores determinantes para la producción de biogás. En los primeros días del tiempo de retención hasta aproximadamente el cuarto día no hay un incremento notable de temperatura dentro del biodigestor debido a que las bacterias están en periodo de adaptación a las condiciones del medio, a partir de ese día existen incrementos notables de temperatura del biodigestor ya que una vez que las bacterias se han adaptado se presenta la fase de crecimiento exponencial la cual presenta una velocidad que se va incrementando poco a poco hasta llegar a su máximo valor y permanecer constante (20).

4.2.3. VOLUMEN DE BIOGÁS PRODUCIDO



GRÁFICA 4: PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

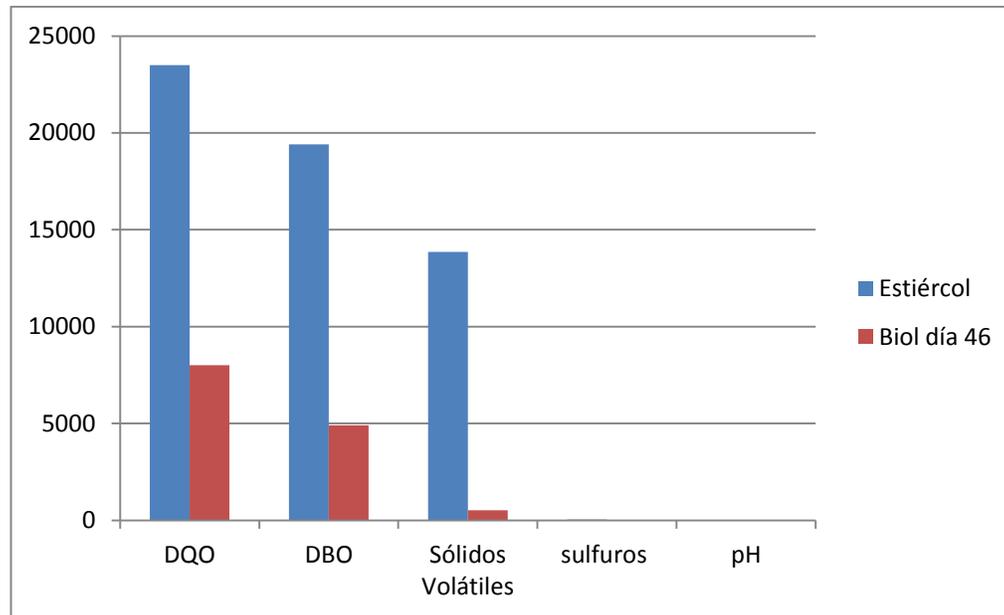
La gráfica se realizó a partir de la tabla 14 del capítulo III, en la cual los primeros resultados son negativos, los cuales se deben a las primeras etapas de digestión anaerobia (capítulo I, Descripción del proceso de digestión anaerobia) en las cuales existe una transformación enzimática de los compuestos de alto peso molecular hasta llegar a estabilizarse en la fase de metanogénesis (valores positivos), observando un aumento en la producción de biogás en días contiguos con caídas de volumen que coinciden con la disminución de la temperatura.

4.2.4. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

4.2.4.1. SÓLIDOS VOLÁTILES

Los sólidos volátiles representan la cantidad de sólidos que pueden ser transformados en Biogas (16), observando los resultados expresados en la grafica nos indican que hubo una producción de biogás a partir del estiércol fresco en un 96,24%.

4.2.4.2.DBO5, DQO



GRÁFICA 5: COMPARACIÓN DE ESTIERCOL VS BIOL

Gráfica generada a partir de la Tabla 17.

El DBO5 es igual a la cantidad de materia orgánica a ser degradada, el porcentaje de reducción de carga oscila en un 60-90% en el proceso pos tratamiento, dependiendo directamente del tiempo de retención y de la temperatura del biodigestor (18). Observando en la gráfica de barras una disminución del 74,74%, lo cual indica que se cumple con el rango mencionado anteriormente, siendo similar al porcentaje promedio de degradación 85,34% obtenido en la Tesis Diseño de un Biorreactor y Conducción del Biogás realizado por Sebastián Lara y María Belén Chimborazo (18), mientras que el DQO nos da una idea del contenido de materia orgánica sea esta biodegradable o no y al obtener una disminución del 65,94% en DQO nos indica que hubo consumo de más de la mitad del contenido total de materia por los microorganismos anaerobios presentes para la producción de biogás, no pudiendo realizar una comparación con la tesis citada anteriormente ya que esta carece del resultado post tratamiento.

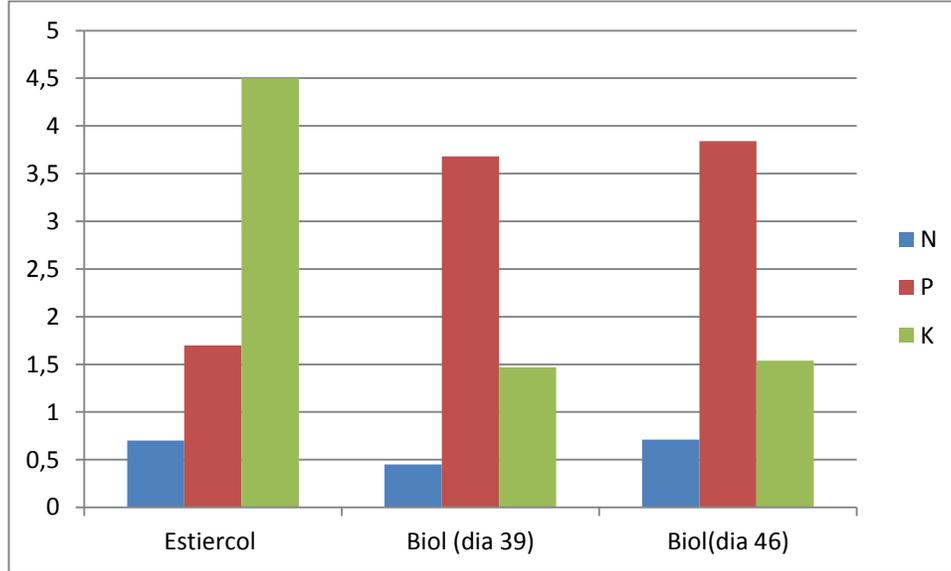
4.2.4.3.SULFUROS

En el diagrama anterior (Ilustración 10) de barras podemos observar que la cantidad de sulfuros presentes en el estiércol era de 32,2 mg/L el cual se redujo a valores <1, lo cual indica que estos compuestos son eliminados junto con el biogás en forma de sulfuro de hidrogeno debido a que se ionizan en la solución (biól) a pH neutro (Mac Carty, 1964).

4.2.4.4.pH

De acuerdo a lo citado en el capítulo I del presente trabajo se indica que un factor determinante para la producción de biogás es el pH el cual debe ser favorable para la formación de metano en un rango de 6.0-8.0, lo cual al comparar en la gráfica determinamos que las tres muestras tomadas pre y pos tratamiento oscilan entre 6,8 y 7,5. Durante el proceso digestión el día 22 de noviembre se registró un aumento del pH requerido que se acercaba a 9 para lo cual se suspendió la carga diaria por un día, obteniendo una estabilización del mismo (pH 7).

4.2.4.5.N, P, K



GRÁFICA 6: COMPARACIÓN DE NPK

Gráfica generada a partir de la Tabla 17.

4.2.4.5.1. Nitrógeno

La cantidad de nitrógeno presenta una mínima variación entre el estiércol y el biól del día 46 siendo 0,7-0,71 % respectivamente, notándose una diferencia con respecto al biól del día 39 ya que en el biogás el contenido de N_2 es de 0,5-3 % según la tabla 2 del capítulo I, lo cual se comprueba con una disminución del nitrógeno presente en el biól (día 39) en forma de amonio de 0,45%, al notar una falta de degradación en el sustrato se prolongó el tiempo de retención (día 46) , obteniendo así aumento en la concentración de nitrógeno presente en el biól (0,71%).

4.2.4.5.2. Fósforo

En las dos muestras de biól (día 39 y 46) con respecto a la muestra de estiércol, la cantidad de este elemento aumenta en un promedio 2,06% debido a que el fosforo almacenado en el interior de las bacterias que actúan en el proceso de digestión anaerobia en forma de

polifosfatos y la mayoría del fosforo presente en el tejido celular es liberado, de acuerdo a Nuria Martí Ortega (3).

4.2.4.5.3. Potasio

La cantidad de potasio presente en las dos muestras de biól presentan una mínima variación, pero estas con respecto a la muestra de estiércol fresco muestran una disminución considerable del 3%, debido a que el potasio es transformado por reducción biológica y asimilado por los microorganismos durante la digestión anaerobia.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

1. Para un volumen total de $6,03\text{m}^3$ se diseñó un biodigestor tubular de 4,7m de longitud, diámetro 1,27m (plástico negro doble de 2m de ancho y 7 micras de espesor), de acuerdo a la condiciones ambientales de la zona.
2. Se logró incrementar la temperatura interna en días fríos de $3-5^{\circ}\text{C}$ y en días soleados de $15-20^{\circ}\text{C}$ con respecto a la temperatura ambiente, obteniendo biogás en rangos de temperatura de $8-40^{\circ}\text{C}$ (psicrofílico y mesofílico).
3. En días cálidos la producción diaria de biogás es de $1,5\text{m}^3$ que proporcionan 1,68 horas de llama encendida, dentro de este período de prueba se pudo hervir una olla con 40 litros de agua en un tiempo de 48 minutos. La producción total de biogás durante los 46 días de retención fue de $5,43\text{m}^3$
4. Se produjo una estabilización del biodigestor a partir del día 39 de retención, validando de esta forma los requerimientos teóricos.

5. La producción de biogás en comunidades ubicadas a más de 3000 metros de altura es viable por su bajo costo y fácil operación.

5.2.RECOMENDACIONES

1. Para la determinación del tiempo de retención tomar en cuenta de acuerdo a bibliografía (25) que la temperatura disminuye en 1°C por cada 154 m de altitud aproximadamente.
2. Para la selección del ganado se recomienda tomar en cuenta el peso, la alimentación, la edad y la disponibilidad de estas por parte del propietario.
3. Para la ubicación del biodigestor se debe tomar en cuenta que el espacio en el que se lo va a implementar este cerca tanto del lugar de recolección de la materia prima y de la vivienda en la que el biogás vaya a ser utilizado, a más de esto el biodigestor este orientado a la radiación solar.
4. En el momento de la colocación del biodigestor evitar la formación de arrugas para que se pueda inflar adecuadamente.
5. El lugar en el que se vaya a colocar el biodigestor debe estar libre de ramas, piedras o cualquier otro objeto que pueda romper el plástico.
6. Para una mayor durabilidad del biodigestor se recomienda utilizar doble manga.
7. Todas las conexiones realizadas en el biodigestor deben estar bien selladas para evitar fugas de biogás.

8. El biodigestor debe estar correctamente ubicado de tal forma que se pueda evitar problemas en la carga como en la descarga del sustrato.
9. Durante las primeras cargas, tapar las tuberías de entrada y salida, para evitar el ingreso de aire que puede afectar el proceso de digestión anaerobia.
10. Controlar diariamente el pH del sustrato ya que este parámetro nos indica que el proceso se está realizando de forma normal.
11. A partir del momento en que se produzca un aumento notable en el volumen del biodigestor tomar especial cuidado con la presión que se genera, regulándola mediante la válvula de seguridad.
12. Es necesario la ubicación de un filtro dentro de la tubería de conducción de biogás para evitar la propagación de malos olores que pueden afectar la salud de quien esté cerca.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO VI

6. BIBLIOGRAFÍA

- 1.- METCALF, EDDY, INC.,** Fundamentos de los Tratamientos Biológicos del Agua residual, Tratamiento y reúso., 4ta ed., New York-USA., Mac Graw Hill., 2003., Pp. 563-644.

- 2.- OLAYA, Y OTROS.,** Fundamentos para el Diseño de Biodigestores., Construcciones Agrícolas., 2^{da}ed., Palmira-Colombia., Editorial CPAV., 2012., Pp.5-8

- 3.- ORTEGA, N.,** Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process., 4^{ta}ed., Florida-USA., Editorial Boca Ratón., 2006. ISBN: 1-58 112-339-9., Pp. 12-14.

4.- TCHOBANGLIOUS, G., BURTON., Ingeniería de Aguas Residuales., Tratamiento, Vertido y Reutilización., 3ra ed., Madrid-España., Metcalf y Eddy Inc., 1995., Pp. 481-483.

5.- ECUADOR., Revista Boletín Técnico Divulgativo Del Programa De Capacitación Y Formación Profesional En Manejo Integral De La Ganadería En Zamora Chinchipe., Métodos de pesaje en bovinos., Loja-Ecuador., Centro de Estudios y desarrollo de la Amazonía., 2010., Pp8.

Ebook: <http://es.scribd.com/doc/169400735/Metodos-de->

6.- HERRERO, J., Revista Diseño y Manual de Instalación de Biodigestores Familiares., Biodigestores de Polietileno Tubular de Bajo Costo para Trópico, Valle y el Altiplano, La Paz-Bolivia, Creative Commons., 2008., Pp. 48-73.

Ebook: <http://grecdh.upc.edu/publicacions/lilibres/>

7.- AGUILAR, F., BOTERO, R., Revista Tierra Tropical de la Universidad EARTH., Los Beneficios Económicos Totales de la Producción de Biogás Utilizando un Biodigestor de Polietileno de Bajo Costo, No. 2., Guácimo-Costa Rica., 2006., Pp. 49-59.

Ebook: <https://www.google.com.ec/url?sa=t&ret=j&q>

8.- CAMPOS, B., Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias de la Universidad Agraria de la Habana., Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino., Vol. 20., No 2., San José de las Lajas-Cuba., 2011., Pp. 37-41.
Ebook: <http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071->

9.- CHEN, Y., HASHIMOTO, A., Agricultural Wastes an International Journal., Kinetic Analysis of Anaerobic Digestion of Pig Manure and its design implications., Vol.08., No 2., Texas-USA., Elsevier Ltd., 1983., Pp 65-81.
Ebook: [http://www.slideshare.net/DoulalasGiorgos/ -](http://www.slideshare.net/DoulalasGiorgos/)

10.- DÍAZ, M., Revista Científico Popular Trimestral de Cuba Solar., Eliminación del Sulfuro de Hidrógeno en el Biogás., No. 41., Tunas-Cuba., 2010., Pp 1-4.
Ebook: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energi>

11.-DENVER WEST., Revista National Renewable Energy Laboratory., Energy Analysis Biogas Potential., 2^{da} ed., Colorado-United States., Editorial Golden CO., 2013., Pp 75,76,79

EBook:<http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60178.pdf>

- 12.- HORNER, M. y otros.,** Revista Biological Sciences., An ecological perspective on bacterial biodiversity., 3^{ra} ed., New York - USA., Editorial The Royal Society., 2014., Pp 117-120
EBook.,<http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/271/1535/>
- 13.- LETTINGA, G.,** Journal Antonie van Leeuwenhoek.,_Anaerobic digestion and wastewater treatment systems., Ámsterdam-Holanda., Vol.67., No. 1., 1997., Pp.4-12.
Ebook <http://link.springer.com/article/10.1007/>
- 14.- CÁCERES, J., GUTIÉRREZ, J.,** Aumento de la producción de biogás del Digestor de la F.I.Z., Facultad de Ingeniería Mecánica., Escuela de Ingeniería Mecánica., Escuela Superior Politécnica de Chimborazo., Riobamba-Ecuador., TESIS., 1985., Pp.17-49.
- 15.- CENDALES, E.,** Producción de biogás mediante la digestión anaeróbica de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bovino para su utilización como fuente de energía renovable.,

Facultad de Ingeniería., Escuela de Ingeniería Mecánica.,
Universidad Nacional de Colombia., Bogotá-Colombia.,
TÉISIS., 2011., Pp.52-55.

Ebook: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4100/1/>

16.- CHUNGARO,M., MANITIO, G., Diseño y construcción de un
biodigestor para pequeñas y medianas granjas., Facultad de
Ingeniería Mecánica., Escuela Politécnica Nacional., Quito-
Ecuador., TESIS., 2010., Pp. 52-124.

Ebook:<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000>

17.- GUERRERO, C. Y OTROS., Optimización de un biodigestor en la
depuración de agua residual con estiércol de ganado bovino.,
Ingeniería Ambiental., Universidad Politécnica Salesiana.,
Cuenca-Ecuador., TESIS., 2011., Pp. 58-69.

Ebook: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/1234>

18.- LARA, S., CHIMBORAZO, M., Diseño de un biorreactor y
conducción del biogás generado por las excretas de ganado
vacuno, estación Tunshi-ESPOCH., Facultad de Ciencias.,
Escuela de Ciencias Químicas., Escuela Superior Politécnica
de Chimborazo., Riobamba-Ecuador., TESIS., 2011.,
Pp.90-99.

19.- LÓPEZ, C y LÓPEZ, O., Diseño, construcción y puesta en operación de un biodigestor anaerobio continuo para el laboratorio de Ingeniería Química., Facultad de Ciencias Químicas., Escuela de Ingeniería Química., Universidad Veracruzana., Coatzacoalcos-México., TESIS., 2009., Pp. 58-67.

Ebook: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/12345678/932/1/LopEZ>

20.- MORALES, P., Digestión anaerobia de lodos de plantas de Tratamiento de Aguas y su aprovechamiento., Departamento de Ingeniería Química y Alimentos., Escuela de Ingeniería Universidad de las Américas Puebla., Puebla-México., TESIS., 2005., Pp. 69, 70, 71.

Ebook: http://catarina.mx/u_dl_a/tales/

21.- SANCHEZ, M., PAZMIÑO, J., Diseño y Construcción de un Biodigestor Plástico de Flujo Continuo, a Partir de Desechos Orgánicos para la Hacienda San Antonio del IASA II., Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica., Escuela Politécnica del Ejército, Quito-Ecuador., TESIS., 2007. Pp.76-88.

Ebook: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/>

22.-GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE GUANO.,
DESCRIPCIÓN DE COMUNIDADES
EBook.,<http://www.municipiodeguano.gob.ec2012/index.php>
14/12/2012

23.- BLOGGER., TIPOS DE BIODIGESTORES
EBook: <http://bio-digestores.blogspot.com/2012/06/tipos>
2013/11/17

24.- SÁNCHEZ., ENERGÍAS RENOVABLES;
EBook: <http://www.uni-oldenburg.de/fileadmin/user>
2013/12/30

25.- WEISHEIT., VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA CON LA
ALTITUD
EBOOK., <http://www.meteoros.net/2011/06/variacion>
2013/11/17

ANEXOS

ANEXO 1 COSTO DEL PROYECTO

Son todos los gastos que se presentaron durante todo el periodo que duro la construcción, implementación del biodigestor , dentro de estos tenemos costos directos, indirectos y totales.

a) COSTOS DIRECTOS

Estan relacionados directamente con los materiales utilizados y la mano de obra directa, dentro de nuestro proyecto tenemos:

TCOSTOS DIRECTOS DE LA CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL BIODIGESTOR

MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Plástico doble negro de 2m de ancho	11	m	1,75	19,25
Acoples de ¾	2		2	4
Tubo de 1/2 PVC	15	m	1,17	17,5
Reducciones de 3/4 a ½	2		0,5	1
Plástico doble negro de 1,5m de ancho	2	m	1,5	3
Codos de ½	3		0,4	1,2
Tee de ½	4		0,6	2,4
Unión de ½	1		0,4	0,4
Llave de bola plástica de ½	3		2,5	7,5
Neplos de 15cm	2		1,25	2,5
Plástico de invernadero	40	m	0,63	25
Alambre de amarre	1	lb	0,9	0,9
Tubo de 4 pulgadas PVC	3	m	1,9	5,7
Choba	6	m	1	6
Lustre	1		0,6	0,6
Tapones macho de ½	2		0,4	0,8
Teflón	7	rollos	0,4	2,8
Tapón de 4 pulgadas	1			2,5
Reducciones de 1 a ½	2		0,9	1,8
Codo de 45° de 4 pulgadas	2		0,8	1,6
Reducción de 4 a 6	1			3,5
Tubo de 1 pulgada	40	cm		1

Adaptador de ½	1		0,5	0,5
Manguera de 1/2 PVC	2	m	0,2	0,4
Abrazaderas de ½	2		0,5	1
			total	126,85
Mano de obra	1	día	50	50
Transporte de Materiales			10	10
			total	172,85

FUENTE: AUTORES

b) COSTOS INDIRECTOS

Son costos que se nos presentarán y que no tienen relación directa con el desarrollo de la actividad.

Materiales	Cantidad	Unidades	Costo unitario	Total
Pegamento PVC	1	1/8 de litro	0,9	0,9
Tijera	1		1	1
Sierra	1		2,5	2,5
Clavos de 2''	1	lb	0,9	0,9
Termómetro ambiental	1		14	14
Análisis de laboratorio	3	muestras		149
Romanilla	1			6
			Total	174,3

FUENTE: AUTORES

ESTABLO				
Materiales	Cantidad	Unidades	Costo unitario	Total
quintales de cemento	25	quintales	7	140
Piedra	1	1 Volqueta	50	50
Ripio	1	1 Volqueta	30	30
Macadan	1	1 Volqueta	30	30

Hojas de Zinc 3m	20		8.5	170
Vigas 5m	4		12	0
Pingos de 3m	16		4.5	72
Tablas de 2m	15		2.2	33
Caña guadua de 6m	2		3	6
Clavos de zinc	3	Lb	1,25	3,75
Clavos de 4 "	4	Lb	1,1	4,4
Clavos de 2 y 2.5	4	Lb	1	4
			Total =	543,15
Mano de obra		3días	20	200
			Total =	783

FUENTE: AUTORES

Nota: dentro de los costos indirectos se incluye la construcción del establo que se realizó para el proyecto con el fin de evitar rupturas del plástico producidas por piedras o algún otro material, además para facilitar la recolección de la materia prima, no se considera necesaria la construcción del establo ya que si la recolección se la realiza directamente del suelo se debe tener especial cuidado de cualquier objeto que pueda producir rupturas o disminuir rápidamente el tiempo de vida del biodigestor. Aunque cabe recalcar que el uso de establos para la crianza de ganado vacuno ayuda a garantizar sanidad animal, inocuidad del producto para el consumo humano, manejo ambiental y sostenibilidad, bienestar animal de acuerdo con el Manual de Buenas Prácticas en Explotaciones Ganaderas de Carne Bovina.

c) COSTO TOTAL DEL PROYECTO

Costos directos	172,85
Costos indirectos	957,30
total	1130,15

ANEXO 2 FOTOGRAFÍAS

a) UBICACIÓN DEL ÁREA DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO



FOTOGRAFÍA 1: ÁREA DE EXPERIMENTACION REFERENCIADA

b) TOMA DE MEDIDAS



FOTOGRAFÍA 2 MEDICIÓN DE LA LONGITUD DE LA VACA PARA DETERMINAR SU PESO.

c) CONSTRUCCIÓN DEL ESTABLO



FOTOGRAFÍA 3 CONSTRUCCIÓN DEL ESTABLO



FOTOGRAFÍA 4 TERMINACIÓN DEL ESTABLO



FOTOGRAFÍA 5 DIVISIÓN DE LOS LUGARES OCUPADOS POR LAS VACAS SELECCIONADAS



FOTOGRAFÍA 6 BOLSA UTILIZADA PARA EL BIODIGESTOR



FOTOGRAFÍA 7 ACOLCHONAMIENTO CON ASERRÍN DE LA ZANJA



FOTOGRAFÍA 8 ACOLCHONAMIENTO CON PAJA DE LA ZANJA



FOTOGRAFÍA 9 UBICACIÓN DEL BIODIGESTOR DENTRO DE LA ZANJA.



FOTOGRAFÍA 10 UBICACIÓN CORRECTA DE LA TUBERÍA DE ENTRADA DEL BIODIGESTOR.



FOTOGRAFÍA 11 UBICACIÓN CORRECTA DE LA TUBERÍA DE SALIDA DEL BIODIGESTOR.



FOTOGRAFÍA 12 PROLONGACIÓN DE LA TUBERÍA DE ENTRADA PARA REALIZAR LA CARGA DIARIA



FOTOGRAFÍA 13 VÁLVULA DE SEGURIDAD



FOTOGRAFÍA 14 RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA DE ESTIERCOL.



FOTOGRAFÍA 15 PESAJE DEL ESTIÉRCOL PRODUCIDO.



FOTOGRAFÍA 16 PESAJE DEL AGUA PARA REALIZAR LA MEZCLA (ESTIÉRCOL-AGUA)



FOTOGRAFÍA 17 PREPARACIÓN DEL SUSTRATO DILUCIÓN 1:1



FOTOGRAFÍA 18 INTRODUCCIÓN DE LA CARGA DIARIA



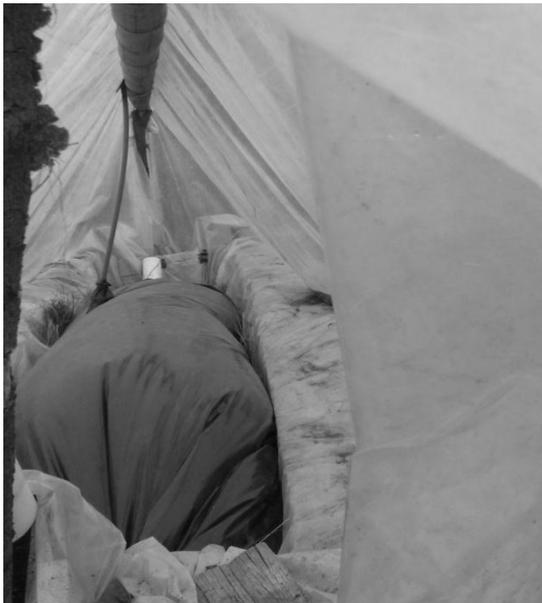
FOTOGRAFÍA 19 BIODIGESTOR DÍA 1 (DESPUÉS DE LA PRIMERA CARGA)



FOTOGRAFÍA 20 BIODIGESTOR DÍA 6



FOTOGRAFÍA 21 BIODIGESTOR DÍA 9



FOTOGRAFÍA 22 BIODIGESTOR DÍA 13



FOTOGRAFÍA 23 BIODIGESTOR DÍA 16



FOTOGRAFÍA 24 BIODIGESTOR DÍA 19



FOTOGRAFÍA 25 BIODIGESTOR DÍA 25



FOTOGRAFÍA 26 PRIMERAS PRUEBAS DE LA EXISTENCIA DE BIOGÁS.



FOTOGRAFÍA 27 BURBUJEO DE LA VALVULA DE SEGURIDAD POR SALIDA DE BIOGÁS



FOTOGRAFÍA 28 COLOCACIÓN DEL FILTRO.



FOTOGRAFÍA 29 COCINETA UTILIZADA PARA LA CONDUCCIÓN DE BIOGÁS.



FOTOGRAFÍA 30 PRUEBAS DE CONDUCCIÓN DE BIOGÁS EN LA COCINETA SELECCIONADA.



FOTOGRAFÍA 31 LIMADURAS DE HIERRO TRATADAS PARA LA CONDUCCIÓN DE BIOGAS



FOTOGRAFÍA 32 UTILIZACIÓN DE BIOL EN LOS SEMBRIOS DEL SR. MAROTO.

ANEXO 3 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

a) Análisis Físico-químicos de estiércol Fresco



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
DEPARTAMENTO DE SUELOS

Nombre del Propietario: Erika Criollo

Fecha de ingreso: 25/09/2013

Ubicación: Comunidad Santa Lucia de Tembo
Nombre de la granja

Chambo
Cantón

Fecha de salida: 10/10/2013
Chimborazo
Provincia

RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS FÍSICO Y QUÍMICO DE ABONO ORGÁNICO

Identificación	% M.O	%			R:C/N
		N	P	K	
Estiércol vacuno	63.0 A	0.70	1.7	4.5	53.8

CODIGO	
N: Neutro	A: alto
S: Suficiente	M: medio
Alc. Alcalino	B: bajo



Ing. Franklin Arco I.
DIRECTOR DPTO DE SUELOS

Dirección: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur Km 1/2, Facultad de Recursos Naturales, Teléfono 2998220 Extensión 418
"Apoyando a la producción sana, rentable y sostenible con la naturaleza"

Ing. Elizabeth Pachacama
TECNICO DE LABORATORIO



**LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Adriana Guzmán

Fecha de Análisis: 25 de septiembre del 2012

Fecha de Entrega de Resultados: 3 de octubre de 2012

Tipo de muestras: Estiércol ganado vacuno

Localidad: Comunidad Santa Lucía de Tembo Cantón Guano

Código LAT 162-13

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultado
pH	Und.	4500-H-B	6.91
Humedad	%	Gravim.	83.45
Ceniza	%	Gravim.	4.41
Sulfuros	mg/L	4500-S-E	32.2
Sólidos Disueltos	%	2540-C	0.11
Sólidos Volátiles	mg/L	2540-E	482
Sólidos Totales	%	2540-B	14.7

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

b) **Análisis De NPK del Bioldia 39**



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
DEPARTAMENTO DE SUELOS

Nombre del Propietario: Erika Criollo
Remite:
Ubicación:

Fecha de ingreso: 02/12/2013
Fecha de salida: 12/12/2013

Nombre de la granja Parroquia Cantón Provincia

RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DEL ANALISIS FISICO Y QUIMICO DE BIOL

Identificación	pH	%		
		N	P	K
Biól vaca	6.8 N	0.45	3.68	1.47

CODIGO	
N: Neutro	A: alto
S: Suficiente	M: medio
L. Ac. Ligeramente ácido	B: bajo



Ing. Elizabeth Pachacama
TECNICO DE LABORATORIO

Dirección: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur Km1 ½, Facultad de Recursos Naturales, Teléfono 2998220 Extensión 418
"Apoyando a la producción sana, rentable y amigable con la naturaleza"

c) **Análisis Físico-químicos del Biól del día 46**



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
DEPARTAMENTO DE SUELOS

Nombre del Propietario: Erika Criollo
Remite:
Ubicación:

Fecha de ingreso: 06/01/2014
Fecha de salida: 15/01/2014

Nombre de la granja Parroquia Cantón Provincia

RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DEL ANALISIS FISICO Y QUIMICO DE BIOL

Identificación	pH	%		
		N	P	K
Biól vaca	7.5 N	0.71	3.84	1.54

CODIGO	
N: Neutro	A: alto
S: Suficiente	M: medio
L. Ac. Ligeramente ácido	B: bajo



Ing. Elizabeth Pachacama
TECNICO DE LABORATORIO

Dirección: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur Km1 ½, Facultad de Recursos Naturales, Teléfono 2998220 Extensión 418
"Apoyando a la producción sana, rentable y amigable con la naturaleza"

ESPOCH

LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Adriana Guzmán

Fecha de Análisis: 6 de enero del 2014

Fecha de Entrega de Resultados: 15 de enero del 2014

Tipo de muestras: Estiercol y Biol

Localidad: Riobamba

Código LAT/01-14

Análisis Químico

Muestra 1: Estiercol

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Demanda Química de Oxígeno	mg/kg	5220-C	23,500.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/kg	5210-B	19,400.0
Sólidos Volátiles	mg/kg	2540-D	13,852
Sulfuros	mg/L	4500-S2--C	48.0

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra 2: Biol

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Demanda Química de Oxígeno	mg/kg	5220-C	8,000.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/kg	5210-B	4,900
Sólidos Volátiles	mg/kg	2540-D	520.0
Sulfuros	mg/L	4500-S2--C	< 1

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.



ANEXO 4: PLANOS