



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**“DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE
BIOGÁS GENERADO POR LAS EXCRETAS DE GANADO VACUNO,
EN EL CRIADERO “JERSEY CHUGLLIN”**

**Trabajo de Titulación presentado para optar el grado académico de:
INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

AUTOR: MARLON FABRICIO LARA GUILCAPI
TUTOR: MSC. ANDRÉS BELTRÁN

Riobamba – Ecuador

2016

© 2016 Marlon Fabricio Lara Guilcapi

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

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal de Trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: “DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS GENERADO POR LAS EXCRETAS DE GANADO VACUNO, EN EL CRIADERO “JERSEY CHUGLLIN” de responsabilidad del egresado Marlon Fabricio Lara Guilcapi. Ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Msc. Andrés Beltrán		
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN
Msc. María Fernanda Rivera
MIEMBRO DEL TRIBUNAL		

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

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

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

Riobamba, 05 diciembre del 2016

Marlon Fabricio Lara Guilcapi

C.I. 060424532-4

Yo, Marlon Fabricio Lara Guilcapi. Soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de titulación; y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación, pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Marlon Fabricio Lara Guilcapi

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis Padres Antonio y Marcia quienes poseen un maravilloso espíritu, con amor me enseñaron valiosas lecciones y son mi gran inspiración en la vida. A mis hermanos Sebastián, Byron, Orlando e Israel con quienes he vivido momentos geniales y sé que puedo contar con ellos en todo instante. Todos los triunfos y logros se los dedico a mi familia ya que son con quienes quiero compartir esos instantes de memorias que guardare en el tiempo. Si miro en la eternidad sé que podre encontrarte, pues el universo me trasladara hacia donde tú estés. Por siempre juntos madre =).

Marlon

AGRADECIMIENTO

A mis padres, hermanos quienes fueron mi fortaleza en todo momento, me apoyaron incondicionalmente durante este proceso de vida estudiantil y es que junto a ellos he compartido los mejores recuerdos que pasan por mi vida.

A Msc. Andrés Beltrán y la Ing. María F. Rivera quienes con sus conocimientos me guiaron para llevar a cabo el presente trabajo de investigación. Así también a la ESPOCH ya que es una magnífica institución y me formó como profesional.

A la familia Alzamora la cual dio la apertura y apoyo en su propiedad, parte fundamental para realizar el trabajo de tesis.

TABLA DE CONTENIDOS

INDICE DE TABLAS.....	xi
INDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
JUSTIFICACIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
1 MARCO TEÓRICO	3
1.1 Estiércol	3
1.1.1 <i>Estiércol Bovino</i>	3
1.1.2 <i>Impactos Ambientales del Estiércol</i>	4
1.2 Digestión Anaerobia	5
1.2.1 <i>Descripción del proceso de digestión anaerobia</i>	5
1.2.2 <i>Etapas de la digestión anaerobia</i>	6
1.2.3 <i>Factores que influyen en el proceso metanogénico (producción de biogás)</i>	7
1.2.4 <i>Productos finales de la digestión anaerobia</i>	12
1.3 Biodigestores	13
1.3.1 <i>Tipos de Biodigestores</i>	14
1.3.2 <i>Componentes del digestor tubular</i>	17
1.3.3 <i>Criterios de diseño y dimensionamiento de un digestor tubular</i>	20
1.4 Marco legal	23
CAPÍTULO II.....	24
2 MARCO METODOLOGICO	24
2.1 Lugar de estudio	24
2.2 Elaboración e instalación de los biodigestores experimentales	25
2.2.1 <i>Construcción de los biodigestores</i>	26
2.2.2 <i>Instalación biodigestor experimental 1</i>	27
2.2.3 <i>Instalación biodigestor experimental 2</i>	27
2.3 Determinación de la carga diaria de estiércol	28

2.4	Preparación del sustrato.....	29
2.5	Monitoreo de la temperatura	30
2.6	Prueba de la probeta.....	30
2.7	Prueba de flama.....	31
2.8	Análisis de la varianza con un factor (Anova)	32
2.9	Cálculos de diseño.....	32
2.9.1	<i>Cantidad de estiércol producido al día</i>	33
2.9.2	Biodigestor experimental 1	34
2.9.3	Biodigestor experimental 2	36
CAPITULO III.....		40
3	MARCO DE RESULTADOS, DISCUSION Y ANALISIS DE RESUTADOS	40
3.1	Cálculos de diseño.....	40
3.2	Monitoreo de la temperatura	41
Análisis Estadístico de la Temperatura.....		43
3.2.1	<i>Planteamiento de hipótesis</i>	43
3.2.2	<i>Nivel de Significancia</i>	43
3.2.3	<i>Estadístico de Prueba</i>	44
3.2.4	<i>Valores Críticos</i>	44
3.2.5	<i>Comparación de valores</i>	44
3.2.6	<i>Conclusión</i>	45
3.3	Volumen de Biogás Generado	46
3.4	Análisis Estadístico de la Generación de Biogás	49
3.4.1	<i>Planteamiento de hipótesis</i>	49
3.4.2	<i>Nivel de Significancia</i>	49
3.4.3	<i>Estadístico de Prueba</i>	49
3.4.4	<i>Valores Críticos</i>	49
3.4.5	<i>Comparación de valores</i>	50
3.4.6	<i>Conclusión</i>	50
3.4.7	<i>Comparación de Medias</i>	51
Discusión		52
CONCLUSIONES.....		54
RECOMENDACIONES.....		55
BIBLIOGRAFÍA.....		57

ANEXOS	62
Anexo A: Construcción de los biodigestores	62
Anexo B: Preparación del área para la instalación	63

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Producción de biogás y energía eléctrica por tipo de producción	3
Tabla 2-1: Producción de estiércol fresco diario.....	4
Tabla 3-1: Datos promedios sobre el contenido de sólidos totales de diversos residuos.....	8
Tabla 4-1: Rangos de Temperatura y Tiempo de fermentación Anaeróbica	9
Tabla 5-1: Equivalencias de 1m ³ de biogás con otros combustibles.....	13
Tabla 6-1: Relación Estiércol: Agua.....	20
Tabla 7-1: Dimensiones de la zanja	22
Tabla 1-2: Datos del ganado vacuno elegidos.....	32
Tabla 2-2: Promedio de estiércol producido al día	33
Tabla 1-3: Cálculos de diseño del biodigestor	40
Tabla 2-3: Temperaturas Promedio.....	41
Tabla 3-3: Resumen Anova	44
Tabla 4-3: Generación diaria y acumulada de biogás	46
Tabla 5-3: Resumen Anova	50
Tabla 6-3: Comparaciones múltiples de Tukey	51

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Etapas de la Digestión Anaerobia	7
Figura 2-1: Tiempo de retención en función de la temperatura.....	11
Figura 3-1: Tipos de Biodigestores.....	14
Figura 4-1: Componentes del Digestor Tubular	17
Figura 1-2: Mapa del cantón Chambo	25
Figura 2-2: Criadero Jersey Chugllin.....	25
Figura 1-3: Grafico de Temperaturas Promedio	42
Figura 2-3: Grafica de distribución de temperaturas	44
Figura 3-3: Grafica Compilatorio variación de temperatura.....	45
Figura 4-3: Grafica de Volumen acumulado de biogás	48
Figura 5-3: Grafica de distribución.....	50
Figura 6-3: Grafica compilatorio de generación de biogás.....	52

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Construcción de los biodigestores

ANEXO B: Preparación del área para la instalación

ANEXO C: Biodigestores Instalados

ANEXO D: Pruebas de probeta, flama, temperatura

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

B. Exp	Biodigestor Experimental
°C	Grados centígrados
C/N	Relación Carbono Nitrógeno
CO ₂	Dióxido de Carbono
Cd	Carga Diaria
Ced	Cantidad de excretas diarias
CH ₄	Metano
cm	Centímetros
D	Diámetro
DQO	Demanda Química de Oxígeno
d	días
Ec	Ecuación
Exp	Experimental
GLP	Gas Licuado de petróleo
GPS	Sistema de posicionamiento global
H ₂	Hidrogeno
H ₂ O	agua
H ₂ S	Sulfuro de Hidrógeno
HCl	Ácido Clorhídrico
Kg	Kilogramos
L	Litros
Ld	Longitud del biodigestor
m	Metros
m ³	Metros cúbicos
mL	Mililitros
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
N ₂	Nitrógeno
NaOH	Hidróxido de sodio
NH ₃	Amoníaco
P	Perímetro
pH	Potencial de Hidrogeno
P ₂	Fósforo
PVC	Policloruro de vinilo
S	Cantidad de sustrato

T	Temperatura
TR	Tiempo de retención
VG	Volumen gaseoso
VL	Volumen líquido
VRB	Volumen del reservorio
VTD	Volumen total del biodigestor

RESUMEN

En la presente investigación se diseñó un biodigestor para obtener biogás a partir de residuos orgánicos de ganado vacuno generados en el Criadero Jersey Chugllin ubicado en el cantón Chambo, provincia de Chimborazo, con el cual se busca reducir la contaminación generada por los desechos. Mediante el método experimental se recolectó la muestra de estiércol de 6 vacas por 5 días consecutivos obteniendo un promedio de 7,5 Kg al día, se construyó dos biodigestores prácticos utilizando dos bidones 20L, tuberías y válvulas, el primero denominado biodigestor experimental 1 permaneció a temperatura ambiente y el segundo denominado biodigestor experimental 2 se lo ubicó en un área que posee condiciones térmicas mejoradas, los dos fueron monitoreados durante el tiempo de permanencia del sustrato en los cuales se recolectó datos de temperatura, se realizó pruebas de probeta y flama durante el proceso de generación de biogás. Se aplicó fórmulas de diseño del biodigestor tubular para proyectar los resultados experimentales a un total de 15 cabezas de ganado bovino y así obtener resultados globales mediante los cuales se eligió el biodigestor experimental 2 con los siguientes parámetros: tiempo de retención 38 días, carga diaria de 224 Kg/d, volumen total del digestor 11,34 m³, diámetro 1,27m, longitud 8,95 m. Se concluyó que la producción de gas metano es 2,83 m³ diarios con lo que se lograra abastecer el 45% del valor total que necesita el Criadero para cubrir las actividades en las que emplea gas licuado de petróleo (GLP). Se recomienda implementar el biodigestor ya que minimiza los impactos negativos causados por los residuos orgánicos del ganado siendo estos los que servirán como materia prima utilizada para generar productos como biogás y biol, además deben realizarse estudios para que este sistema sea implementado según las zonas climáticas del país.

PALABRAS CLAVES: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE INGENIERÍA>, <TECNOLOGÍA>, <BIODIGESTOR>, <BIOGÁS>, <ESTIÉRCOL>, <GANADO VACUNO>, <GAS METANO>, <PRUEBA DE PROBETA>, <PRUEBA DE FLAMA>.

ABSTRACT

The current investigation designed a bio digester to get biogas from using beef cattle organic waste generated at the Jersey Chugllin hatchery located in Canton Chambo, Chimborazo province, with which it seeks to reduce pollution by the waste. Through the experimental method a sample of 6 cows manure was collected during 5 consecutive days obtaining an average of 7.5 kg per day, two practical 20L digesters were built using two cans, pipes and valves, the first one was named experimental biodigester 1 it remained at room temperature and the second one was named experimental biodigester 2 which was located in an improved thermal conditions area, both of them were monitored during the time dwell of substrate in which temperature data was collected, a tube and flame test were carried out during the biogas generation process. Design formulas for a tubular biodigester were applied to project the experimental results for a total of 15 head of cattle and for obtaining overall performance by which the experimental biodigester 2 was chosen with the following parameters: retention time 38 days, 224 kg / d of daily load , 11.34 m³ of biodigester total volume , 1.27m of diameter, 8.95 m. of length Concluding that the production of methane gas is 2.83 m³ per day with what would be achieved by supplying 45% of the total value needed to cover the hatchery activities in which liquefied petroleum gas (LPG). It is recommended to implement the biodigester for minimizing the negative impacts caused by organic waste from cattle being these that serve as raw material used to produce products such as biogas and boil. In addition, studies must be carried out for this system was implemented, according to the climatic zones of this country.

KEYWORDS: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <TECHNOLOGY>, <BIO DIGESTER>, <BIOGAS>, <BEEF CATTLE>, <METHANE GAS>, < TUBE TEST>, <FLAME TEST>.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento continuo de la población humana mundial influye en el aumento de la producción de alimentos, el sector ganadero es responsable del 9% del CO₂ procedente de las actividades humanas, pero produce un porcentaje mucho más elevado de los gases de efecto invernadero más perjudiciales. La generación de estiércol producido por el ganado vacuno es considerado como un problema ambiental por lo que se ha hecho necesario innovar en tecnologías para dar un mejor manejo a este residuo ya que de acuerdo con un estudio publicado en la revista Nature Geoscience, el estiércol de vaca forma parte de los principales contribuyentes de óxido nitroso atmosférico, uno de los principales gases del efecto invernadero también emite metano y óxido nitroso.

Por las diversas acciones en el sector agropecuario de nuestro país, se ha evidenciado una gran contaminación en el suelo, aire y agua, especialmente en lo que tiene que ver con los desechos orgánicos, los cuales se han constituido en un factor de riesgo para los diferentes recursos naturales que se relacionan directamente con estas actividades, ya que al no contar con una estructura adecuada para la concentración y manejo de estos residuos, dichos recursos se ven directamente afectados y por ende los seres humanos que habitan cerca a estos espacios.

El proyecto que se presenta está enfocado en el diseño de un biodigestor cuyo objetivo es aprovechar los excrementos de ganado vacuno generados en el criadero Jersey Chugllin del cantón Chambo, para la obtención de biogás, hay que tener presente que estas tecnologías no constituyen un gasto, sino una inversión que traerá a mediano y largo plazo grandes beneficios económicos y ambientales al propietario por lo que es importante que se difunda entre la población ya que esta es una alternativa energética con bajo costo de implementación.

JUSTIFICACIÓN

Para una buena utilización de los residuos ganaderos y una buena redistribución de los mismos, hace que solo podamos considerar como residuos a los excedentes que no hemos podido reciclar en el ciclo normal de fertilización orgánica de nuestras tierras de cultivo.

Al estar la hacienda cercana al río Chambo si el estiércol estaría mal dispuesto al momento en que la lluvia se hace presente son arrastrados al cuerpo de agua y se contamina siendo una problemática grave, ya que este es con el cual casi todos los sembríos de la zona son regados por lo que la producción puede verse afectada y posteriormente causar daño a las personas que se alimentan de estos productos.

Debido al gran consumo de GLP que se da en el criadero al momento del lavado de la maquinaria de ordeño y con la producción elevada de excretas, se ha propuesto la alternativa de diseñar un biodigestor con el cual se generara una producción renovadora al momento de la generación de residuos. Esta opción también sería una alternativa para prevenir la degradación de los suelos de cultivo del criadero, preservación del recurso hídrico y biodiversidad.

El presente trabajo busca cumplir legalmente con la Constitución de la Republica de Ecuador ya que en su capítulo sobre el buen vivir detalla que las personas deben desenvolverse en un entorno saludable, además de precautelar el ambiente y cumplir con las disposiciones Técnicas del Ministerio del ambiente sobre la disposición de los residuos peligrosos en este caso los excrementos del ganado vacuno. Por ende el apoyo logístico estará a cargo del propietario del criadero donde se desarrollara la presente investigación.

OBJETIVOS

General

- Diseñar un biodigestor para la obtención de biogás generado por las excretas de ganado vacuno, en el criadero “JERSEY CHUGLLIN” Chambo, Parroquia La Matriz.

Específicos

- Comprobar experimentalmente a nivel de campo la mejor condición térmica para la generación de biogás.
- Determinar los parámetros óptimos de diseño mediante la construcción de biodigestores experimentales.
- Plantear los Criterios de diseño para el biodigestor

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Estiércol

El estiércol es un residuo manejado como sólido que contiene heces y orines, el cual puede estar compuesto por otros elementos, como las camas, generalmente paja, pero también a veces contiene aserrín, virutas de madera, o productos químicos, también suele incluir restos de los alimentos del ganado, así como agua que procede de los bebederos, de la limpieza de los establos o de lluvia, y todo tipo de materiales que puedan entrar en un establo.

El estiércol proviene de diferentes animales entre los cuales destacan los siguientes: cerdos, bovinos, aves y otros desechos derivados de la producción agropecuaria puede ser aprovechados para la producción de biogás y consecuentemente para la producción de energía eléctrica, disminuyendo el impacto ambiental negativo que generan los residuos y generando beneficios económicos para el productor. En el siguiente cuadro se visualiza la producción de biogás y energía según el tipo de producción. (Inglesias, 1995, p. 3)

Tabla 1-1: Producción de biogás y energía eléctrica por tipo de producción

Tipo de producción	Producción de biogás (m³ de biogás /ton. Estiércol)	Energía eléctrica (Kwh)
Vacas	20	40
Cerdos	30	60
Gallinas	40	80

Fuente: (Herrero, 2008, p.11)

1.1.1 *Estiércol Bovino*

Los excrementos ganaderos contienen altas concentraciones de compuestos nitrogenados, está formado por la mezcla de las deyecciones y la cama del ganado, se caracteriza por sufrir una fermentación importante, tanto en el establo o en el lugar destinado para almacenarlo debido al

alto contenido de bacterias metanogénicas. Éste estiércol es el más importante y uno de los que se produce en mayor cantidad en las explotaciones rurales como se observa en el siguiente cuadro. (Jarauta, 2005.)

Tabla 2-1: Producción de estiércol fresco diario

Ganado	Kg de estiércol fresco producido por cada 100 kg de peso del animal
Cerdo	4
Bovino	8
Caprino	4
Conejo	3
Equino	7
Humano adulto	0.4 kg por adulto
Humano niño	0.2kg por niño

Fuente: (Martí, J., 2008)

1.1.2 Impactos Ambientales del Estiércol

El estiércol al ser colocado en tierras de cultivo suministra un beneficio ecológico depositando nutrientes como N_2 y P_2 en el suelo; el nitrógeno del excremento se halla especialmente en forma de amoníaco y las plantas lo usan como nutriente (Miner, et al., 2000, p.318).

Las excretas de ganado puede ocasionar diferentes impactos ambientales, como la generación gases de efecto invernadero, exceso de nutrientes en los suelos de cultivo y la eutrofización de agua, esto dependerá en gran parte de la especie ganadera, de su alimentación y manejo del estiércol. El nitrógeno y fósforo son componentes inorgánicos que están contenidos en las excretas, por lo que es necesario conocer sus concentraciones ya que el método de fertilización, velocidad de descomposición y otros factores de riesgo como contaminantes, dependerán de éste. (Pinos, et al., 2012, pp. 359-370)

En el suelo: Si el estiércol contiene concentraciones altas en nutrientes, los microorganismos estarían afectados por una sobrecarga de nutrientes en el suelo ocasionando infiltraciones por escurrimiento y lixiviación en aguas superficiales y subterráneas. Pudiendo ocasionar intoxicación en animales que se alimentan de estas tierras.

En el agua: El nitrógeno es cuantioso en el estiércol, está relacionado claramente con la contaminación de aguas subterránea por la lixiviación de nitratos a través del suelo y el agua se

puede ver afectada por los escurrimientos directos de las excretas de ganado de una granja o por las escorrentías desde zonas de pastoreo.

El fósforo en el agua no es considerado directamente como un tóxico sin embargo cuando es dispersado directamente en las corrientes hídricas o aplicado en dosis excesivas en el suelo estimula el proceso de eutrofización, afectando en la calidad del agua.

En el aire: Cuando la vegetación es removida en su totalidad, se forma una capa de estiércol que junto al movimiento del ganado origina grandes nubes de polvo.

El olor no representa peligros a la salud, pero en las zonas urbanas la mayoría de las personas encuentra inaceptable los olores emanados por el estiércol (Miner, et al., 2000, p.318).

Entre los contaminantes que se liberan por medio de las excretas hacia la atmósfera se encuentra el amoníaco, igualmente otros gases de efecto invernadero que incluidos metano y óxido nítrico

1.2 Digestión Anaerobia

La digestión anaerobia es un proceso biológico que consiste en la descomposición de materia orgánica (residuos animales y vegetales) en ausencia de oxígeno molecular, como resultado de este proceso se producen dos productos principales: biogás y biol.

1.2.1 Descripción del proceso de digestión anaerobia

El proceso de digestión anaerobia se produce en medios totalmente cerrados, en los cuales ingresa la materia orgánica a degradar ya sea de forma continua o intermitente y permanece durante períodos de tiempo (tiempo de retención, TR) que varían de acuerdo a la temperatura ambiente a la que estará sujeto el biodigestor, durante y después de este período se obtiene productos como CH_4 , CO_2 , NH_3 , y materia orgánica no degradada o resistente. (Metcalf, 2003, pp.563-644.)

En la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aerobio. Los microorganismos metanogénicos cumplen la función de enzimas respiratorias, junto con las bacterias no metanogénicas, constituyen una

cadena alimentaria que guarda relación con las cadenas enzimáticas de células aeróbicas. De esta manera, los residuos orgánicos se transforman completamente en biogás. (Sanguil, 2015, p.27)

1.2.2 Etapas de la digestión anaerobia

La conversión biológica o digestión biológica anaerobia de materia orgánica se produce en cuatro etapas, las cuales se dan a la vez en el interior del digestor, estas son:

a) Etapa Hidrolítica.- es la 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, es decir las bacterias de esta etapa toman la materia orgánica con sus largas cadenas carbonadas y las van rompiendo y transformando en cadenas más cortas y simples liberando H₂ y CO₂. Este complejo trabajo es realizado por diferentes tipos de microorganismos en su mayoría anaerobios facultativos. (MINENERGIA, PNUD, FAO & GEF, 2011, pp. 14-66)

b) Etapa Acidogénicas.- también llamada etapa fermentativa es la conversión bacteriana de los compuestos orgánicos solubles resultantes de la primera etapa en compuestos intermedios identificables de menor peso molecular que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico, H₂) y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente) las cuales tendrán que ser oxidados por bacterias en la siguiente etapa del proceso. (Martí, N., 2006, pp. 3-6)

c) Etapa Acetogénica.- en esta etapa los productos de la fermentación que no pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos (etanol, ácidos grasos volátiles como valerato, butirato, propionato, y algunos compuestos aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos como acetato y H₂, a través de las bacterias acetogénicas.

d) Etapa Metanogénica.- es la transformación bacteriana de los compuestos producidos durante la fase de 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 amoníaco, sulfuro de hidrogeno y materia orgánica resistente denominado biol.

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 acetófila.

La vía de formación del metano es la primera, con alrededor del 70% del metano producido, de forma general como se puede ver en la figura 1. La transformación final cumplida en esta etapa

tiene como principal sustrato al ácido acético junto a otros ácidos orgánicos de cadena corta y los productos finales liberados están formados por CH₄ y CO₂. (Lettinga, 1997, pp. 4-12)

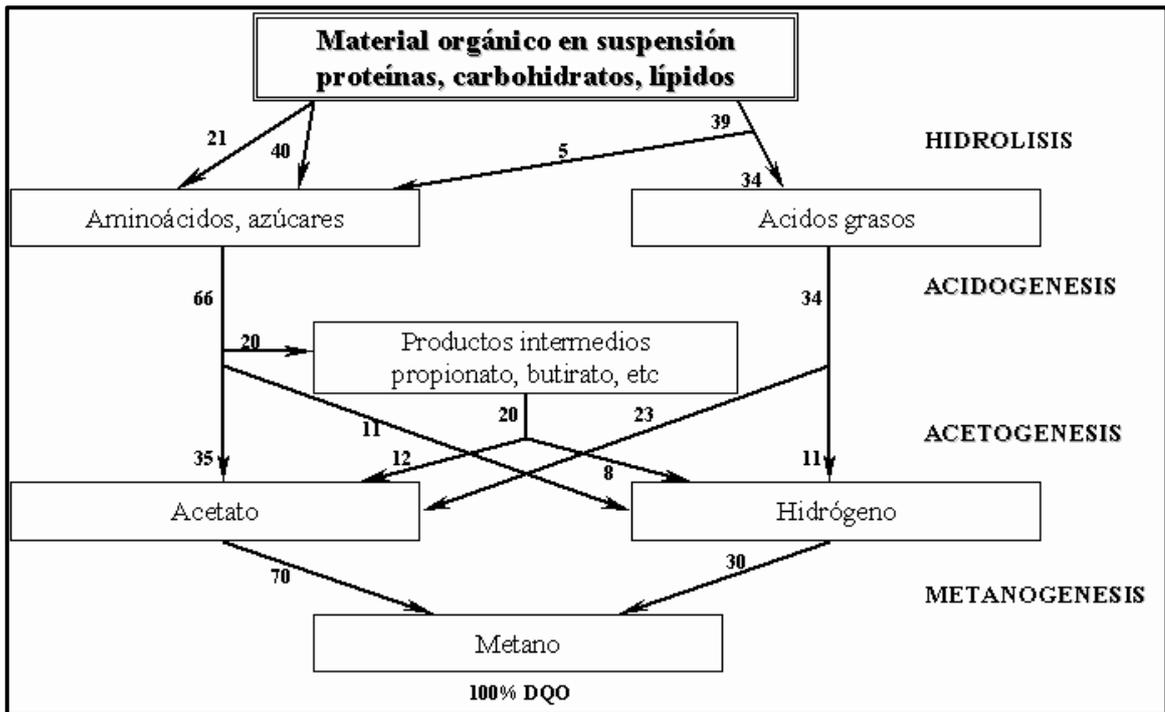


Figura 1-1: Etapas de la Digestión Anaerobia

Fuente: (Martí, N., 2006, pp. 3-6)

Las bacterias metanogénicas sólo pueden usar un número limitado de sustratos para la formación de metano, éstos son CO₂, H₂, acetato, metanol, metilamina, y monóxido de carbono. (Arboleda, 2009, pp. 13-16)

1.2.3 Factores que influyen en el proceso metanogénico (producción de biogás)

Los microorganismos metanogénicos son muy susceptibles a cambios en las condiciones ambientales, por ello se evalúa el desempeño de un sistema anaeróbico en función de la tasa de producción de metano. Debido a esto se requiere de un monitoreo de las condiciones ambientales, algunas de estas son:

- Niveles de sólidos totales y sólidos volátiles.
- Temperatura
- Relación carbono/nitrógeno de las materias primas.
- Naturaleza y composición bioquímica de materias primas.
- Tiempo de retención (TR)
- Nutrientes

- g) Rangos de pH y alcalinidad
- h) Toxicidad e inhibidores

a) Niveles de sólidos totales y sólidos volátiles.

Toda la materia orgánica está compuesta de agua y una fracción de sólidos totales (ST). El porcentaje de sólidos totales contenidos en la mezcla son distintos y se lo debe considerar ya que la movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que aumenta el contenido de sólidos, por tanto puede afectar la eficiencia y producción de gas. En el cuadro se puede observar el porcentaje de sólidos totales de materia prima fresca. (MINENERGIA, PNUD, FAO & GEF, 2011, pp. 14-66)

Tabla 3-1: Datos promedios sobre el contenido de sólidos totales de diversos residuos

Materias primas	% Sólidos totales
Residuos animales	
Bovinos	13.4 – 56.2
Porcinos	15.0 – 49.0
Aves	26.0 – 92.0
Caprinos	83.0 – 92.0
Ovejas	32.0 – 45.0
Conejos	34.7 – 90.8
Equinos	19.0 – 42.9
Excretas humanas	17.0
Residuos vegetales	
Hojas secas	50.0
Rastrojo maíz	77.0
Paja trigo	88.0 – 90.0
Paja arroz	88.8 – 92.6
Leguminosas (paja)	60.0 – 80.0
Tubérculos (hojas)	10.0 – 20.0
Hortalizas (hojas)	10.0 – 15.0

Aserrín	74.0 – 80.0
---------	-------------

Fuente: (Varnero y Arellano, 1991.)

b) Temperatura

Los procesos anaeróbicos dependen de la temperatura, la velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados que a su vez, dependen también de la temperatura. Al aumentar la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión, dando lugar a mayores producciones de biogás. La temperatura de operación del digestor, es considerada uno de los principales parámetros de diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de digestión anaeróbica. Las variaciones bruscas de temperatura en el digestor pueden desestabilizar el proceso. A continuación en el cuadro se ven las temperaturas en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos. (Jarauta, 2005.)

Tabla 4-1: Rangos de Temperatura y Tiempo de fermentación Anaeróbica

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

Fuente: (Lagrange, 1979.)

c) Relación carbono/nitrógeno (C/N) de las materias primas.

El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas. El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno es utilizado para la

formación de nuevas células. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación C/N en la materia prima es considerada de 30:1 hasta 20:1. (MINENERGIA, PNUD, FAO & GEF, 2011, pp. 14-66)

d) Naturaleza Y Composición Bioquímica De Materias Primas.

Las diversas materias primas que se pueden utilizar en la fermentación metanogénica, pueden ser residuos orgánicos de origen vegetal, animal, agroindustrial, forestal, doméstico u otros.

Las características bioquímicas que presenten estos residuos deben permitir el desarrollo y la actividad microbiana del sistema anaeróbico. El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de C y N, sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores).

e) Tiempo de retención (TR)

El TR está íntimamente ligado a la temperatura del mismo, la selección de una mayor temperatura implicará una disminución en los tiempos de retención requeridos y consecuentemente serán menores los volúmenes de reactor necesarios para digerir un determinado volumen de material.

A menores temperaturas se sigue produciendo biogás, pero de manera más lenta, a temperaturas inferiores a 5°C se puede decir que las bacterias quedan 'dormidas' y ya no producen biogás. (Metcalf, 2003, pp.563-644.)

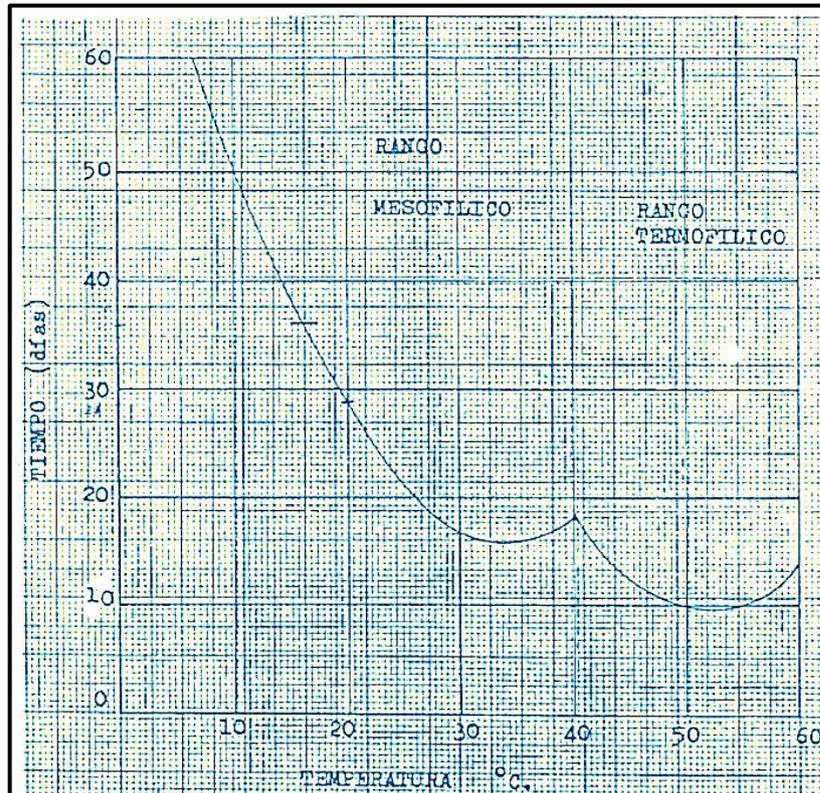


Figura 2-1: Tiempo de retención en función de la temperatura
Fuente: (CRIOLLO & GUZMÁN, 2014, p.43)

f) Nutrientes

En el proceso anaeróbico para la síntesis de nueva biomasa, se requieren macronutrientes (nitrógeno y fósforo) y micronutrientes (minerales traza) esenciales para los microorganismos anaeróbicos. Los metales traza tales como hierro, cobalto, molibdeno, selenio, calcio, magnesio, zinc (en menor proporción), cobre, manganeso, tungsteno y boro a niveles de mg /L y la vitamina B12 en niveles de $\mu\text{g/L}$, mejoran la producción de metano, también se incluyen azufre, potasio, sodio, cloro cuya ausencia puede impedir el crecimiento bacteriano. Por lo general se asume que un 10 % de materia orgánica removida (DQO) durante el proceso anaeróbico se utiliza para la síntesis de biomasa.

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. (Homer, et al., 2014, pp. 117-120.)

g) Rangos de pH y alcalinidad

El proceso anaeróbico se ve afectado por los niveles de pH que se encuentran fuera del rango óptimo. Los microorganismos metanogénicos son más susceptibles a las variaciones de pH que otros microorganismos anaeróbicos. Los distintos grupos bacterianos de la digestión anaeróbica muestran actividad óptima a niveles neutros para acidogénicos (entre 5.5 y 6.5) y para metanogénicos (entre 7.8 y 8.2). El pH óptimo para cultivos mixtos entre 6.8 y 7.4, siendo el pH neutro el ideal. Para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente, el pH no debe bajar de 6.0 ni subir de 8.0. El pH con valores inferiores de 6 tendrá un biogás muy pobre en metano y, por tanto, sus cualidades energéticas serán escasas. Debido a que la metanogénesis se considera la etapa limitante del proceso, es necesario mantener el pH del sistema cercano a la neutralidad. Los acidogénicos son significativamente menos sensibles a valores más extremos de pH. (Acurio,2009, p. 10)

h) Tóxicos e inhibidores de la metanogénesis

El proceso de digestión anaeróbica es inhibido debido a la presencia de sustancias tóxicas en el sistema. Estas sustancias pueden formar parte de la materia prima que entra al digestor como: amoníaco, metales pesados, compuestos halogenados, cianuro y fenoles o pueden ser subproductos de la actividad metabólica de los microorganismos anaeróbicos como sulfuro, amoníaco y ácidos grasos de cadena larga. En algunos casos, el efecto tóxico de una sustancia puede reducirse significativamente al aclimatarlo con la población microbiana. Entre las sustancias inhibitoras se encuentran: Ácidos grasos volátiles, Cationes y metales pesados, Hidrógeno, Nitrógeno amoniacal, Sulfatos y sulfuros. Por otra parte, muchas de estas sustancias a bajas concentraciones pueden ser estimuladoras del proceso.

1.2.4 Productos finales de la digestión anaerobia

Los principales productos de la digestión anaerobia son el biogás y el biol.

1.2.4.1 Biogás

El biogás es una mezcla de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y otros gases en menor porcentaje como el ácido sulfhídrico (H_2S), hidrogeno (H_2), amoniaco (NH_3), etc. La composición del biogás obtenido depende de la materia orgánica digerida y las condiciones del proceso. En la siguiente tabla se indican valores de una composición promedio en función de algún sustrato que normalmente se emplea. (Avendaño , 2010a: p. 6)

Tabla 5-1: Equivalencias de 1m³ de biogás con otros combustibles

1 m³ de Biogás es igual a:	
Carbón vegetal	0,80 Kg
Leña	1,5 Kg
Diésel	0,55 L
Gasolina	0,61 L
GLP	0,45 Kg
KWh efic 20%	1,2
Alcohol carburante	0,81 L

Fuente: UPME, 2003

El metano es un gas combustible, incoloro e inodoro cuya combustión produce CO₂, hidrogeno y agua, con una llama azul característica. Es el componente fundamental del gas natural, ya que puede constituir hasta el 97% del mismo. Por su alto contenido en metano el biogás puede ser empleado para cocinar, generar calor, etc.

1.2.4.2 *Biol*

Resulta de la fermentación de estiércol y agua a través de la descomposición y transformaciones químicas de residuos orgánicos en un ambiente anaerobio. Su composición depende del tipo de sistema utilizado y de la materia orgánica alimentada. El biol producido tiene un contenido en nitrógeno de 2 a 3%, fósforo de 1 a 2%, potasio en torno al 1%, y un 85% de materia orgánica. El biol es una fuente de fitorreguladores que ayudan a las plantas a tener un óptimo desarrollo. (Avendaño , 2010b: p. 7)

1.3 Biodigestores

También llamados digestores, reactor anaeróbico o biológico; son estructuras de plástico, tubería y cemento, estos dispositivos se encuentran totalmente cerrados, en cuyo interior se da la fermentación de la materia orgánica (desechos agrícolas, agroindustriales, forestales, aguas residuales urbanas e industriales, residuos sólidos urbanos y estiércol) en ausencia de oxígeno produciendo biogás y biol.

Los biodigestores están compuestos básicamente por un área de premezclado, un tanque hermético (digestor anaeróbico), un sistema de captación de biogás, estas dos últimas pueden

estar juntas o separadas y también cuenta con un sistema de distribución del efluente. (Hossain,2008, pp 942-953)

1.3.1 Tipos de Biodigestores

El diseño de biodigestores ha ido evolucionando con el fin de conseguir elevadas concentración de biomasa en los reactores y permanencia de la misma (alto tiempo de retención de sólidos), incluso trabajando con elevadas velocidades de líquido (bajo tiempo hidráulico de residencia). Las clasificaciones de tecnologías anaerobias son muy diversas y difieren según las fuentes. En la siguiente figura se tiene los digestores más comunes. (Arboleda & González, 2009, pp. 13-16)

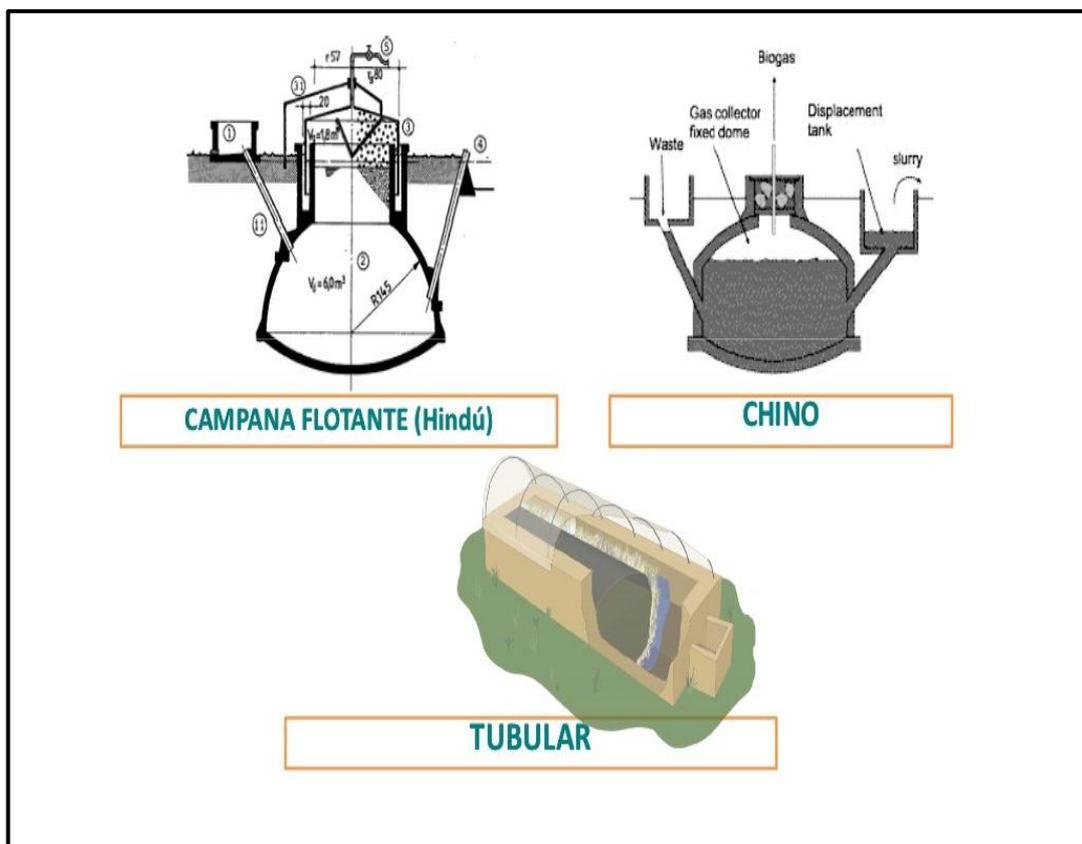


Figura 3-1: Tipos de Biodigestores
Fuente: (Cotrina & Villanueva, 2013)

Los principales digestores como se muestra en la figura 3-1. Son el hindú, el chino, y el taiwanés, cada uno con ventajas y desventajas, mismas que se describen a continuación.

1.3.1.1 Tipo Chino (Domo Fija)

Este diseño se originó en China y está ampliamente difundido ahí. Se trata de una cámara cerrada con sus respectivas cámaras de carga y descarga. La estructura puede ser construida de concreto armado, ladrillos, piedra u hormigón y las paredes internas permeabilizadas con diferentes métodos (como aplicación de cemento mezclado con porcelana) para evitar fugas de líquido.

El gas producido durante el proceso es almacenado bajo el domo y desplaza algunos de los contenidos del digester a la cámara del efluente. Esto crea fuerzas estructurales altas razón por la cual el reactor tiene formas semiesféricas en el tope y en la base.

Se recomienda que la construcción sea bajo tierra en suelos estables y firmes. Su vida útil es mayor a 15 años con un buen mantenimiento, aunque a veces no compensa su relativo alto costo, por lo que no se ha difundido fuera de china (como Latinoamérica), donde su construcción es apoyada por política nacional. Este digester no tiene separación interior es de bajo mantenimiento. Como principales problemas pueden citarse la obstrucción y los derivados de la construcción. (Avendaño, 2010c: p. 44)

1.3.1.2 Tipo Hindú (Domo Flotante)

Este digester es en forma cilíndrica y tiene un depósito de gas móvil en forma de campana flotante. La campana puede flotar directamente en la carga de fermentación o en un anillo de agua cilíndrico. El gas se acumula en la campana, haciéndola subir y luego vuelve a bajar cuando se extrae el gas a través de un tubo instalado en la campana misma.

La campana además de subir y bajar, es libre de girar, así puede mover la capa que eventualmente pueda flotar en la superficie de la carga de fermentación, por ello requiere de una varilla guía central o rieles laterales que eviten el rozamiento contra las paredes del reactor. Este digester una pared interior que lo divide en dos, junto con canalizaciones de carga y descarga y una cubierta que actúa como gasómetro cimentada con una placa de hierro, también tiene una cámara hermética en la cual se genera condiciones de degradación anaeróbicas de la materia orgánica formando biogás y biol.

Para su construcción se usa comúnmente ladrillos, cemento, arena y grava; para la campana flotante, lámina de acero. Las principales desventajas en su empleo son: la corrosión de la campana, pérdidas de calor, cuentan con mayor profundidad que anchura, lo que dificulta el flujo y propicia la estratificación.

1.3.1.3 Tipo tubular (Estructura Flexible)

Sistema modelo tubular (cilíndrico) de origen taiwanés. La materia a digerir entra por un lado del reactor y sale por el otro, el tanque de digestión y de recolección de gas, conforman uno sólo, el gas se va acumulando en la parte superior de la bolsa del reactor, mientras que el proceso de digestión ocurre en la parte inferior del recipiente, misma que se llena con materia orgánica y agua, la bolsa se va inflando lentamente con una presión baja. Suelen ser de polietileno o geomembrana de PVC.

Las ventajas que presenta este biodigestor son: es de bajo costo de construcción, muchos materiales los puede obtener en la misma propiedad y la parte de la mano de obra puede aportar la familia, el mantenimiento es de costo mínimo. Si el plástico presentara algún problema éste se puede cambiar o reparar sin mucha inversión de dinero. Fácil de transportar por su bajo peso, en especial en aquellos sitios de difícil acceso. La forma de carga es sencilla y en los estudios realizados es uno de los que mejor funciona en el clima frío.

Entre las desventajas del biodigestor de plástico se halla su bajo tiempo de vida útil, también es muy vulnerable a sufrir roturas por condiciones climáticas adversas, por las acciones del hombre o los animales; baja presión de gas.

La alta inversión que pedía construir un biodigestor de estructura resultaba una grave limitante para los pequeños granjeros por sus bajos ingresos. Esto motivó a unos ingenieros Taiwaneses en los años sesenta a diseñar biodigestores con materiales flexibles más baratos, locales y accesibles. Primero se utilizó nylon y neopreno, sin embargo; estos demostraron ser algo costosos. Un paso mayor en los setenta era combinar PVC con el residuo de las refinerías de aluminio produciéndose así "el barro rojo PVC", y de ahí fue reemplazado por polietileno más barato y es el que se usa mayormente en América Latina, África y Asia. Desde 1986, el Centro para la Investigación en Sistemas Sustentables de Producción Agrícola (CIPAV), ha estado recomendando biodigestores de plástico económico como la tecnología apropiada para optimizar el uso de excrementos pecuarios, reduciendo con ello presión en otros recursos naturales.

Los biodigestores familiares o tubulares al ser de bajo precio han sido ejecutados en países de América Latina, se han registrado varios proyectos para introducirlo en el altiplano, por lo que han sido implementados en países como Perú, Bolivia y también en nuestro país teniendo buenos resultados, siendo aptos para el clima frío y eficientes para la generación de biogás. En base a estos antecedentes y ventajas; el digestor tipo tubular será el objeto de estudio del presente proyecto, para que a futuro pueda ser aplicado en el criadero "Jersey Chugllin".

1.3.2 Componentes del digestor tubular

En la figura 4-1, se observa una vista transversal de un biodigestor, lo que permite ver todos los componentes que conforman a un digestor tipo tubular.

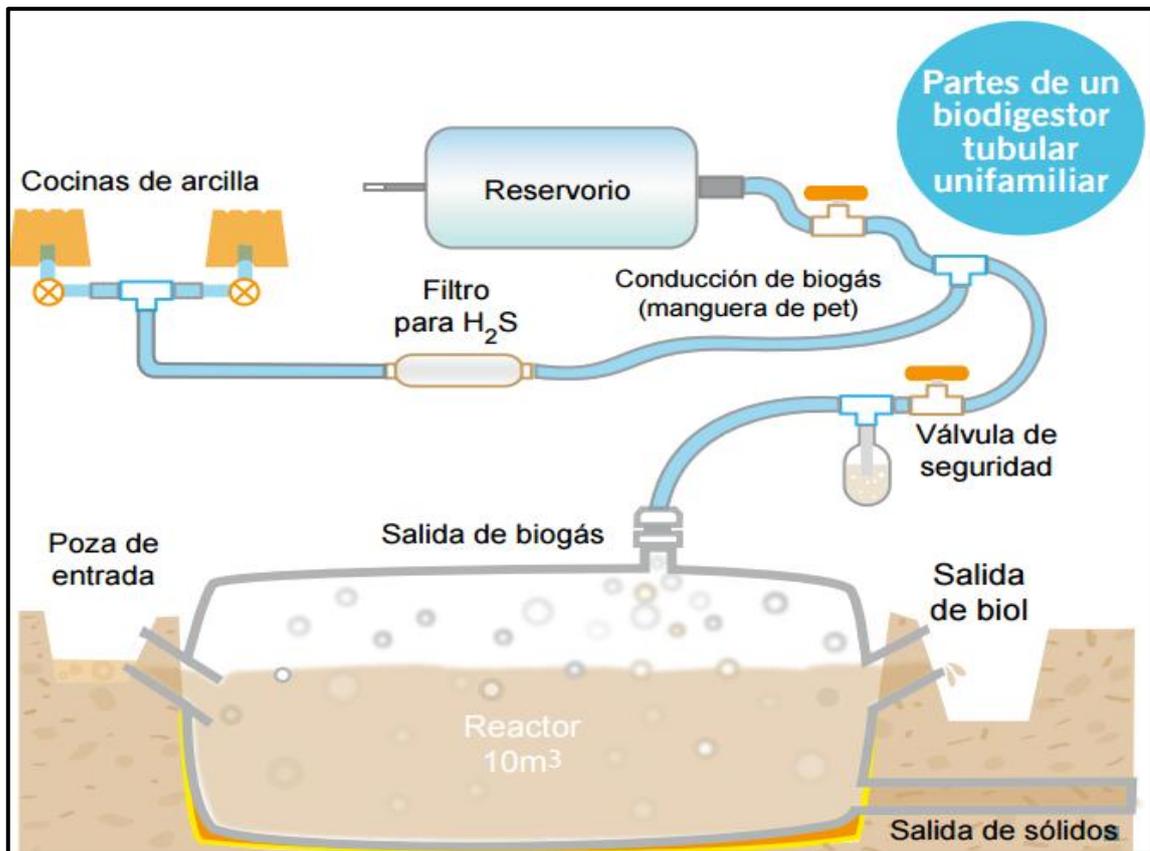


Figura 4-1: Componentes del Digestor Tubular

Fuente: (Cotrina & Villanueva, 2013)

1.3.2.1 Poza de entrada

Es el lugar donde se realiza la mezcla de estiércol y agua, la cual ingresa al reactor a través de la tubería de entrada, (de plástico de 20 a 30 cm de diámetro) que se utiliza para la inserción de materia orgánica y se dirige hacia adentro del reactor 15 cm de profundidad. A esta poza se le coloca una canastilla o rejilla que impide el paso del material sólido que pueda haber en el estiércol. El volumen de la poza de entrada está relacionado con el volumen de carga diaria que necesita el biodigestor.

1.3.2.2 Bolsa de almacenamiento o reactor

Es el componente principal del biodigestor. Consiste en una estructura en forma de tubo, una bolsa en la que se almacena la materia orgánica y se dan los procesos de fermentación. Su tamaño varía dependiendo de la cantidad de material a fermenta. La parte inferior de la bolsa del biodigestor contiene el 75% de volumen con la carga que se rellena, mientras en la parte superior de la bolsa (25%) se almacena el gas metano que se producirá durante la degradación de la materia orgánica.

El gas producido por el digestor puede almacenarse en un espacio añadido al digestor o conducirse independientemente a otra instalación de almacenamiento, cerca de la cocina, calefactor a usarse. (Chungandro, 2010, pp. 52-124.)

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

- Cantidad en Kg de la materia orgánica o residuo disponible para ser utilizado.
- Relación de la mezcla sustrato- agua, para de esta forma conocer el valor de carga diaria que será alimentada al biodigestor
- Tiempo de retención

1.3.2.3 Poza de salida

Está ubicada a la salida del biodigestor y conectada al tubo del afluyente cuyo diámetro debe tener entre 10 a 15 cm. La estructura de la poza permite recibir y almacenar el biol que se obtiene como producto de la carga y descarga diaria del biodigestor. Se recomienda que el volumen de recepción de la poza corresponda al volumen de carga del biodigestor, de tal forma que no se generen derrames al realizar la descarga.

1.3.2.4 Tubería de conducción de biogás

Está compuesta por una manguera PET o una tubería de PVC, se ubica en la parte superior de la bolsa de almacenamiento de metano, se encarga de llevar el biogás desde el reactor hacia el reservorio, pasando por la válvula de seguridad y luego hacia su lugar de uso. El tubo debe estar conectado a una salida sumergida en agua para que absorba la humedad condensada producto de la metanogénesis y también es importante que se conecte a un filtro absorbente de sulfuro de hidrógeno (producto también de la metanogénesis) que puede ser de virutas de hierro y otros materiales.

1.3.2.5 *Dispositivo de seguridad*

Es construida en base a una botella plástica transparente de al menos 10 cm de profundidad, conectada a la tubería de conducción de biogás mediante una T. Dicha botella contiene una cantidad determinada de agua y su función es dejar escapar parte del biogás cuando hay mucha presión en el reservorio o en el reactor, evitando que estos se rompan, También puede ayudar a atrapar el agua que se condensa al interior de las tuberías. El nivel de agua no debe sobrepasar los 3 o 4 cm a la salida de la tubería, ya que una altura mayor haría que no cumpla su función de seguridad.

1.3.2.6 *Reservorio*

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. (Cáceres & Gutiérrez, 1985).

1.3.2.7 *Tubo de limpieza (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: (Guerrero, 2011, pp. 58-69)

- Burbujeando aire biológico para capturar el azufre dentro de la biomasa, impidiendo la formación de H_2S .
- 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 (Díaz, 2002, pp.4-12.)
- 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 (Sánchez & Pazmiño, 2007, pp.76-88)

1.3.3 Criterios de diseño y dimensionamiento de un digester tubular

Esta tecnología puede ser elaborada dependiendo a los requerimientos del lugar, por lo cual se establecen algunos criterios:

1.3.3.1 Carga de mezcla diaria de entrada (C_d)

Todos los días el biodigestor es llenado con una carga de estiércol mezclada con agua. Para lo cual se toma en cuenta lo siguiente:

Tabla 6-1: Relación Estiércol: Agua

Tipo animal	Estiércol : Agua
Bovino	1:1
Porcino	1:3
Aves	1:3

Fuente: (Cotrina & Villanueva, 2013)

La cantidad de estiércol diario se la calcula de la siguiente manera:

$$Ced = Kg \text{ de estiercol por ganado} \times N^\circ \text{ de ganado vacuno} \quad (1)$$

De esta manera, para la parte experimental del trabajo la relación es 1:1 una parte de estiércol y una parte de agua. A esto se le llama mezcla de carga diaria.

$$. C_d = S(kg) + H_2O(kg) \quad (2)$$

Dónde:

C_d : Carga diaria.

S: Cantidad de sustrato disponible en Kg.

H_2O : Cantidad de agua en Kg

1.3.3.2 Volumen total de biodigestor

El volumen total del biodigestor ha de albergar una parte líquida y otra gaseosa. Normalmente se da un espacio del 75% del volumen total a la fase líquida, y del 25% restante a la fase

gaseosa. El volumen total es la suma del volumen gaseoso y el volumen líquido para determinarlo se aplica las ecuaciones 4, 5 y 6. (Herrero, 2008a: p.11)

$$V_{Td} = V_l + V_g \quad (3)$$

Dónde:

V_{Td} : Volumen total del biodigestor.

V_l : Volumen líquido.

V_g : Volumen del biogás producido

$$V_l = C_d + T_R \quad (4)$$

Dónde:

V_l : Volumen líquido.

C_d : Carga diaria en Kg.

T_R : Tiempo de retención en días.

$$V_g = 25\% * V_l \quad (5)$$

Dónde:

V_g : Volumen que ocupa la fase gaseosa

V_l : Volumen liquido

1.3.3.3 Longitud del biodigestor

Debido a que la forma del digestor es tubular se aplica la ecuación del volumen de un cilindro, para su dimensionamiento como se ve a continuación.

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

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

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

Dónde:

D : diámetro

P : perímetro

V_{Td} : Volumen total del biodigestor.

L : Longitud del biodigestor

1.3.3.4 Reservorio

Se considera que el volumen del digestor y del tanque reservorio debe tener una relación de 5:1 para fincas pequeñas, para determinarlo se utiliza la siguiente ecuación.

(7)

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

Dónde:

V_{Rb} : Volumen del reservorio de biogás.

V_{Td} : Volumen total del biodigestor.

1.3.3.5 Dimensiones de la zanja del biodigestor

El diseño final del biodigestor requiere conocer las dimensiones de la zanja donde se acomodará el plástico tubular, para ello 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 en el 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 (Herrero, 2008b: p.26)

Tabla 7-1: Dimensiones de la zanja

Dimensiones de la zanja según el ancho del plástico 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
c(m)	1	0.9	0.8	0.7	0.6

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

1.4 Marco legal

Para el presente estudio se considera el siguiente marco legal

Texto Legal	Artículos
<p>Constitución de la República del Ecuador (Ecuador, 2010)</p>	<p>Art. 14.- “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kawsay. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados”.</p> <p>Art. 66.- “Se reconoce y garantizará a las personas:</p> <p>I27. El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza”.</p> <p>Art. 71.- “La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto</p>

	a todos los elementos que forman un ecosistema”.
Ley de Gestión Ambiental (Ambiente, 2004)	Art. 2.- “La gestión ambiental se sujeta a los principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables y respecto a las culturas y prácticas tradicionales”.

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLOGICO

2.1 Lugar de estudio

La investigación se realizó en el criadero “Jersey Chugllin” que se encuentra en el cantón chambo localizado a 8 km de la ciudad de Riobamba. Mediante el uso del GPS se obtuvieron datos como su ubicación a una latitud 765769 y longitud 9810591 la cual está a una altura de 2593 msnm, y una temperatura media de 13 °C.

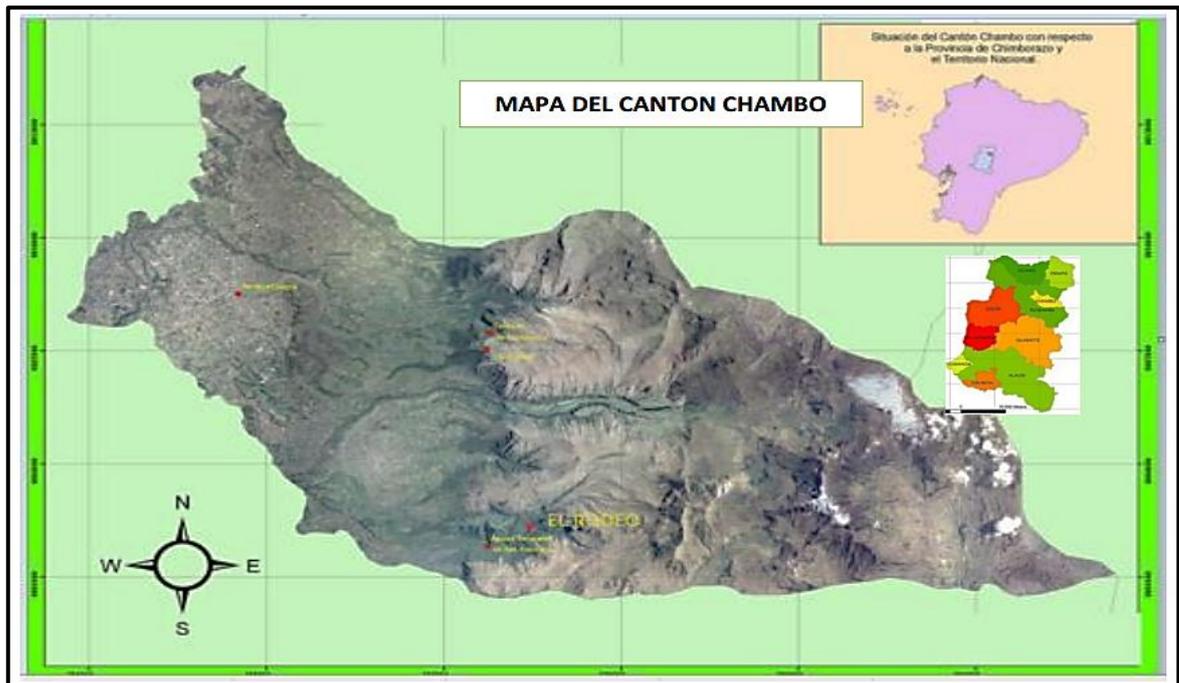


Figura 1-2: Mapa del cantón Chambo
Fuente: Plan de ordenamiento territorial del cantón Chambo, 2011



Figura 2-1: Criadero Jersey Chugllin
Realizado por: Lara Marlon, 2016

2.2 Elaboración e instalación de los biodigestores experimentales

Para el estudio se realizó dos biodigestores experimentales en los cuales se monitoreo los parámetros de temperatura y generación de biogás para determinar el tiempo de retención. El

primero se denominó biodigestor experimental 1 fue instalado en un área a condiciones de temperatura ambiente y el segundo se denominó biodigestor experimental 2 que fue instalado en un área en la que se implementó mejoras a las condiciones térmicas.

2.2.1 Construcción de los biodigestores

Para cada uno de los biodigestores se utilizaron los siguientes materiales:

Materiales

- Bidón de plástico de capacidad 20 L
- Tubería PVC de ½ pulgadas.
- Tubería PVC de 1 ¼ pulgadas.
- Codo de ½ pulgadas.
- Unión de ½ pulgada
- Llave de bola de ½ pulgada
- Termómetro
- Tarraja
- Teflón
- Pegamento para uniones PVC

Para la instalación de la tubería, primero se coloca el extremo del tubo PVC de 1 ¼ pulgadas a la entrada de biomasa del biodigestor experimental, se coloca el teflón necesario para que la unión sea firme, en el otro extremo se continua con 10 o 15 cm de tubería. Luego con ayuda de la tarraja se toma la sección superior de tubería y se da forma de rosca, para colocar la reducción de 1 ¼ a ½ pulgadas ya que con esta tubería será más manejable trabajar y realizar el resto de conexiones.

Se acopla un codo de ½ pulgada para que al final de la tubería se coloque la llave de bola mediante la cual podrá salir el biogás de manera controlada y así realizar las mediciones. Se procede a revisar todas las uniones para asegurar de que estén bien apretadas, Luego se colocó sellador y se dejó secar, todo esto con el fin de evitar alguna fuga.

Una vez finalizadas las conexiones se realizó un agujero en la parte superior del biodigestor, en el cual se introdujo el termómetro, se coloca teflón y sellador para que se mantenga firme. Este es el instrumento con el cual se realizaron las mediciones de temperatura.

2.2.2 Instalación biodigestor experimental 1

Una vez finalizada la construcción del biodigestor se lo trasladó al lugar seleccionado en el cual permaneció a temperatura ambiente ya que no se le realizó adecuaciones adicionales y solo se toma en cuenta varios aspectos como el que no debe estar debajo de árboles, ya que con el viento y otros factores las ramas podrían causar algún tipo de daño. El biodigestor debe ser instalado en un punto intermedio entre la cocina y el establo ya que este es el lugar donde está el estiércol fresco con el cual se trabaja y así se facilita la recogida del mismo cada mañana.

La distancia recomendable entre el biodigestor y la cocina no debe ser mayor a 25 m, por costos de las tuberías empleadas para la conducción de biogás y para que la presión no disminuya. El sitio escogido no debe interrumpir el camino de animales o personas. Debe estar ubicado en una zona soleada para aprovechar la radiación solar que va ayudar a calentar el biodigestor y el terreno alrededor.

2.2.3 Instalación biodigestor experimental 2

2.2.3.1 Construcción del invernadero y zanja

A este segundo biodigestor se lo instalo en un área que posee condiciones térmicas mejoradas para lo cual se realizó las siguientes adecuaciones.

Materiales

- Plástico de invernadero
- Vigas de madera
- Azadón, barra
- Clavos
- Aserrín, saco, paja

Método

Con ayuda de la pala y barra se excavo una zanja, se retira todas las raíces para después proceder a cubrir las paredes y el piso con plástico para evitar la humedad del suelo o filtración por lluvia muy frecuentes en la zona. Después en el fondo primero se colocó un saco, sobre este

luego se esparce una capa de aserrín en toda la zanja; para como último paso colocar paja. Todo esto para mantener e incrementar la temperatura para así favorecer la fermentación del sustrato

Para la construcción del invernadero, se excavo cuatro agujeros para como siguiente paso tomar los palos de madera que tienen 1m de longitud y se procedió a enterrarlos, estos serán los que dan el soporte a la estructura. Luego se tomó el plástico y se lo colocó alrededor de la estructura de manera que este lo mayor extendido posible; para que no se desprenda se lo fija a los palos de madera con clavos, se revisa que no presente ninguna rasgadura y que todo el lugar se encuentre cubierto por completo. El plástico nos servirá para aislar térmicamente el área donde se encuentra el biodigestor y conservara la temperatura.

La función primaria de los termoaislantes utilizados es reducir la transmisión de calor a través de las paredes y así evitar la transmisión de frío procedente de aire circundante al interior del biodigestor

2.3 Determinación de la carga diaria de estiércol

La materia prima utilizada fue el estiércol de ganado vacuno por lo que es necesario conocer la cantidad diaria de estiércol que se va a introducir al biodigestor.

Materiales

- Balde con capacidad de 10 litros.
- Pala manual para la recolección del estiércol.
- Balanza de 25 kg.
- Mandil, mascarilla, guantes.

Método

Para la determinación de la carga diaria es necesario conocer el tiempo en que las reses están dentro y fuera del establo. En la mañana el ganado sale y permanece hasta la tarde alimentándose libres en los potreros de la hacienda, el estiércol generado durante este lapso tiempo no es tomado en cuenta para el caso de estudio ya que, este puede estar mezclado con algunos otros elementos como piedras, ramas secas, u otros tipos de materiales presentes en los lugares donde realizan el pastoreo.

Por lo que se trabajó solo con el tiempo de estabulación, el cual es el momento en que el ganado permanece dentro del establo. Todos los días las reses son llevadas a las instalaciones a la misma hora, 18:30 pm la entrada al establo y 9:00 am hora en que salen nuevamente a las áreas asignadas para el pastoreo.

Una vez conocido el tiempo de estabulación con el cual se trabaja, de las 25 vacas que hay en el criadero, se eligió aleatoriamente seis vacas. A cada una de estas se le asignó un lugar fijo en el establo y cada mañana se recolecto el estiércol generado durante la permanencia en el establo, para este proceso utilizando la pala se colocó las excretas en el balde, este es trasladado a la balanza en la cual se procede a pesar las muestras. La cantidad total es dividida para el número de vacas seleccionadas; este procedimiento se lo llevo a cabo por cinco días para así obtener un valor promedio.

2.4 Preparación del sustrato

La biomasa que entra al biodigestor, debe ser fresca, siendo recomendable con menos de 7 días después de su generación, a efecto de que no se ingrese al biodigestor, biomasa con baja carga orgánica.

Un contenido insuficiente de agua en la mezcla alimentada al biodigestor ocasiona que las bacterias y otros microorganismos no obtengan el entorno apropiado para que puedan funcionar efectivamente y la cantidad de biogás producido será pequeña. Si la mezcla es demasiado diluida, se puede digerir relativamente poca materia orgánica y la producción de biogás es limitada.

Materiales

- Pala Manual
- Balde
- Termómetro
- Estiércol, agua, melaza
- Bidón de agua de 20L

Método

En la mañana se recolectó el estiércol fresco, la dilución que se utilizo es 1:1 por lo que por cada kilo de estiércol agregamos un litro de agua. Con ayuda de la pala se procede a llenar el balde, este es pesado con un total de seis kilogramos de excretas, luego de tener la medida necesaria el estiércol es colocado en el balde en la que se llevara a cabo la mezcla. Se tomó la

misma cantidad de agua, la cual se debe encontrar en un rango de temperatura de 20 a 30 °C esto para que ayude a la fermentación en los primeros días.

El agua temperada es llevada al balde y se mezcla con el estiércol de manera homogénea, todo esto es realizado de manera manual para así no dejar grumos. Al momento de insertar el sustrato en el biodigestor se colocó un embudo en la parte superior y se vertió de manera lenta para no derramar.

2.5 Monitoreo de la temperatura

Para que se inicie el proceso se requiere de una temperatura mínima de 4 a 5 °C. La temperatura marcara la actividad de las bacterias que digieren el estiércol, cuanto menor temperatura, menor actividad tendrá estas. La temperatura está íntimamente relacionada con los tiempos que debe permanecer la biomasa dentro del digestor para completar su degradación (Tiempo de Retención TR). A medida que se aumenta la temperatura disminuyen los tiempos de retención y en consecuencia, se necesitará un menor volumen de reactor para digerir una misma cantidad de biomasa.

Material

- Termómetro

Método

En la determinación de temperatura se utilizó el termómetro que fue instalado en los biodigestores, para el control se establece el horario en el cual se realiza la toma de temperatura. La primera es a las 9:00 am y la segunda se la realiza a las 13:00 pm. La ultima toma de temperatura es a las 18:00, con estos datos se conformó las temperaturas promedio tanto para el biodigestor en el área con mejoramiento térmico y para el biodigestor a temperatura ambiente.

2.6 Prueba de la probeta

Materiales

- Probeta 1L.
- Manguera
- Recipiente
- Agua
- Biodigestor

Método

En el día 14 tiempo en que el biodigestor se encontró cerrado de manera hermética, se realizó las pruebas de probeta, en la cual se toma el recipiente y se lo llena con agua, luego se acopla la manguera a la llave de bola. El otro extremo de manguera se coloca dentro de la probeta llena de agua, con cuidado se la invierte dentro del recipiente.

Se constata presencia de biogás por la disminución de agua en la probeta, para conocer la cantidad generada se apunta el nivel inicial de agua en la probeta y el nivel al que llega cuando termina de pasar el gas. Estos resultados diarios son los que se usó para elaborar la tabla de biogás generado que se indica en la tabla 3-3.

2.7 Prueba de flama

Materiales

- Manguera de gas
- Biodigestor
- Fósforo

Método

En el día 32 se realizó la prueba de la flama en la cual se toma uno de los extremos de la manguera y se la coloca en la llave de bola, se ajusta firmemente para que no se de fugas o pueda soltarse al momento de realizar la prueba.

Se toma el extremo de manguera libre y luego se procede abrir la llave para que se dé la circulación de biogás, tomando en cuenta las precauciones necesarias para que no se de algún

incidente se acerca un fosforo encendido a la manguera; al momento de salir el gas se forma una llama la cual su tamaño depende de la cantidad de biogás que circula.

2.8 Análisis de la varianza con un factor (Anova)

Un análisis de la varianza permite determinar si diferentes tratamientos muestran diferencias significativas o por el contrario puede suponerse que sus medias poblacionales no difieren. Este contraste es fundamental en el análisis de resultados experimentales, en los que interesa comparar los resultados de 'tratamientos' o 'factores'

El Anova requiere el cumplimiento los siguientes supuestos:

- Las poblaciones (distribuciones de probabilidad de la variable dependiente correspondiente a cada factor) son normales.
- Las muestras sobre las que se aplican los tratamientos son independientes.
- Las poblaciones tienen todas igual varianza (homocedasticidad).

2.9 Cálculos de diseño

Para realizar el cálculo de diseño de un biodigestor que genera biogás se puede partir de dos análisis diferentes:

- Conocer la cantidad exacta de materia orgánica que se desea procesar, a partir de estas calcular la cantidad de biogás que se generara y el tamaño adecuado del biodigestor.
- Conocer la cantidad de biogás que es necesaria para la actividad en la cual se va emplear, y con estos valores calcular la materia orgánica que este requiera, así como también la dimensiones el biodigestor.

En las opciones antes mencionadas nos darán como resultado el dimensionamiento del biodigestor, para esto se utilizó el estiércol que producido por seis vacas.

Tabla 1-2: Datos del ganado vacuno elegidos

Arete (#)	Nombre	Edad (años)	Raza	Peso (kg)
------------------	---------------	--------------------	-------------	------------------

2137	Valentina	4	Holstein	445
2198	Duce	5	Brown Swiss	478
2276	Rosita	4	Holstein	419
3092	Virginia	3	Holstein	493
2234	Tina	6	Jersey	416
1148	Nieves	4	Brown Swiss	465

Realizado por: Lara Marlon, 2016

2.9.1 Cantidad de estiércol producido al día

Estos datos fueron tomados durante el tiempo de estabulación de los ejemplares seleccionados.

Tabla 2-1: Promedio de estiércol producido al día

Reces	Valentina(Kg)	Duce (kg)	Rosita (kg)	Virginia (kg)	Tina(kg)	Nieves (kg)	Promedio de Kg estiércol / día
Día 1	6,9	6,5	6,8	6,9	7,1	6,9	6,9
Día 2	7,2	7,8	7,2	7,5	7,7	7,3	7,5
Día 3	7,8	7,3	7,8	7,3	8,2	7,2	7,6
Día 4	7,9	8,2	8,4	8,2	7,3	7,6	7,9
Día 5	8,1	7,5	7,6	7,8	8,1	7,3	7,7
Promedio de estiércol producido por vaca al día							7,5

Realizado por: Lara Marlon, 2016

El estiércol generado por cada vaca es de 7,5 kg al día. Para conocer la cantidad de sustrato con la que trabajara el biodigestor se realiza el siguiente cálculo con la Ecuación (1)

$$Ced = Kg \text{ de estiércol por ganado} \times N^{\circ} \text{ de ganado vacuno}$$

$$Ced = 7.5Kg \times 15 \text{ ganados}$$

$$Ced = 112.5Kg/d$$

2.9.2 Biodigestor experimental 1

Carga Diaria B. Exp 1

La cantidad de sustrato que ingresa en el biodigestor viene determinada por la relación existente entre el sustrato y agua, para el diseño la proporción es 1:1 ósea partes iguales.

Para lo cual se utiliza la Ecuación (2):

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

$$C_d = 112 \left(\frac{Kg}{d} \right) + 112(Kg)$$

$$C_d = \frac{224Kg}{d}$$

Volumen Líquido B. Exp 1

El tiempo de retención es considerado para definir el volumen del biodigestor, en este caso 49 días el tiempo en cual se generó mayor cantidad de biogás.

Cálculo del Volumen Líquido se usa la Ecuación (4):

$$V_L = C_d \times T_R$$

$$V_L = 224 \frac{Kg}{d} \times 49d$$

$$V_L = 10976Kg$$

$$V_L = 10,97m^3$$

Volumen Gaseoso B. Exp 1

El biodigestor en su volumen total almacena un 75% de parte líquida y el 25% de fase gaseosa.

Cálculo del Volumen Gaseoso con la Ecuación (5):

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

$$V_G = \frac{0,25}{0,75} \times 10,9m^3$$

$$\mathbf{V_G = 3,63 m^3}$$

Volumen Total del B. Exp 1

Para el cálculo de del Volumen Total se lo realiza utilizando la Ecuación (3):

$$V_{TD} = V_L + V_G$$

$$V_{TD} = (10,9 + 3,63)m^3$$

$$\mathbf{V_{TD} = 14,59 m^3}$$

Diámetro del Biodigestor Experimental 1

Para proceder a realizar los cálculos se toma como referencia el ancho de la membrana de polietileno tubular, la cual para un ancho de 2m el perímetro es de 4m.

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

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

$$\mathbf{D = 1,27m}$$

Longitud del Biodigestor Experimental 1

Para lo cual se considera el Biodigestor un cilindro se aplica la siguiente ecuación para obtener el cálculo de la longitud Ecuación (6):

$$L = \frac{4 \times V_{TD}}{\pi D^2}$$
$$L = \frac{4 \times 14,59m^3}{\pi \times (1,27m)^2}$$

$$L = 11,52m$$

Tanque de biogás o Volumen del reservorio B. Exp 1

Mediante la Ecuación (7):

$$V_{RB} = \frac{V_{TD}}{5}$$
$$V_{RB} = \frac{14,6m^3}{5}$$

$$V_{RB} = 2,92m^3$$

Longitud del tanque reservorio B. Exp 1

Para determinar longitud del tanque reservorio del Biodigestor Experimental 1 se utiliza la Ecuación (6):

$$L_{RB} = \frac{4 \times V_{RB}}{\pi D^2}$$
$$L_{RB} = \frac{4 \times 2,92 m^3}{\pi \times (1,27m)^2}$$

$$L_{RB} = 2,30m$$

2.9.3 Biodigestor experimental 2

Carga Diaria B. Exp 2

La cantidad de sustrato que ingresa en el biodigestor viene determinada por la relación existente entre el sustrato y agua, para el diseño la proporción es 1:1 ósea partes iguales. Para lo cual se utiliza la Ecuación (2):

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

$$C_d = 112\left(\frac{Kg}{d}\right) + 112(Kg)$$

$$C_d = \frac{224Kg}{d}$$

Volumen Líquido B. Exp2

El tiempo de retención es considerado para definir el volumen del biodigestor, en este caso 38 días.

Cálculo del Volumen Líquido se usa la Ecuación (4):

$$V_L = C_d \times T_R$$

$$V_L = 224\frac{Kg}{d} \times 38d$$

$$V_L = 8512Kg$$

$$V_L = \mathbf{8,51m^3}$$

Volumen Gaseoso B. Exp 2

El biodigestor en su volumen total almacena un 75% de parte líquida y el 25% de fase gaseosa.

Cálculo del Volumen Gaseoso con la Ecuación (5):

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

$$V_G = \frac{0,25}{0,75} \times 8,51m^3$$

$$V_G = \mathbf{2,83 m^3}$$

Volumen Total del B. Exp 2

Para el cálculo de del Volumen Total se lo realiza utilizando la Ec. 3:

$$V_{TD} = V_L + V_G$$

$$V_{TD} = (8,51 + 2,83)m^3$$

$$V_{TD} = 11,34m^3$$

Diámetro del Biodigestor Experimental 2

Para proceder a realizar los cálculos se toma como referencia el ancho de la membrana de polietileno tubular, la cual para un ancho de 2m el perímetro es de 4m.

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

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

$$D = 1,27m$$

Longitud del Biodigestor Experimental 2

Para lo cual se considera el Biodigestor un cilindro se aplica la ecuación 6 para obtener el cálculo de la longitud:

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

$$L = \frac{4 \times 11,34 m^3}{\pi \times (1,27m)^2}$$

$$L = 8,95m$$

Tanque de biogás o Volumen del reservorio B. Exp 2

Mediante la Ecuación (7):

$$V_{RB} = \frac{V_{TD}}{5}$$

$$V_{RB} = \frac{11,34m^3}{5}$$

$$V_{RB} = 2,26m^3$$

Longitud del tanque reservorio B. Exp 2

Para determinar longitud del tanque reservorio del Biodigestor Experimental 2 se utiliza la Ecuación (6):

$$L_{RB} = \frac{4 \times V_{RB}}{\pi D^2}$$

$$L_{RB} = \frac{4 \times 2,26 \text{ m}^3}{\pi \times (1,27\text{m})^2}$$

$$L_{RB} = 1,78\text{m}$$

Calculo de la cantidad de energía que el Criadero Jersey Chugllin consume

La actividad principal en la que se consume energía es en el lavado de la ordeñadora con 6 tanques de GLP en el mes.

Cantidad de GLPS en m³ de biogás

1 tanque de GLP es de 15 Kg

$$6 \times 15 = 90 \text{ Kg de GLP al mes}$$

Se considera el cuadro 5

$$\begin{aligned} \text{Cantidad de Biogas mensual} &= \frac{90 \text{ Kg GLP}}{\text{mensual}} \times \frac{1\text{m}^3 \text{biogás}}{0,45 \text{ Kg GLP}} \\ &= 200 \text{ m}^3 \text{biogas al mes} \end{aligned}$$

CAPITULO III

3 MARCO DE RESULTADOS, DISCUSION Y ANALISIS DE RESUTADOS

3.1 Cálculos de diseño

Tabla 1-3: Cálculos de diseño del biodigestor

Parámetro	Abreviatura	B. Exp 1	B. Exp 2	Unidad
Tiempo de retención	T_R	49	38	Días
Cantidad de excretas diarias	C_{ed}	112	112	Kg/d
Carga diaria	C_d	224	224	Kg/d
Volumen líquido	V_l	10,97	8,51	m^3
Volumen total de biodigestor	V_{TD}	14,59	11,34	m^3
Diámetro	D	1,27	1,27	M
Longitud	L	11,52	8,95	M
Volumen del reservorio	V_{RD}	2,92	2,26	m^3
Longitud del reservorio	L_R	2,30	1,78	M
Biogás generado	B_G	9955	11980	ml

Realizado por: Lara Marlon, 2016

Se realizó los cálculos para los dos biodigestores estos nos dieron como resultado diferentes parámetros de diseño como son para el biodigestor experimental 1: el tiempo de retención es de 49 días, volumen total 14.59, longitud 11.52m, volumen del reservorio 2.92m, longitud del reservorio 2.30m. Para el biodigestor experimental 2: un tiempo de retención de 38 días, volumen total 11.34, longitud 8.95m, volumen del reservorio 2.26m, longitud del reservorio 1.78 m.

Estos resultados nos dicen que las dimensiones del Biodigestor Exp 1 son un 33% mayor en el volumen y longitud que el Biodigestor Exp 2 con esto se nota lo importante que es el tiempo de retención en el dimensionamiento del biodigestor ya que de este dependerá si aumenta o disminuye el tamaño. Por lo que el B. Exp 1 al ser más largo y con mayor volumen implicaría mayores gastos de construcción así como también se necesitaría ocupar un área de terreno más grande.

3.2 Monitoreo de la temperatura

Estas fueron obtenidas del biodigestor experimental 1 el cual se encuentra a temperatura ambiente y el biodigestor experimental 2 está ubicado en el área con la mejora térmica.

Tabla 3-1: Temperaturas Promedio

Días	Fecha	B. Exp 1 °C	B. Exp 2 °C
1	01/03/2016	13,7	14,7
2	02/03/2016	12	14
3	03/03/2016	13,7	14,3
4	04/03/2016	13,8	15,3
5	05/03/2016	14,7	17
6	06/03/2016	10,3	13,3
7	07/03/2016	12,7	15,7
8	08/03/2016	10,3	14
9	09/03/2016	12,7	15,3
10	10/03/2016	11,7	15
11	11/03/2016	14,7	17
12	12/03/2016	12,3	16
13	13/03/2016	15	18,7
14	14/03/2016	12,3	16,3
15	15/03/2016	12	16,5
16	16/03/2016	14,3	18,7
17	17/03/2016	11	16
18	18/03/2016	12,3	17,5
19	19/03/2016	13,8	17,7
20	20/03/2016	12,3	16,7
21	21/03/2016	15,7	20
22	22/03/2016	15,2	21,3
23	23/03/2016	12,5	20,5
24	24/03/2016	12,3	18,7
25	25/03/2016	11,3	17,7
26	26/03/2016	14,7	21
27	27/03/2016	16,3	22
28	28/03/2016	16,3	21,7
29	29/03/2016	15	19,3
30	30/03/2016	14,7	20
31	31/03/2016	16,3	22,3
32	01/04/2016	14,7	24
33	02/04/2016	14	25,7
34	03/04/2016	14,3	24,3
35	04/04/2016	13,7	25

36	05/04/2016	12,7	25,7
37	06/04/2016	13,3	24,7
38	07/04/2016	14,3	25
39	08/04/2016	13,3	26
40	09/04/2016	12,5	24,7
41	10/04/2016	12,3	21,3
42	11/04/2016	12,7	19
43	12/04/2016	11	17,7
44	13/04/2016	14,3	16,3
45	14/04/2016	14	15,5
46	15/04/2016	14,7	15,5
47	16/04/2016	13,7	15,3
48	17/04/2016	14,7	15,5
49	18/04/2016	14	15
50	19/04/2016	13,7	15
51	20/04/2016	13,3	14,7
52	21/04/2016	14	15,3
53	22/04/2016	13,3	15,5
54	23/04/2016	12	14,3
55	24/04/2016	11	14
56	25/04/2016	11,5	13,7
57	26/04/2016	12	13

Realizado por: Lara Marlon, 2016

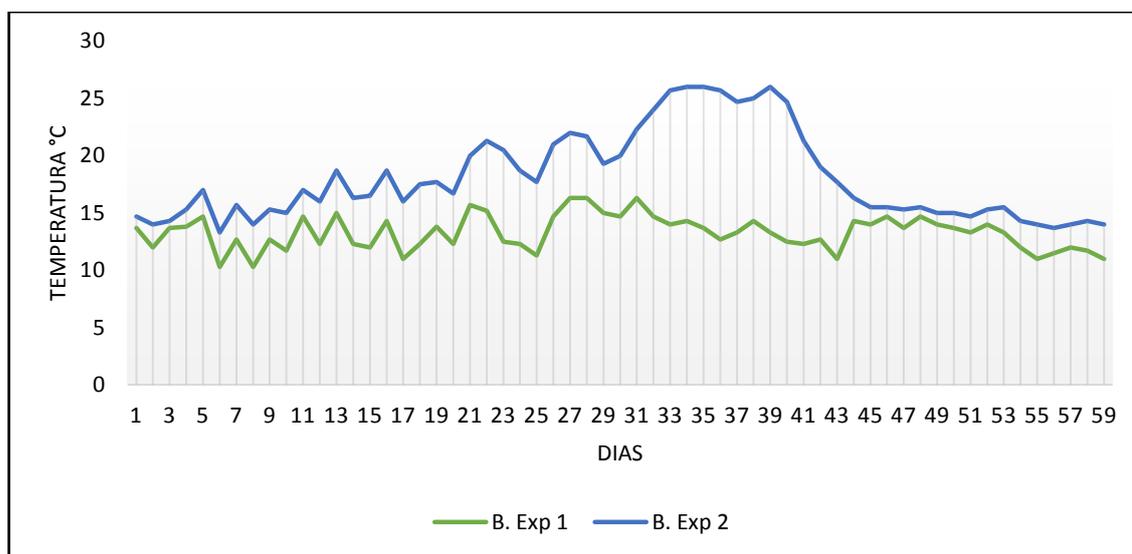


Figura 1-3: Grafico de Temperaturas Promedio

Realizado por: Lara Marlon, 2016

Como podemos observar en la gráfica obtenida a partir de la tabla 3-2 en los cinco primeros días el proceso inicio con una variación de temperatura de 1 a 2 °C entre los dos biodigestores esto se debe a que las bacterias se encuentran en periodo de adaptación a las diferentes condiciones del medio.

A medida que siguen transcurriendo los días del 6 al 15 se nota un incremento aproximado de 3 a 4 °C del biodigestor experimental 2 con relación al biodigestor experimental 1 ya que en este lapso de tiempo las bacterias ya se han adaptado al medio. Desde el día dieciséis hasta el treinta las temperaturas son variables por las condiciones ambientales de la zona en la que en los días con baja temperatura la generación de biogás también es menor. Desde el 31 de marzo los días siguientes se puede observar que en el biodigestor que se encuentra en el área térmica mejorada aumenta su temperatura llegando a una variación de entre 6 a 13 °C con respecto al biodigestor que está a temperatura ambiente.

Las temperaturas del 4 de Abril en adelante son las más altas en el biodigestor experimental 2, en este periodo de tiempo el proceso se estabilizo, ya que después de este día se notó que en el biodigestor experimental 2 la producción de biogás disminuye y la temperatura de los siguientes días tienen un comportamiento casi similar a la del ambiente. Desde el día 40 en adelante la temperatura en los dos biodigestores oscila entre los 10 y 15 °C. Los días que siguen presentan temperaturas bajas propias de la estación del año. Se observó que en los días fríos el mejoramiento térmico del biodigestor experimental dos le permitió obtener una variación de temperatura de 3 a 5 °C.

Análisis Estadístico de la Temperatura

3.2.1 Planteamiento de hipótesis

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Ho: No existe un diferencia significativa de la temperatura entre los experimentos $p \geq 0,05$

Ha: Existe un diferencia significativa de temperatura entre los experimentos $p < 0,05$

3.2.2 Nivel de Significancia

$$\alpha = 0.05$$

3.2.3 Estadístico de Prueba

$$F = \frac{S_1^2}{S^2}$$

3.2.4 Valores Críticos

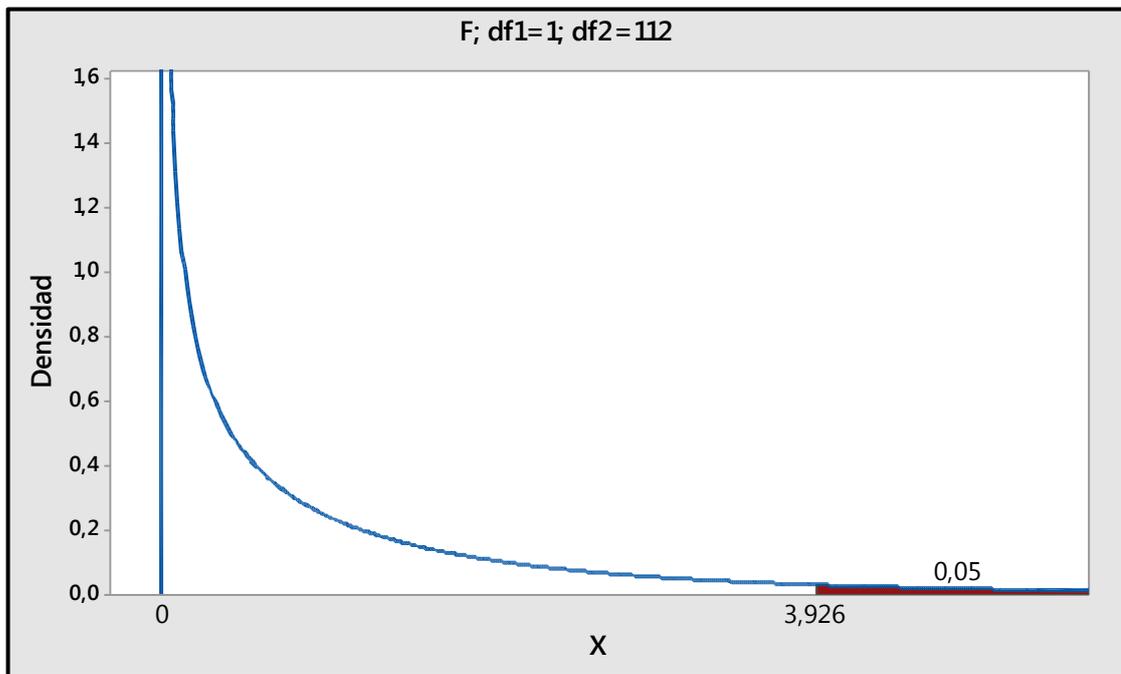


Figura 2-3: Grafica de distribución de temperaturas
Realizado por: Lara Marlon, 2016

3.2.5 Comparación de valores

Tabla 3-2: Resumen Anova

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	663,377	1	663,377	79,610	,000
Intra-grupos	933,273	112	8,333		
Total	1596,650	113			

Realizado por: Lara Marlon, 2016

$$F_{obs} > F_{calc}$$

$$79.610 > 3.926 \text{ Rechaza } H_0$$

$$\text{Valor } p < \alpha$$

$$0 < 0.05 \text{ Rechaza } H_0$$

3.2.6 Conclusión

Estadísticamente se rechaza H_0 debido a que el estadístico de prueba está en la zona de rechazo y el valor p es inferior a nuestro nivel de significancia, por lo tanto en el biodigestor experimental 1 la temperatura media es diferente a la temperatura media en el biodigestor experimental dos.

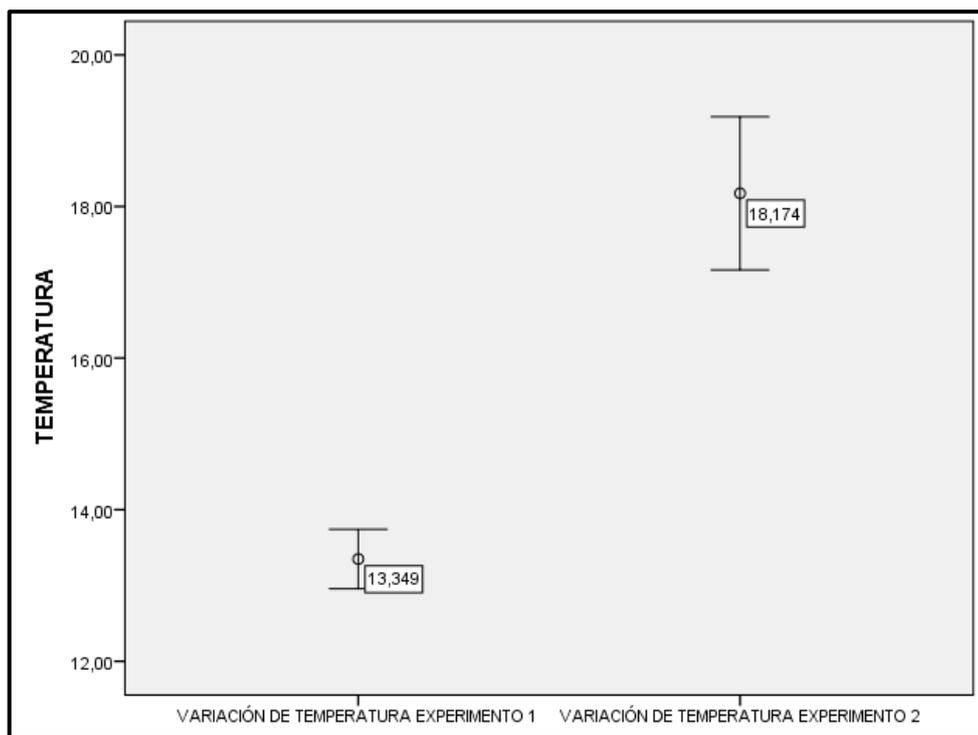


Figura 3-1: Grafica Compilatorio variación de temperatura
Realizado por: Lara Marlon, 2016

Por medio de la gráfica se puede visualizar que existe una diferencia significativa entre la temperatura ambiente y la temperatura mejorada siendo este correspondiente a 4,83 C.

3.3 Volumen de Biogás Generado

Tabla 4-3: Generación diaria y acumulada de biogás

Fecha	Días	B.Exp 1 (ml)	Acum 1(ml)	B. Exp 2 (ml)	Acum 2 (ml)
01/03/2016	1	0	0	0	0
02/03/2016	2	0	0	0	0
03/03/2016	3	0	0	0	0
04/03/2016	4	0	0	0	0
05/03/2016	5	0	0	0	0
06/03/2016	6	0	0	0	0
07/03/2016	7	0	0	0	0
08/03/2016	8	0	0	0	0
09/03/2016	9	0	0	0	0
10/03/2016	10	0	0	0	0
11/03/2016	11	0	0	0	0
12/03/2016	12	0	0	0	0
13/03/2016	13	0	0	0	0
14/03/2016	14	25	25	50	50
15/03/2016	15	10	35	40	90
16/03/2016	16	20	55	70	160
17/03/2016	17	10	65	50	210
18/03/2016	18	40	105	100	310
19/03/2016	19	50	155	140	450
20/03/2016	20	70	225	150	600
21/03/2016	21	80	305	180	780
22/03/2016	22	120	425	200	980
23/03/2016	23	130	555	210	1190
24/03/2016	24	150	705	230	1420
25/03/2016	25	130	835	240	1660
26/03/2016	26	150	985	300	1960
27/03/2016	27	180	1165	370	2330
28/03/2016	28	190	1355	410	2740
29/03/2016	29	210	1565	480	3220
30/03/2016	30	220	1785	510	3730
31/03/2016	31	220	2005	580	4310
01/04/2016	32	0	2005	0	4310

02/04/2016	33	270	2275	620	4930
03/04/2016	34	300	2575	670	5600
04/04/2016	35	310	2885	730	6330
05/04/2016	36	310	3195	790	7120
06/04/2016	37	320	3515	830	7950
07/04/2016	38	330	3845	910	8820
08/04/2016	39	320	4165	870	9730
09/04/2016	40	330	4495	750	10480
10/04/2016	41	370	4865	520	11000
11/04/2016	42	410	5275	330	11330
12/04/2016	43	360	5635	210	11540
13/04/2016	44	400	6035	180	11720
14/04/2016	45	460	6495	150	11870
15/04/2016	46	510	7005	100	11970
16/04/2016	47	520	7525	40	12010
17/04/2016	48	540	8065	20	12030
18/04/2016	49	550	8615	10	12040
19/04/2016	50	480	9095	10	12050
20/04/2016	51	330	9425		
21/04/2016	52	260	9685		
22/04/2016	53	180	9865		
23/04/2016	54	60	9925		
24/04/2016	55	10	9935		
25/04/2016	56	10	9945		
26/04/2016	57	10	9955		

Realizado por: Lara Marlon, 2016

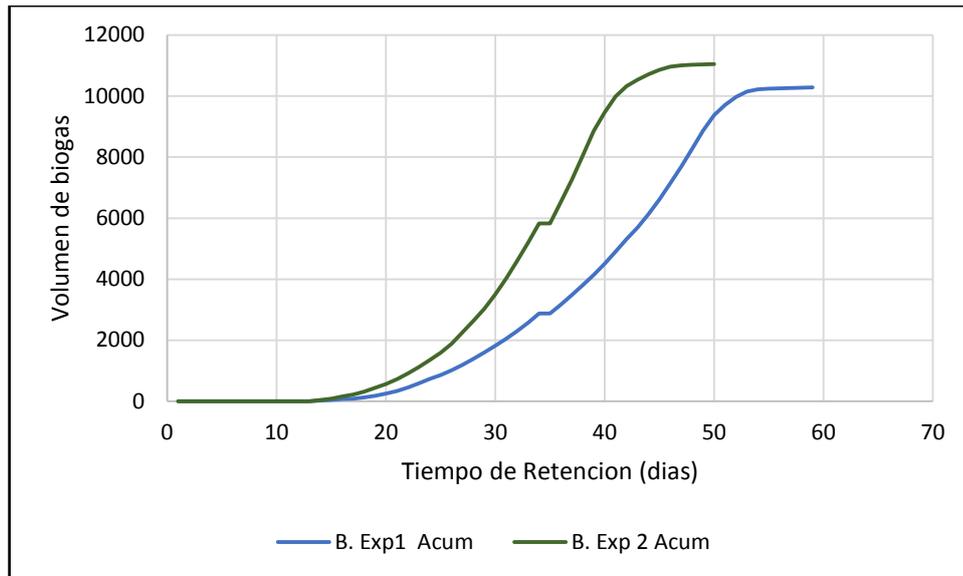


Figura 4-3: Grafica de Volumen acumulado de biogás
 Realizado por: Lara Marlon, 2016

Esta grafica se realizó con los datos de la tabla 4-3 los primeros días los biodigestores estuvieron cerrados de manera hermética permaneciendo así para que se lleven a cabo las primeras fases de degradación en la digestión anaerobia. En el día 14 de Marzo se empezó a realizar las pruebas de la probeta, observando que la generación de biogás va en aumento al transcurrir los días esto se debe a que las bacterias ya se han adaptado al medio y se da la fase de crecimiento exponencial en la cual presenta una velocidad que aumenta poco a poco hasta llegar a su valor máximo esto va depender de la temperatura. El primero de abril se realiza la prueba de la flama es por eso que en la tabla 12 se encuentra un valor igual a 0.

En el Biodigestor experimental 2 a partir del día 3 de Abril en adelante se observa una producción de gas elevada, en la que la mayor cantidad de biogás se da es en el día 39 correspondiendo este al tiempo de retención y es con el cual se realizaron los cálculos. Desde el 9 de Abril y los días siguientes la generación de biogás disminuyo hasta el 19 de Abril, fecha en el que se constató que no se produjo más biogás.

El Biodigestor Experimental 1 los primero días el proceso inicia con una generación baja de biogás ya que la transformación enzimática de los compuestos de alto peso molecular hasta llegar a estabilizarse transcurre de manera lenta porque el biodigestor sin adecuaciones es más susceptible a las condiciones climáticas ambientales de la zona. El día 20 se continua con el monitoreo notándose en los días más fríos la generación de biogás es baja. Desde el 15 de marzo se observa cantidades altas de generación siendo el día 49 en el que más se produjo biogás por lo que este se determina como el tiempo de retención. El 26 de abril se realiza la

última medición ya que después de esta día no se produjo más biogás con esto finalizo la fase experimental.

El Biodigestor experimental 1 presenta un periodo más largo de tiempo para la generación de biogás o tiempo de retención, esto se debe a que el biodigestor permaneció a temperatura ambiente ya que no se le realizo ninguna adecuación al área en la que se lo instalo.

3.4 Análisis Estadístico de la Generación de Biogás

3.4.1 Planteamiento de hipótesis

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

H_1 : Al menos una muestra es diferente

3.4.2 Nivel de Significancia

$$\alpha = 0.05$$

3.4.3 Estadístico de Prueba

$$F = \frac{S_1^2}{S^2}$$

3.4.4 Valores Críticos

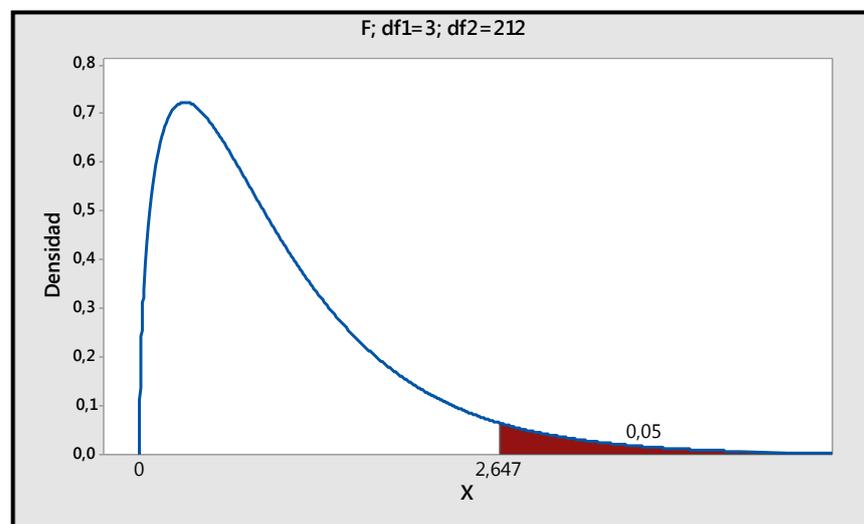


Figura 5-3: Grafica de distribución

Realizado por: Lara Marlon, 2016

3.4.5 Comparación de valores

Tabla 3-3: Resumen Anova

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	676648984,085	3	225549661,362	25,715	,000
Intra-grupos	1859466309,89 7	212	8771067,500		
Total	2536115293,98 1	215			

Realizado por: Lara Marlon 2016

$$F_{obs} > F_{calc}$$

$$25,715 > 2,647 \text{ Rechaza } H_0$$

$$\text{Valor } p < \alpha$$

$$0 < 0.05 \text{ Rechaza } H_0$$

3.4.6 Conclusión

Estadísticamente se rechaza H_0 debido a que el estadístico de prueba está en la zona de rechazo y el valor p es inferior a nuestro nivel de significancia, por lo tanto al menos una muestra tiene diferente generación de biogás.

3.4.7 Comparación de Medias

Tabla 6-3: Comparaciones múltiples de Tukey

(I) COMPILATORIO	(J) COMPILATORIO	Diferencia de medias (I-J)	Error Típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
EXPERIMENTO 1.NORMAL	Experimento 1. Acumulada	-3080,1724	549,955	,000	-4504,2944	-1656,0505
	Experimento 2. Normal	-69,1866	571,5301	,999	-1549,1806	1410,8013
	Experimento 2. Acumulada	4009,38966	571,5301	,000	-5489,3806	-2529,3987
EXPERIMENTO 1. ACUMULADA	Experimento 1.normal	3080,17241	549,9550	,000	1656,0505	4504,2944
	Experimento 2. Normal	3010,9827	571,5301	,000	1530,9918	4490,9737
	Experimento 2. Acumulada	-929,21724	571,5301	,366	-2409,2082	550,7737
EXPERIMENTO 2. NORMAL	Experimento 1.normal	69,18966	571,5301	,999	-1410,8013	1549,1806
	Experimento 1. Acumulada	3010,98276	571,5301	,000	-4490,9737	-1530,9918
	Experimento 2. Acumulada	3940,20000	592,3197	,000	-5474,0263	-2406,3737
EXPERIMENTO 2. ACUMULADA	Experimento 1.normal	4009,3896	571,5301	,000	2529,3987	5489,3806
	Experimento 1. Acumulada	929,21724	571,5301	,366	-550,7737	2409,2082
	Experimento 2. Normal	3940,2000	592,3197	,000	2406,3737	5474,0263
La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05						

Realizado por: Lara Marlon, 2016

La generación de biogás a temperatura ambiente (experimento 1 normal) es homogéneo a la generación de biogás en el área con mejoramiento térmico (experimento 2 normal); mientras que el experimento 1 acumulado y el experimento 2 acumulado son homogéneas.

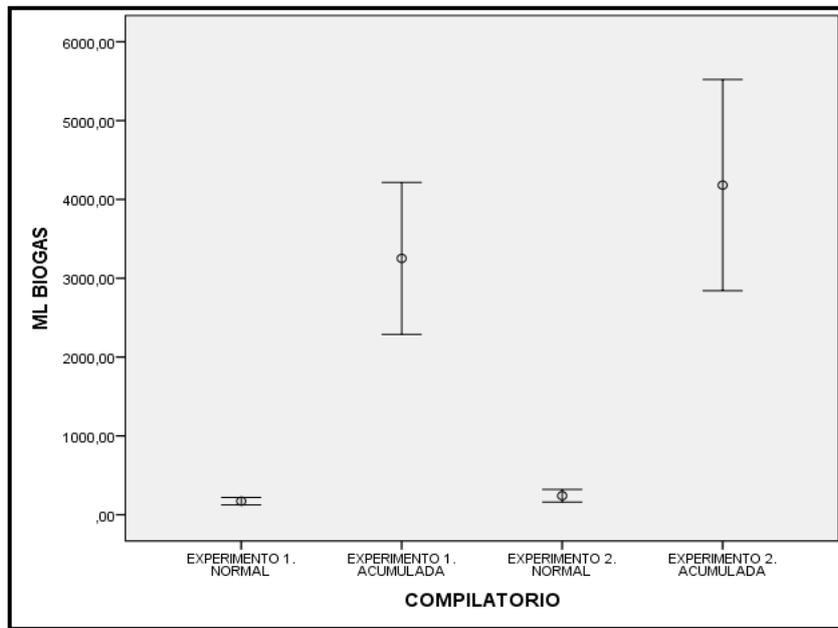


Figura 6-3: Grafica compilatorio de generación de biogás
 Realizado por: Lara Marlon, 2016

Se puede decir que el experimento 1 normal y el experimento dos normal se encuentra entre 0 y 1000 resultando estos homogéneos, caso similar sucede entre el experimento uno y experimento dos acumulado siendo estos homogéneos entre ellos.

Discusión

El primero de marzo es la fecha en que la parte experimental empieza colocando a los dos biodigestores en sus lugares correspondientes, se realiza la toma de temperatura ya que estas son registradas durante todos los días hasta el final de la investigación. Los trece primeros días los dos biodigestores permanecen cerrados de manera hermética para que se den los procesos de degradación. El 14 de Marzo se realiza la prueba de la probeta mediante la cual se mide el volumen gas generado, esta se hizo de igual manera diaria. Los días siguientes se nota una producción de biogás creciente esto se debe a que las bacterias ya se han adaptado al medio y se encuentran en la fase de crecimiento exponencial en la que la velocidad aumenta poco a poco hasta llegar a su valor máximo, el lapso de tiempo en que esto sucede va depender de la temperatura. En el día 32 se realizó la prueba de la flama en la cual se consumió todo el biogás producido por lo que no se obtuvo un valor cuantitativo que registrar para la tabla diaria de generación.

Con la toma de datos mediante la prueba de la probeta se determina que el día 39 se da la cantidad más elevada de biogás producida, siendo este el tiempo de retención para el biodigestor experimental 2. Por las condiciones ambientales de la zona las temperaturas son variables, en los días con baja temperatura el biogás generado también es menor por lo que se nota la relación directa que hay entre la temperatura y generación de biogás. En los días con mayor temperatura en el B. Exp 2 hay una diferencia que oscila entre 6 a 13°C con respecto al B. Exp 1. El 18 de Abril se registra la producción más elevada de biogás en el biodigestor experimental 1 por lo que se determinó que este es el tiempo de retención ósea 49 días.

CONCLUSIONES

- El diseño del biodigestor se terminó de manera satisfactoria en el criadero Jersey Chugllin ya que hubo la disponibilidad de materia orgánica, a partir de la cual se obtuvo biogás bajo las condiciones climáticas de la zona.
- Por medio del método experimental (Anova de un factor) se logró comprobar la homogeneidad de generación de biogás en los dos biodigestores en diferentes áreas instaladas, por lo que se concluye que la temperatura en las dos áreas no influyó significativamente en la generación; obteniendo una producción media de 3,080 L y 3,010L.
- Con la implementación de los dos biodigestores experimentales en el criadero Jersey se determinó el parámetro tiempo de retención el cual es 49 días para el experimento 1 y 38 días para el numero 2, en el parámetro temperatura nos dio una media de 13,34 °C para el biodigestor experimental 1 y 18,17 °C para el biodigestor experimental 2.
- Realizado los dos biodigestores experimentales el número dos presento mejores características y mediante la aplicación de técnicas cuantitativas y cálculos se determinó los diferentes criterios de diseño como son: volumen total 11,34m³, longitud 8,95m, diámetro de 1,27m, con una carga de 224Kg, y una producción diaria de 2,82 m³ lo que permitirá cubrir el 45% del consumo del criadero.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar el número de pruebas con el biodigestor experimental dos ya que es con el cual se obtuvo un tiempo de retención menor.
- Realizar una mejora a las adecuaciones térmicas efectuadas en el biodigestor experimental dos para incrementar aún más la temperatura y así determinar si mediante esto, se da un aumento significativo en la generación de biogás.
- Tomar en cuenta la ubicación del biodigestor el área deber ser cercana al establo donde se recolectará el estiércol y a la vivienda que va a utilizar el biogás, así optimizar costos en las tuberías de instalación, que no interrumpa el camino de animales o personas porque se podrían generar fisuras o rupturas. El lugar debe ser en un sitio abierto en la que se aproveche la luz solar.
- Para evitar las fugas revisar todas las uniones, colocar el teflón necesario y sellador, ya que además de la pérdida de biogás la presión dentro del biodigestor también tiende a disminuir.
- Al efectuar la recolección de excretas para la carga diaria realizarla prioritariamente en un horario establecido así el estiércol no permanece por un largo tiempo acumulado, para que no se ingrese al biodigestor biomasa con baja carga orgánica.
- Continuar con temas de investigación para realizar biodigestores más eficientes de acuerdo a las diferentes zonas climáticas de nuestro país, así esta tecnología podrá seguir

propagándose para dar una buena utilización al estiércol de origen animal y estos no se conviertan en residuos perjudiciales para el ambiente.

BIBLIOGRAFÍA.

1. **ACURIO, G.**, Diagnostico de la situación del manejo de residuos sólidos municipal en América Latina y el Caribe., 18ª ed., Santiago de Chile-Chile., Editorial Publicación conjunta del Banco Interamericano de Desarrollo y la Organización Panamericana de la Salud., 2009., p. 10.
2. **AGUILAR, F.X. & BOTERO, R.** “Los Beneficios Económicos Totales de la Producción de Biogás Utilizando un Biodigestor de Polietileno de Bajo Costo”. *Revista Tierra Tropical de la Universidad EARTH* ,2006 (Costa Rica) 2 (1), pp. 49-59. ISSN 4442-1000.
3. **ARBOLEDA OLAYA, Yeison & GONZÁLEZ SALCEDO, Luis Octavio**, *Fundamentos para el diseño de biodigestores* [En línea] (Módulo para la asignatura de Construcciones Agrícolas) Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Palmira-Colombia 2009, pp. 13-16. [Consulta: 23 de enero de 2015.] Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/7967/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf>
4. **ASAMBLEA NACIONAL DEL ECUADOR.** Reforma constitucional. [En línea] 2010 [Consulta: 3 de enero de 2015.] Disponible en: <http://documentacion.asambleanacional.gob.ec/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/46f86955-7590-4b57-95c3-61add786d93c/Constitucion%2bReforma.pdf>.
5. **AVENDAÑO PERKINS- ALLEN, Diego.** *Diseño y construcción de un digestor anaerobio de flujo pistón que trate los residuos generados en una explotación ganadera de la localidad de Loja, Ecuador empleando tecnologías apropiadas.*, [En línea] (Tesis Pregrado). Universidad politécnica de Madrid, Universidad técnica particular de Loja, Loja- Ecuador 2010, pp. 6, 7,44 [Consulta: 17 de marzo 2015]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/324880360/Diseno-de-un-digestor-anaerobico-pdf>

6. **CAMPOS CUNI, Bernardo.** “Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino” *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, [En línea] 2011 (San José de las Lajas-Cuba) 20 (2), pp. 37-41. [Consulta: 25 de febrero de 2015.] ISSN 2071-0054. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542011000200007
7. **CHUNGANDRO NACAZA, Kléber Reinaldo.** *Diseño y construcción de un biodigestor para pequeñas y medianas granjas.*, [En línea] (Tesis Pregrado). Escuela Politécnica Nacional., Quito-Ecuador 2010, pp. 52-124. [Consulta: 17 de abril 2015]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1650/1/CD-2734.pdf>
8. **COTRINA, Robert. & VILLANUEVA, Gilberto.** *Biodigestores unifamiliares, Cartilla práctica para instalación, operación y mantenimiento.* Lima-Perú, Soluciones Prácticas., 2013, p. 32
9. **CRIOLLO QUIZHPI, Erika Carmen & GUZMÁN GUARACA, Adriana Catalina,** *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 Pregrado).* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2014. p.43.
10. **DEUBLEIN, Dieter; & STEINHAUSER, Angelika.** *Biogas from Waste and Renewable Resources.* 2ª ed. Florida- USA: Revised and Expanded Edition, 2010, pp. 47
11. **DIAZ, Maria; ESPITIA, Sandra & MOLINA Francisco.** *Digestion anaerobia una aproximación a la tecnología.* Bogotá- Colombia, 2002, pp.4-12.
12. **GUASUMBA José.** *Optimización del Proceso de Fermentación Anaeróbica para Aprovechamiento de Desechos Vegetales.* Sangolquí. 2007. pp. 6
13. **GUERRO MAXI, Clara, et al.** *Optimización de un biodigestor en la depuración de agua residual con estiércol de ganado bovino.* [En línea] (Tesis Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana., Cuenca-Ecuador., 2011, pp. 58-69. [Consulta: 2 de marzo 2015]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1215/14/UPS-CT002194.pdf>

14. **HERRERO, M.** *Biodigestores familiares: Guía de diseño y Manual De Instalación de biodigestores familiares.* [En línea] La paz - Bolivia. 2008. pp.11, 26, 27,28. [Consulta: 5 de enero de 2015.] Disponible en: <http://www.bivica.org/upload/biodigestores-familiares.pdf>
15. **HILBERT, J.A.** Manual para la producción de biogás. Instituto de Ingeniería Rural, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA. Buenos Aires 2013, p. 57
16. **HOSSAIN, M & ISLAM, M.** Energy Sources. New York – USA: An Alternative Fuel for Motor Vehicles, 2008, pp 942-953.
17. **HORNER, Claire, CARNEY, Karen & BOHANNAN, Brendan,** “*An ecological perspective on bacterial biodiversity* ”. *Biological Sciences* [En línea], 2004, (New York – USA) 271(1535), pp 117-120. [Consulta: 15 de marzo de 2015.] PMC1691570 Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1691570/>
18. **IGLESIAS, Luis.** El estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio Ambiente. . [En línea] Madrid. 2008. pp.3, 12,13 [Consulta: 2 de marzo de 2015.] Disponible en: http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1994_0_1.pdf
19. **IGLESIAS MARTINEZ, LUIS.** El estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente. Madrid-España: RIVADENEYRA, S.A., 1995, pp. 3-6.
20. **JARAUTA ROVIRA Laura.** Digestión anaerobia para el tratamiento de residuos orgánicos: estudio de las necesidades para la implantación en Perú. [En línea] 2005 [Consulta: 3 de enero de 2015.] Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/2008/05_invest_JARAUTA.pdf
21. **LETTINGA, G.** Anaerobic digestion and wastewater treatment systems. *US National Library of Medicine National Institutes of Health* [En línea], 1997, (Ámsterdam – Holanda) 67(1), pp 4-12. [Consulta: 15 de marzo de 2015.] Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7741528>
22. **MARTI HERRERO, J.** Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación. Bolivia: GTZ, 2008.

23. **MARTÍ ORTEGA, Nuria.** *Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process*, Boca Raton Florida- USA, 2006. ISBN: 1-58112-3325. pp. 3-10
24. **METCALF, Eddy.** *Fundamentos de los Tratamientos Biológicos del Agua residual, Tratamiento y reúso.* 4^a ed. New York-USA :Mac Graw Hill. 2003, pp.563-644.
25. **MINENERGIA, PNUD, FAO & GEF.** *Manual de biogas* [En línea] 2011 (Chile). pp14-66. [Consulta: 23 de marzo de 2015.] ISBN 978-95-306892-0. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>
26. **MINER, J. et al.** *Managing livestock wastes to preserve enviromental quality*, New York-U.S.A. : AMES,IA, 2000, p. 318.
27. **MINISTERIO DEL AMBIENTE, (MAE).** *Ley de Gestión Ambiental.* [En línea] Agosto de 2004. [Consulta: 3 de marzo de 2015.] Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTION-AMBIENTAL.pdf>.
28. **PINOS-RODRIGUEZ, Juan M. et al.** "Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América", *Agrociencia* [En línea] 2012 (México) 46 (4), pp. 359-370. [Consulta: 15 de febrero de 2015.] ISSN 1405-3195. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952012000400004&script=sci_abstract&tlng=en
29. **SÁNCHEZ MENA, Milton Vinicio & PAZMIÑO GARZÓN, Germán Alexander.** *Diseño y construcción de un biodigestor plástico de flujo continuo, a partir de desechos orgánicos para la Hacienda San Antonio del IASA II, perteneciente a la ESPE* [En línea] (Tesis Pregrado). Escuela Politécnica del Ejército, Quito-Ecuador., 2007, pp.76-88. [Consulta: 2 de febrero 2015]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2227/1/T-ESPE-014730.pdf>
30. **SANGUIL TOSCANO, Tatiana Carolina,** *Diseño de un biodigestor anaeróbico para la obtención de biogás, a partir de las excretas de ganado vacuno en el rancho Guadalupe, en el cantón mocha provincia de Tungurahua en el año 2015. (Tesis Pregrado).* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2015. p. 27

31. UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME). Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás [En línea], 2003 (Bogotá), p. 20. [Consulta: 19 de abril de 2015.] Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16514/1/CD-7185.pdf>

32. VALLEJOS, Marcelo. Biodigestor como la potencial solución para el manejo de desechos orgánicos y la producción de energías alternativas. [En línea] 2013. [Consulta: 3 de junio de 2015.] Disponible en: <http://www.biodisol.com/cultivos-energeticos/girasol/biodigestores-como-la-potencial-solucion-para-el-manejo-de-desechos-organicos-y-la-produccion-de-erengias-alternativas/>

ANEXOS

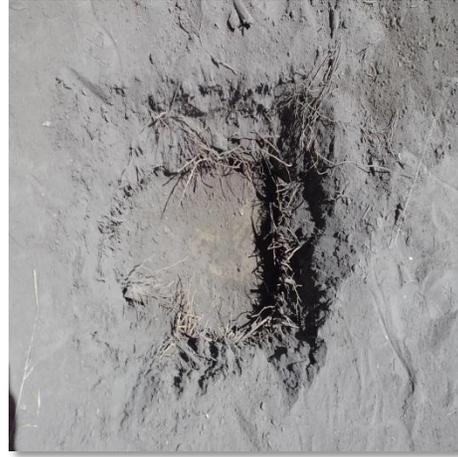
Anexo A: Construcción de los biodigestores



Anexo B: Preparación del área para la instalación



Profundizar para la zanja





Elementos del mejoramiento térmico



Anexo C : Biodigestores Instalados

Biodigestor Experimental 1



Biodigestor Experimental 2



Anexo D: Pruebas de probeta, flama, temperatura

