



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

PLAN DE CONTINGENCIA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

**“CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA GENERACIÓN DE
BIOGÁS EN LA COMUNIDAD ZAPALLO DE LA PARROQUIA TALAG,
CANTÓN TENA, PROVINCIA DE NAPO DURANTE EL PERÍODO DE
FEBRERO A JUNIO DEL 2014”**

Tesis Previa a la obtención del Título de
Ingeniero en Manejo y Conservación del
Medio Ambiente.

AUTOR: Stiben Andrés Salazar Amores

DIRECTOR DE TESIS: Ing. Herrera Herrera Washington Adán., Mg.Sc.

Loja - Ecuador

2015

Ing. Herrera Herrera Washington Adán., Mg.Sc.

**DOCENTE DE LA CARRERA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL
MEDIO AMBIENTE DEL PLAN DE CONTINGENCIA DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA, SEDE TENA.**

CERTIFICA

Que el presente Trabajo de Titulación titulado “**CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS EN LA COMUNIDAD ZAPALLO DE LA PARROQUIA TALAG, CANTÓN TENA, PROVINCIA DE NAPO.**” desarrollada por Stiben Andrés Salazar Amores ha sido elaborada bajo mi dirección y cumple con los requisitos de fondo y de forma que exigen los respectivos reglamentos e instituciones. Por ello autorizo su presentación y sustentación.

Tena, 10 de Julio del 2015



Ing. Herrera Herrera Washington Adán., Mg.Sc.

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, STIBEN ANDRÉS SALAZAR AMORES, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

AUTOR: Stiben Andrés Salazar Amores

FIRMA:

CÉDULA: 150087339-1

FECHA: Loja, Julio del 2015

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR
PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y
PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.**

Yo, STIBEN ANDRÉS SALAZAR AMORES, declaro ser autor, de la tesis titulada: “CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS EN LA COMUNIDAD ZAPALLO DE LA PARROQUIA TALAG, CANTÓN TENA, PROVINCIA DE NAPO”, como requisito para optar al grado de INGENIERO EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE; autorizo al sistema bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por la copia o plagio de la Tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 23 días del mes de Julio del 2015, firma el autor.

FIRMA:

AUTOR: Stíben Andrés Salazar Amores.

CÉDULA: 1500873391

DIRECCIÓN: Av. Tamihaurco, “Barrio Las Palmas”.

CORREO ELECTRÓNICO: steve_1989_chifle@hotmail.com

CELULAR: 0984243162

DATOS COMPLEMENTARIOS

DIRECTOR DE TESIS: Ing. Washington Adán Herrera Herrera., Mg.Sc.

TRIBUNAL DE GRADO:

Ing. Fausto Ramiro García Vasco., Mg.Sc. (Presidente)

Ing. Betty Alexandra Jaramillo Tituaña., Mg.Sc. (Miembro)

Ing. Laura Esperanza Capa Puglla. (Miembro)

DEDICATORIA

Primeramente este logro es dedicado a Dios, porque ha estado conmigo en cada paso que doy, quien es nuestro inspirador principal; por iluminarnos en el camino que debemos seguir, por enseñarnos que con fe y paciencia se logra todo lo que uno se propone en esta vida.

A mis padres, los cuales me han dado la vida, la educación y han hecho de mí una persona de bien, comprensiva, respetable y cuidadosa al momento de enfrentarme a cualquier clase de retos.

Finalmente a mis profesores y compañeros de clases ya que con ellos compartí los mejores momentos de mi juventud y de mi vida Universitaria.

Stiben Andrés Salazar Amores

AGRADECIMIENTO

Expreso mis más sinceros agradecimientos

A la Universidad Nacional de Loja, por los conocimientos y formación académica brindada día a día, haciéndole quedar bien a esta prestigiosa institución que en la actualidad tiene mayor reconocimiento a nivel nacional.

A mis profesores, por su amplia colaboración y exigencia en el estudio durante mi formación profesional.

Al Ingeniero Adán Washington Herrera Herrera, por ser mi maestro tutor en el desarrollo de esta investigación, quien me supo guiar con profesionalismo, dedicación, honestidad, transparencia y supo transmitir todos sus conocimientos para optimizar los objetivos de la investigación.

Al Ingeniero Samuel Shiguango por su apoyo brindado en el desarrollo de este trabajo de investigación.

Stiben Andrés Salazar Amores

1. TÍTULO

“CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS EN LA COMUNIDAD ZAPALLO DE LA PARROQUIA TALAG, PROVINCIA NAPO, CANTÓN TENA”.

2. RESUMEN

Actualmente los residuos orgánicos que producen los habitantes de la comunidad Zapallo, no son manejado adecuadamente, los mismos son quemados, depositados en ríos, esteros, botados a cielo abierto, produciendo contaminación al medio ambiente; consecuencia de ello existe la presencia de vectores que son organismos que pueden proliferar diferentes tipos de enfermedades, epidemias, generando un riesgo para la salud de los habitantes de la comunidad, además existe un consumo excesivo de leña, recurso utilizado para la cocción de los alimentos, pero a la vez este tipo de actividad genera la deforestación en la comunidad. Por la problemática citada en el presente estudio se planteó producir biogás a partir de los desechos orgánicos generados por los habitantes de Zapallo, aplicando métodos y técnicas para la caracterización de la materia orgánica, el diseño y la construcción de un biodigestor; obteniendo como resultado que la comunidad Zapallo produce un promedio de 3.686,50 kg/día de desechos orgánicos que estos sirvieron para el funcionamiento de un biodigestor tipo chino, con una capacidad de 3,64 m³, con un tiempo de retención de 30 días, equipado con un gasómetro de capacidad para almacenar 0,97 m³ de biogás, con dos tanques de carga y descarga de 0,90 m³ respectivamente, el tiempo de producción de biogás fue de 30 días, con una cantidad promedia de producción de 28,22 cm³/día de biogás, combustible ecológico que sería de mucha utilidad para las familias de la comunidad y para la conservación del medio ambiente.

Palabras claves: Biogás, biodigestor, residuo, comunidad

ABSTRACT

Currently, organic waste produced by inhabitants of the Zapallo community are not properly handled; they are burned, deposited in rivers or streams, thrown in a landfill, causing pollution to the environment; Consequently there is the presence of vectors which are organisms that can causes different types of diseases, epidemics, creating health risk to the inhabitants of the community. In addition there is an excessive firewood consumption, which is used for food preparation, yet this type of activity generates deforestation in the community. According to the problems cited in the present study the production of biogas from organic waste generated by the inhabitants of Zapallo was proposed, applying methods and techniques for the characterization of organic matter, the design and construction of a digester. The results showed that the Zapallo community produces about 3686.50 kg/day of organic waste and which were used for the operation of a biodigester (Chinese type), with a capacity of 3.64 m³, with a retention time of 30 days, equipped with a gasometer storage capacity 0.97 m³ of biogas, two cargo tanks and discharge of 0.90 m³ respectively, the biogas production time was 30 days, with a total average production of 28.22 cm³/day biogas, environmentally friendly fuel that could be very useful for families in the community and also for the conservation of the environment.

Keywords: Biogas, biodigestor, residues, community

3. INTRODUCCIÓN

Todas las energías que el hombre necesita y utiliza en la actualidad es proporcionado por la naturaleza, las posibilidades de obtener energía de la biomasa de forma natural el hombre puede obtener. Aprovechando los desechos de la agricultura y la actividad doméstica se puede reunir volúmenes suficientes de biomasa para satisfacer gran parte de las necesidades de energía.

El uso de biodigestores es muy poco explotado en los momentos actuales, en América Latina se conocen algunos ejemplos en Brasil, México, Argentina y algunos otros. En Ecuador existe muy poca referencia al respecto, pocas tesis se han desarrollado por Universidades, en la Provincia Napo al momento no se han realizado investigaciones relacionados a este tema.

El propósito de esta investigación fue encaminado a diseñar y construir un biodigestor a partir de desechos orgánicos en la Comunidad Zapallo con el fin de producir la cantidad necesaria de biogás para solventar las necesidades de una familia de la comunidad.

La importancia de la investigación es dar a conocer sobre la tecnología de los biodigestores, como una solución a los problemas ocasionados por el mal manejo de los residuos orgánicos y la dependencia del uso del gas licuado de petróleo (GLP) en las comunidades rurales, mediante esta tecnología se puede tratar adecuadamente los residuos orgánicos y al mismo tiempo producir biogás y biofertilizantes, productos de origen biológico de gran importancia tanto para los habitantes de las comunidades como para el medio ambiente.

El objetivo de la presente investigación es construir un Biodigestor de materia orgánica para generar combustible a base de gas metano en la Comunidad Zapallo, Parroquia Talag, Cantón Tena, Provincia Napo, con una duración de Marzo a Octubre del 2014, mediante la caracterización de la materia orgánica, el

diseño, construcción y la evaluación del funcionamiento del biodigestor y la producción de biogás.

Se obtuvo una producción total de desechos orgánicos de 22.119,00 kg, y se construyó un biodigestor tipo chino con capacidad de 3,64 m³, se obtuvo una producción diaria de biogás de 28,22 cm³/día, lo que permitió usar como combustible para una familia de la Comunidad.

Para el desarrollo del presente trabajo de titulación se presentó los siguientes objetivos:

Objetivo General

- Construir un Biodigestor de materia orgánica para generar combustible a base de gas metano en la Comunidad Zapallo, Parroquia Talag, Cantón Tena, Provincia Napo.

Objetivo Específico

- Caracterización de la materia orgánica que se produce en la Comunidad Zapallo.
- Diseñar el biodigestor para implantar en la Comunidad Zapallo.
- Evaluar el funcionamiento del biodigestor y la producción de biogás.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Residuo.

Los residuos sólidos se definen como aquellos desperdicios que no son transportados por agua y que han sido rechazados porque ya no se van a utilizar. En el caso de los residuos municipales se aplican términos más específicos a los residuos de alimentos putrescibles (biodegradables), llamados basura, y a los residuos sólidos o putrescibles, los cuales se designan simplemente como desecho. Los desechos incluyen diversos materiales, pueden ser papel, plástico, textiles, etc (Glynn , 2005, pág. 568).

4.1.1. Clasificación de los residuos.

Según Gòmes (2005) “Existen tres categorías generales de clasificación de los residuos sólidos municipales, industriales y peligrosos”.

Residuos Municipales: Los componentes de los residuos sólidos municipales varían bastante de acuerdo con la zona composición social de la población, época del año y otras variables socioeconómicas. Por ejemplo los residuos orgánicos provenientes de la comida u otro material putrificable.

Residuos industriales: Los residuos industriales son aquellos que se generan en las actividades industriales e incluyen, normalmente, desperdicios, cenizas, residuos de construcción, domicilios, residuos especiales y residuos peligrosos.

Residuos Peligrosos: Los residuos peligrosos son aquellos que producen daños, ya sea inmediatamente o en un periodo, a los seres humanos, animales o plantas. Los residuos se clasifican como peligrosos, si presentan alguna de las siguientes propiedades: son corrosivos, reactivos, tóxicos o incandescentes.

En base a los estudios realizadas sobre la generación de residuos sólidos urbanos total y asociada en la Provincia de Napo, la cual se resumen en el siguiente cuadro (GAD Municipal de Tena, 2014).

Cuadro 1. Producción per-cápita de los residuos sólidos.

PPC	KG/HAB*DIA	%
PPC. Doméstica	0,62	74,00
PPC. Comercial	0,12	14,00
PPC. Educativa	0,01	1,00
PPC. Mercados	0,03	3,00
PPC. Centro Salud	0,01	1,00
PPC. Industrias	0,00	0,00
PPC. Camal	0,02	2,00
PPC. Barrio	0,04	5,00
PPC. Total	0,83	100,00

Fuente: GAD Municipal de Tena (2014)

Elaborado por: El Autor

4.1.2. Daños que causan el manejo inadecuado de los residuos.

Según Bureau Veritas Formacion (2008, pág. 255) “El imparable aumento de residuos generados y los sistemas de tratamiento más tradicionales, como son el deposito en vertederos y la incineración, tiene diferentes impactos para el medio ambiente”.

- **Riesgos directos:** Son los ocasionados por el contacto directo con la basura, por la costumbre de la población de mezclar los residuos con materiales peligrosos tales como: vidrios rotos, metales, jeringas, hojas de afeitar, excrementos de origen humano o animal, e incluso con residuos infecciosos de establecimientos hospitalarios y sustancias de la industria, los cuales pueden causar lesiones a los operarios de recolección de basura.
- **Riesgos indirectos:** El riesgo indirecto más importante se refiere a la proliferación de animales, portadores de microorganismos que transmiten enfermedades a toda la población, conocidos como vectores. Estos vectores son, entre otros, moscas, mosquitos, ratas y cucarachas, que, además de alimento, encuentran en los residuos sólidos un ambiente

favorable para su reproducción, transformándose en un foco para la transmisión de enfermedades.

Cuadro 2. Daños que causan los residuos al medio ambiente.

Medio afectado	Vertederos	Incineración
Aire	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones de CH₄ y CO₂ • Olores 	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones de SO, NO, HCL, COVs, CO, Dioxinas, furanos, metales pesados.
Agua	<ul style="list-style-type: none"> • Lixiviados de sales, metales pesados, compuestos orgánicos persistentes y biodegradables a la capa freática. 	<ul style="list-style-type: none"> • Deposición de sustancias peligrosas en aguas superficiales
Suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Acumulación de sustancias peligrosas en el suelo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Depósito de escorias, cenizas, etc.
Paisaje	<ul style="list-style-type: none"> • Ocupación del suelo • Impacto visual • Impedir otros usos 	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto visual • Impedir otros usos
Ecosistema	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación • Acumulación de sustancias en la cadena trófica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación • Acumulación de sustancias en la cadena trófica.
Zonas Urbanas	<ul style="list-style-type: none"> • Exposición a sustancias peligrosas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Exposición a sustancias peligrosas.

Fuente: Bureau Veritas Formación, 2008

Elaborado por: El Autor

4.1.3. Efectos de los residuos en la salud.

Los residuos sólidos son un problema serio para la sociedad puesto que el acumulamiento, mala disposición y descomposición de estos significan problemas de salud para el ser humano. Se convierten en criaderos de moscas, cucarachas, roedores, zancudos y otros vectores, por medio de los cuales se transmite al ser humano microorganismos patógenos, tales como los causantes de la tifoidea, disentería y triquinosis (Campos Gomes, 2006, págs. 118-119).

4.2. Biomasa.

Se puede definir la biomasa como materia orgánica en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente directa o indirecta de energía (Tolosana, 2009, pág. 23).

4.2.1. Energía de la biomasa

La energía de la biomasa es almacenada en los seres vivos por medio del proceso de fotosíntesis (vegetal) y la digestión de estos vegetales por los animales según lo menciona (Martínes, 2010).

Existen tres fuentes de energía de la biomasa:

- De origen vegetal (biomasa natural, cultivos energéticos).
- De origen animal (excrementos y purines).
- De origen humano (residuos sólidos urbanos, lodos procedentes de centrales depuradoras y potabilizadoras de agua).

4.2.2. Clasificación de la biomasa.

Según Castells (2012) “Cada una de las fuentes produce diferentes tipos de biomasa que, de acuerdo a sus características, permiten su uso en diversas aplicaciones. Es posible clasificarlas como sigue”:

- **Biomasa de alto grado:** La biomasa de este tipo se caracteriza por su alta homogeneidad, lo que hace especialmente adecuada para su uso energético, bosques y plantaciones.
- **Biomasa residual:** La biomasa residual puede ser químicamente homogénea y heterogénea, proviene de residuos agrícolas, forestales y de procesos industriales, donde en cada caso puede estar compuesta por

una o varias especies diferentes, lo cual determina sus características químicas.

- **Biomasa de origen urbano:** Los residuos sólidos urbanos (RSU) poseen aproximadamente 50% de peso húmedo, siendo esencialmente heterogénea ya que proviene de diversos procesos.
- **Fangos:** Es esencial de origen Heterogéneo, y que se obtienen principalmente de las plantas industriales de procesamiento de ganado y agroindustrias.

4.2.3. Procesos de biomasa.

Según Mujal Rosas (2007, pág. 323) “los procesos de biomasa puede dividirse en”:

- **Físicos:** Son procesos que actúan físicamente sobre la biomasa y están asociados a las fases primarias de la transformación. Estos procesos están incluidos en la fase de acondicionamiento y son: el triturado, el astillado, el compactado e incluso el secado.
- **Químicos:** Son los procesos relacionados con la digestión química, generalmente mediante hidrólisis, pirolisis y gasificación.
- **Biológicos:** Son los llevados a cabo por la acción directa de microorganismos o de sus enzimas, generalmente llamados fermentación. Son procesos relacionados con la producción de ácidos orgánicos, alcoholes, cetonas y polímeros.
- **Termoquímicos:** Están basados en la transformación química de la biomasa, al someterla a altas temperaturas (300°C – 1500°C). Cuando se calienta la biomasa se produce un proceso de secado y evaporación de sus componentes volátiles, seguido de reacciones de craqueo o

descomposición de sus moléculas, seguidas por reacciones en la que los productos resultantes de la primera fase reaccionan entre sí y con los componentes de la atmosfera en la que tenga lugar la reacción, de esta forma se consiguen los productos finales.

4.2.4. Ventajas y desventajas de la biomasa.

Según Sardon (2006) “Las ventajas y desventajas que presenta la biomasa como energía renovable son:”

Ventajas.

- Energía renovable
- Aprovechamiento completo
- No requiere nuevas tecnologías
- Reduce el deterioro medioambiental
- Proporciona puestos de trabajo
- Ahorra divisas y disminuye le dependencia energética del exterior

Desventajas.

- Dispersión
- Producción estacional
- Baja densidad energética
- Necesidad de acondicionamiento o trasformación para su utilización
- Costo de recolección, trasporte y almacenamiento.

4.3. Digestión anaerobia.

La digestión anaerobia es un proceso biológico degradativo en el cual, parte de la materia orgánica contenida en un sustrato es convertida en una mezcla de gases, principalmente metano y dióxido de carbono, mediante la acción de un

conjunto de microorganismos en ausencia de aceptores de electrones de carácter inorgánico O₂, NO₃, SO₄ según lo menciona (Marti Ortega, 2006, pág. 3).

4.3.1. Procesos de la digestión anaerobia.

Según Elena Campos, Elias, & Flotats (2012, págs. 618-619) “La digestión anaerobia está caracterizada por la existencia de cuatro etapas”:

- **Etapa hidrolítica:** Los compuestos orgánicos complejos, como lípidos, proteínas e hidratos de carbono, son despolimerizados, por acción de enzimas hidrolíticas, en moléculas solubles y fácilmente degradables, como azúcares, ácidos grasos de cadena larga, aminoácidos, alcoholes, etc.
- **Etapa acidogénicas:** Los compuestos solubles obtenidos de la etapa anterior se transforman en ácidos grasos de cadena corta (ácidos grasos volátiles), esto es, ácidos acéticos, propiónico, butírico y valérico, principalmente.
- **Etapa acetogénicas:** Los compuestos intermedios son transformados por las bacterias acetogénicas. Como principales productos se obtiene ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono.
- **Etapa metanogénica:** Constituye la etapa final del proceso, en el que compuestos como el ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono son transformados a CH₄ Y CO₂.

4.3.2. Microorganismos que intervienen en el proceso de digestión anaerobia.

Según Campos, Elias , & Flotats (2012, págs. 618-619) “Las bacterias encargadas de la fermentación anaerobia en las diferentes etapas son:

- **Etapa Hidrolítica:** Las bacterias responsables de su generación son las bacterias hidrolítico – acidogénicas.
- **Etapa Acidogénica:** Butyrivibrio, Propionibacterium, Clostridium, Bacteroides, Ruminococos, Bifidobacterium, Lactobacillus, Streptococos y Enterobacterias.
- **Etapa Acetogénica:** Syntrophobacterwolunii que descompone ácido propionico, o Syntrophomonaswolfei que descompone el butritico.
- **Etapa Metanogénica:** Methanosarcina y Methanotherix son capaces de producir metano a partir de acético, Methanobacterium, Methanococos, Methanobrevibacter o Methanogenium.

4.3.3. Factores que afectan la digestión anaerobia.

Según Mendoza Roca, Montañes Sanjuan, & Palomares Gimeno (2006, pág. 52) “Existe una serie de parámetros que limitan el proceso de la digestión anaerobia.”

- **Temperatura:** Cuando la temperatura aumenta, la velocidad de las reacciones biológicas es mayor hasta alcanzar una temperatura máxima. Por tanto, si se calientan los fangos se obtiene una mayor eficacia en la operación y menores tiempos de residencia.

Normalmente se opera en un rango mesófilo de temperatura (35-37), ya que por encima de ellas el gasto energético no compensa el aumento en la velocidad de reacción.

- **Oxígeno:** La presencia de oxígeno, por muy poco que haya, puede ser mortal para las bacterias metanogénica. Por tanto, el tanque de digestión ha de ser cerrado.

- **PH:** El pH óptimo para la digestión anaerobia es 6,8-7,5.
- **Nutrientes:** Se requiere una mínima cantidad de nutrientes para los microorganismos.
- **Compuestos Tóxicos:** Hay algunos compuestos que son tóxicos para las bacterias metanogénica; entre ellas se encuentran los iones metálicos pesados y los compuestos organoclorados.

4.3.4. Ventajas y Desventajas de la digestión anaerobia.

Según Cabildo Miranda (2010, pág. 95) “Las principales ventajas y desventajas de la digestión anaerobia son:”

Ventajas.

- Admite aguas residuales con mayor carga orgánica
- Costos de operación más bajos
- Producción de biogás (aprovechable)
- Menor producción de lodos
- No necesita aporte de oxígeno

Desventajas.

- Mayor costo de inversión inicial
- Arranque más lento y delicado
- Necesidad de mayores tiempos de residencia en el reactor
- Mantener la ausencia continua de oxígeno
- Control de temperatura en digestores cerrados

4.4. Biogás.

El biogás es una mezcla de metano (40-50%), dióxido de carbono (30-60%), sulfuro de hidrógeno (0-3%) e hidrógeno (0-1%) que se obtiene de la

descomposición de la materia orgánica realizada por la acción bacteriana en condiciones anaerobias.

Como coproducto se obtiene un residuo semisólido rico en nitrógeno llamado bioabono (Perez Espejo, 2006, pág. 135).

4.4.1. Composición del biogás.

Según Seoanez Calvo (2007, págs. 196-197) “El biogás está compuesto por los siguientes gases:”

Tabla 1. Composición básica del biogás.

Componentes	% en volumen
CH4	50-60
CO2	30-45
H2	0,1-2
O2	0,1-5
H2S	0,001-2
H2O	0,1-9
N2	Trazas
Hidrocarburos	Trazas
Mercaptanos	Trazas
Diversos productos Organoclorados	Trazas
CO	Trazas
NH3	Trazas

Fuente: Seoanez Calvo, 2007

Elaborado por: El Autor

4.4.2. Usos del biogás.

Según Cadavid & Castells (2012, pág. 755) “Los principales usos del biogás producido por la digestión anaerobia son:

- Generar energía térmica
- Generar energía eléctrica
- Generar biocombustibles
- Gases de combustibles
- Con fines domésticos o industriales
- Se utiliza para cocción, iluminación, calefacción, refrigeración.

4.4.3. Ventajas y Desventajas del biogás.

Según Bridgewater & Bridgewater (2009, pág. 166) “La ventajas y desventajas del biogás son:”

Ventajas.

- Podemos construir nosotros mismo un sistema utilizando materiales básicos y fáciles de encontrar.
- El sistema trasforma materiales potencialmente peligrosos, como el estiércol de cerdo, en materiales inocuos; el proceso de fabricación del gas mata a los agentes patógenos.
- Como Subproducto de una planta de biogás se obtiene un fertilizante de alta calidad.
- Si tiene un instalación completamente desconectada que genera una gran cantidad de estiércol animal, es posible construir un sistema circular muy atractivo: los animales producen estiércol, el estiércol se trasforma en gas y fertilizante, el fertilizante se emplea en el jardín, el gas se usa para iluminación, la cocina y la calefacción, el calor y la luz se utiliza para mejorar el bienestar de los animales.

Desventajas.

- Las reacciones químicas son de tal naturaleza que los metales (excepto el hierro y el níquel) impiden el proceso anaerobio. Por tanto hay que utilizar elementos de polietileno sin latón ni cobre. Los gases corroen las partes metálicas.
- Hace falta un suministro ilimitado de materia prima, como por ejemplo estiércol animal o algún tipo de residuo de procesos de producción de alimentos, los cuales pueden despedir malos olores y ser desagradables de manejar.
- Los componentes del biogás, como el amoniaco y el sulfuro de hidrógeno, pueden eliminarse mediante un proceso de lavado.

- El biogás es explosivo cuando se mezcla con el aire, por lo que no se puede utilizar herramientas eléctricas ni ninguna otra cosa que pueda hacer entrar al gas en combustión, inhalar metano también puede hacer que una persona pierda la consciencia.

4.5. Biodigestores.

Según Marti Herrero (2008, pág. 15) “Un Biodigestor es un sistema natural que aprovecha la digestión anaerobia (en ausencia de oxígeno) de las bacterias que ya habitan en el estiércol, para transformar este en biogás y fertilizante. El biogás puede ser empleado como combustible en las cocinas, calefacciones o iluminación, y en grandes instalaciones se puede utilizar para alimentar un motor que genere electricidad.”

El fertilizante, llamado biol, inicialmente se ha considerado un producto secundario, pero actualmente se está trabajando con la misma importancia, o mayor, que el biogás, ya que provee a las familias de un fertilizante natural que mejora fuertemente el rendimiento de las cosechas.

4.5.1. Tipos de biodigestores.

Según Salvatierra Carlos (2012) “Manifiesta que los tipos de biodigestores se clasifican según su función, carga de materia orgánica y sus diferentes ventajas y desventajas los cuales son:”

- **Discontinuo:** Se cargan una sola vez y se retira cuando ya se ha dejado de producir gas, solo entonces se renueva de materia orgánica. Se usa cuando la disponibilidad de materia orgánica es limitada o intermitente.
- **Semi-continuo:** Se cargan en lapsos cortos como de 12 horas, 1 vez al día, o cada dos días, se utiliza cuando la disponibilidad de materia orgánica es constante en los días. Los principales son: el Hindú, el Chino, y el Taiwanés, cada uno con ventajas y desventajas, como si se

quiere aprovechar más el gas, o el biol, si se quiere usarlo para fines sanitarios o de producción.

- **Continuo:** Se cargan continuamente, y principalmente tienen la finalidad de tratamiento de aguas negras, así como de producción a gran escala así como el uso de alta tecnología para el control, es sobre todo de corte industrial.

a. Digestores de carga intermitente, discontinuo (Tipo Batch).

Esta clase de biodigestor, se carga (o se llena) una vez, y se descarga el contenido digerido, una vez que finaliza el proceso de fermentado, ósea, cuando deja de producir gas. Tiene un solo orificio para la carga y descarga. La duración de la fermentación varía entre 2 a 4 meses, dependiendo del clima ya sea este cálido, templado, frío, etc; ya que la temperatura afecta directamente la velocidad de reacción dentro del reactor.

b. Digestores Semicontínuos.

De los más comunes en áreas rurales, estos biodigestores se cargan o alimentan diariamente, con una carga relativamente pequeña en comparación al total contenido en el biodigestor a la vez que se saca de la cámara de descarga un volumen igual de líquido, para con ello mantener el volumen constante. La producción de biogás es generalmente permanente, debido al constante suministro de nutrientes para las bacterias metanogénica, responsables de generar el gas.

c. Tipo Chino (de campana/cúpula/domo fija).

El modelo más extendido, debido a su durabilidad, fácil manejo, funcionalidad y seguridad. 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. Su larga vida útil, mayor a 15 años con un buen mantenimiento a veces no compensa su relativo alto costo, por eso que no se haya difundido tanto fuera de China (como Latinoamérica). Esta clase de digestor (de cúpula o campana fija) almacena solamente un pequeño volumen del gas generado en el interior, por lo que necesita de un contenedor diferente construido para este gas producido (gasómetro).

d. Tipo Hindú (de campana/cúpula/domo flotante).

Este biodigestor es un diseño vertical con la siguiente estructura:

- Reactor propiamente dicho, cuya estructura sea de ladrillo tanto paredes como fondo, aunque a veces se usa refuerzo en hormigón.
- Una campana o cúpula flotante (flotando en el líquido debido al biogás que retienen en su interior) de metal (como acero) o material resistente a la corrosión como plásticos reforzados, esta campana sube y baja dependiendo del volumen de gas que se va produciendo y se almacena en esta interface, por ello requiere de una varilla guía central o rieles laterales que eviten el rozamiento contra las paredes del reactor.
- Dos zonas definidas conectadas al reactor: una para la carga de materia orgánica y otra para la descarga de biol.
- Una cámara hermética en la cual se genera condiciones de degradación anaeróbicas de la materia orgánica formando biogás y bioabono (biol). Para permitir el ingreso de la materia orgánica y la salida del bioabono, se dispone de dos tubos PVC conectados al tanque de almacenamiento (reactor) con la zona de carga y descarga funcionales gracias al principio de vasos comunicantes.

Un punto a favor es que no necesita de un contenedor externo (gasómetro) para almacenar el gas generado, y el gas se mantiene a una presión relativamente constante gracias al movimiento vertical del domo conforme la presión aumenta o disminuye, ello (estabilidad de presión entre 4 a 8 cm de agua) es muy ventajoso.

Otro punto a favor sería una modificación del modelo en la cual se sustituye la campana flotante por una película de polietileno flexible y resistente, haciendo con esto que el costo bajo y por ende sean más accesibles a la sociedad.

e. Tipo Salchicha Taiwán/Tubular (de estructura flexible).

En este digestor, el gas se va acumulando en la parte superior de la bolsa (reactor), parcialmente llena con materia orgánica en fermentación, la bolsa se va inflando lentamente con una presión baja.

Este biodigestor presenta los siguientes componentes:

- Tubo de entrada
- Reactor/fermentador/bolsa de almacenamiento
- Tubo del afluente
- Tubo de metano
- Dispositivo de seguridad
- Tubo de limpieza

f. De desplazamiento horizontal.

Son los que tienen una cámara de digestión alargada, con un perfil cuadrado, rectangular o en V, dependiendo de las características del terreno o conveniencia. En este diseño, los residuos se van degradando a medida que transitan a lo largo del biodigestor. Esta característica lo hace útil en el procesamiento y aprovechamiento de residuos y materiales que requieran un tratamiento prolongado, tales como excretas humanas ciertos desperdicios de sacrificio de animales, cierto material vegetal muy fibroso o difícil de degradar.

Cabe resaltar que el biodigestor Taiwán, tubular puede clasificarse como de desplazamiento horizontal por su forma y desplazamiento del material, pero estamos tipificando según régimen de carga, por ende, semicontinuo.

Se utilizan generalmente para explotaciones agropecuarias que generan grandes cantidades diarias de residuos, como tambos, criaderos de porcinos, granjas de gallinas ponedoras en jaulas, establos de vacunos, etc; también sirven muy bien para pequeñas comunas que desean de estabilizar y neutralizar los residuos orgánicos municipales antes de verterlos al ambiente.

4.5.2. Ventajas y desventajas de los biodigestores.

Según Rossello Portmann (2008, pág. 34) “Las ventajas y desventajas de los biodigestores son”:

Ventajas.

- Pueden conectarse a inodoros que funcionan con agua. Quizás sería una buena alternativa para comunidades pequeños que usen inodoros, escuelas u hogares de niños.
- Es una forma de utilizar los recursos que se tienen si contaminar el medio ambiente y produciendo energía sin dañar a la naturaleza.
- Una vez ha comenzado a funcionar, no cuesta nada la obtención del gas.
- El residuo que queda de la materia orgánica se puede usar como abono orgánico.

Desventajas.

- Su construcción es cara.
- Se necesita mucho excremento para mantener la producción de gas, por eso solo sirve en familias que tengan vacas o alguna otra clase de ganado.
- Diariamente se necesita:
 - 3 cubetas de estiércol fresco (de 4 galones cada cubeta)
 - 3 cubetas de agua (de 4 galones cada uno).

4.6. Marco legal

El presente estudio de investigación se presidió en los siguientes instrumentos jurídicos:

4.6.1. Constitución de la República del Ecuador, Oficial No. 449 del 20 de Octubre del 2008.

Sección primera: Naturaleza y Ambiente

Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.
2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional.
3. El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales.
4. En caso de duda sobre el alcance de las disposiciones legales en materia ambiental, éstas se aplicarán en el sentido más favorable a la protección de la naturaleza.

Art. 396.- El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño.

En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas.

La responsabilidad por daños ambientales es objetiva. Todo daño al ambiente, además de las sanciones correspondientes, implicará también la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas.

Cada uno de los actores de los procesos de producción, distribución, comercialización y uso de bienes o servicios asumirá la responsabilidad directa de prevenir cualquier impacto ambiental, de mitigar y reparar los daños que ha causado, y de mantener un sistema de control ambiental permanente.

Las acciones legales para perseguir y sancionar por daños ambientales serán imprescriptibles.

Art. 397.- En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental. Para garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, el Estado se compromete a:

1. Permitir a cualquier persona natural o jurídica, colectividad o grupo humano, ejercer las acciones legales y acudir a los órganos judiciales y administrativos, sin perjuicio de su interés directo, para obtener de ellos la tutela efectiva en materia ambiental, incluyendo la posibilidad de solicitar medidas cautelares que permitan cesar la amenaza o el daño ambiental materia de litigio. La carga de la prueba sobre la inexistencia

de daño potencial o real recaerá sobre el gestor de la actividad o el demandado.

2. Establecer mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios naturales degradados y de manejo sustentable de los recursos naturales.
3. Regular la producción, importación, distribución, uso y disposición final de materiales tóxicos y peligrosos para las personas o el ambiente.
4. Asegurar la intangibilidad de las áreas naturales protegidas, de tal forma que se garantice la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas de los ecosistemas. El manejo y administración de las áreas naturales protegidas estará a cargo del Estado.
5. Establecer un sistema nacional de prevención, gestión de riesgos y desastres naturales, basado en los principios de inmediatez, eficiencia, precaución, responsabilidad y solidaridad.

Art. 398.- Toda decisión o autorización estatal que pueda afectar al ambiente deberá ser consultada a la comunidad, a la cual se informará amplia y oportunamente. El sujeto consultante será el Estado. La ley regulará la consulta previa, la participación ciudadana, los plazos, el sujeto consultado y los criterios de valoración y de objeción sobre la actividad sometida a consulta.

El Estado valorará la opinión de la comunidad según los criterios establecidos en la ley y los instrumentos internacionales de derechos humanos.

Si del referido proceso de consulta resulta una oposición mayoritaria de la comunidad respectiva, la decisión de ejecutar o no el proyecto será adoptada por resolución debidamente motivada de la instancia administrativa superior correspondiente de acuerdo con la ley.

Art. 399.- El ejercicio integral de la tutela estatal sobre el ambiente y la corresponsabilidad de la ciudadanía en su preservación, se articulará a través de un sistema nacional descentralizado de gestión ambiental, que tendrá a su cargo la defensoría del ambiente y la naturaleza.

Sección segunda: Biodiversidad

Art. 400.- El Estado ejercerá la soberanía sobre la biodiversidad, cuya administración y gestión se realizará con responsabilidad intergeneracional.

Se declara de interés público la conservación de la biodiversidad y todos sus componentes, en particular la biodiversidad agrícola y silvestre y el patrimonio genético del país.

Art. 402.- Se prohíbe el otorgamiento de derechos, incluidos los de propiedad intelectual, sobre productos derivados o sintetizados, obtenidos a partir del conocimiento colectivo asociado a la biodiversidad nacional.

Art. 403.- El Estado no se comprometerá en convenios o acuerdos de cooperación que incluyan cláusulas que menoscaben la conservación y el manejo sustentable de la biodiversidad, la salud humana y los derechos colectivos y de la naturaleza.

Sección tercera: Patrimonio natural y ecosistemas

Art. 404.- El patrimonio natural del Ecuador único e invaluable comprende, entre otras, las formaciones físicas, biológicas y geológicas cuyo valor desde el punto de vista ambiental, científico, cultural o paisajístico exige su protección, conservación, recuperación y promoción.

Su gestión se sujetará a los principios y garantías consagrados en la Constitución y se llevará a cabo de acuerdo al ordenamiento territorial y una zonificación ecológica, de acuerdo con la ley.

Art. 405.- El sistema nacional de áreas protegidas garantizará la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas. El sistema se integrará por los subsistemas estatal, autónomo descentralizado, comunitario y privado, y su rectoría y regulación será ejercida por el Estado. El Estado asignará los recursos económicos necesarios para la sostenibilidad financiera del sistema, y fomentará la participación de las comunidades, pueblos y nacionalidades que han habitado ancestralmente las áreas protegidas en su administración y gestión.

Las personas naturales o jurídicas extranjeras no podrán adquirir a ningún título tierras o concesiones en las áreas de seguridad nacional ni en áreas protegidas, de acuerdo con la ley.

Art. 406.- El Estado regulará la conservación, manejo y uso sustentable, recuperación, y limitaciones de dominio de los ecosistemas frágiles y amenazados; entre otros, los páramos, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos y manglares, ecosistemas marinos y marinos-costeros.

Art. 407.- Se prohíbe la actividad extractiva de recursos no renovables en las áreas protegidas y en zonas declaradas como intangibles, incluida la explotación forestal. Excepcionalmente dichos recursos se podrán explotar a petición fundamentada de la Presidencia de la República y previa declaratoria de interés nacional por parte de la Asamblea Nacional, que, de estimarlo conveniente, podrá convocar a consulta popular.

Sección cuarta: Recursos naturales

Art. 408.- Son de propiedad inalienable, imprescriptible e inembargable del Estado los recursos naturales no renovables y, en general, los productos del subsuelo, yacimientos minerales y de hidrocarburos, sustancias cuya naturaleza sea distinta de la del suelo, incluso los que se encuentren en las áreas cubiertas por las aguas del mar territorial y las zonas marítimas; así como la biodiversidad y su patrimonio genético y el espectro radioeléctrico.

Estos bienes sólo podrán ser explotados en estricto cumplimiento de los principios ambientales establecidos en la Constitución.

El Estado participará en los beneficios del aprovechamiento de estos recursos, en un monto que no será inferior a los de la empresa que los explota.

El Estado garantizará que los mecanismos de producción, consumo y uso de los recursos naturales y la energía preserven y recuperen los ciclos naturales y permitan condiciones de vida con dignidad.

Sección quinta: Suelo

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

En áreas afectadas por procesos de degradación y desertificación, el Estado desarrollará y estimulará proyectos de forestación, reforestación y revegetación que eviten el monocultivo y utilicen, de manera preferente, especies nativas y adaptadas a la zona.

Art. 410.- El Estado brindará a los agricultores y a las comunidades rurales apoyo para la conservación y restauración de los suelos, así como para el desarrollo de prácticas agrícolas que los protejan y promuevan la soberanía alimentaria.

Sección sexta: Agua

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua.

La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

Art. 412.- La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque eco sistémico.

Sección séptima: Biosfera, ecología urbana y energías alternativas

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

Art. 414.- El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo.

Art. 415.- El Estado central y los gobiernos autónomos descentralizados adoptarán políticas integrales y participativas de ordenamiento territorial urbano y de uso del suelo, que permitan regular el crecimiento urbano, el manejo de la fauna urbana e incentiven el establecimiento de zonas verdes.

Los gobiernos autónomos descentralizados desarrollarán programas de uso racional del agua, y de reducción reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos. Se incentivará y facilitará el transporte terrestre no motorizado, en especial mediante el establecimiento de ciclo vías.

4.6.2. Plan Nacional Del Buen Vivir (objetivo 7)

Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global.

Con la Constitución de 2008, Ecuador asume el liderazgo mundial en el reconocimiento de los derechos de la naturaleza, como una respuesta contundente al estado actual de la misma, orientando sus esfuerzos al respeto integral de su existencia, a su mantenimiento y a la regeneración de sus ciclos vitales y procesos evolutivos (arts. 71-74). Esta propuesta se enmarca en un contexto en el que la gestión del gobierno se orienta al cumplimiento de los principios y derechos del Buen Vivir o Sumak Kawsay (art. 14). Dentro de estos, son primordiales la interculturalidad y la convivencia armónica con la naturaleza, con un giro en la visión predominante de la naturaleza, entendida solo como proveedora de recursos a un enfoque más integral y biocéntrico, en el que la naturaleza es definida como “el espacio donde se realiza la vida” (art. 71)

Políticas y lineamientos estratégicos

7.4. Impulsar la generación de bioconocimiento como alternativa a la producción primario-exportadora

- b.** Fomentar el ejercicio de los derechos de las personas, comunidades, pueblos, nacionalidades y de la naturaleza en el uso y el acceso al bioconocimiento y al patrimonio natural.
- c.** Implementar un marco normativo para el desarrollo del bioconocimiento, la innovación, los emprendimientos productivos y el biocomercio.
- e.** Investigar los usos potenciales de la biodiversidad para la generación y aplicación de nuevas tecnologías que apoyen los procesos de transformación de la matriz productiva y energética del país, así como para la remediación y restauración ecológica.

- f.** Promover la educación, la formación de talento humano, la investigación, el intercambio de conocimientos y el dialogo de saberes sobre el bioconocimiento
- g.** Afianzar el programa nacional de biocomercio mediante la promoción nacional e internacional de los productos y servicios del bioconocimiento, garantizando los beneficios de su uso y comercialización para las comunidades y los ecosistemas.

7.7. Promover la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles como medida de prevención de la contaminación ambiental

- a.** Implementar tecnologías, infraestructuras y esquemas tarifarios, para promover el ahorro y la eficiencia energética en los diferentes sectores de la economía.
- b.** Promover investigaciones para el uso y la generación de energías alternativas renovables, bajo parámetros de sustentabilidad en su aprovechamiento.

7.10. Implementar medidas de mitigación y adaptación al cambio climático para reducir la vulnerabilidad económica y ambiental con énfasis en grupos de atención prioritaria

- c.** Minimizar el impacto del cambio climático en el patrimonio natural, el funcionamiento de los ciclos vitales y la oferta de bienes y servicios que proporcionan los diversos ecosistemas.
- e.** Desarrollar actividades dirigidas a aumentar el conocimiento, la concienciación y la participación ciudadana en actividades relacionadas con la gestión del cambio climático.
- h.** Promover la investigación aplicada, el desarrollo, la transferencia y la desagregación de tecnología, valorando el conocimiento y las prácticas

ancestrales sustentables para la prevención, la mitigación y la adaptación al cambio climático.

4.7. Marco conceptual

Abono orgánico: Materia orgánica descompuesta (en putrefacción), normalmente de origen vegetal. Se aplica al suelo para incrementar su contenido de humus.

Acides: Contenido o concentración de iones de hidrógeno en una solución, que se expresa con un valor en la escala del pH. Capacidad de una sustancia para liberar protones. Una solución es acida si la concentración de hidrógeno (H) es mayor que la de iones de hidrógeno.

Alcalinidad: Contenido en iones de hidrógeno de una solución. Se consigna en el indicador de pH. Se opone a la acidez. Capacidad de una sustancia para neutralizar los ácidos al combinarse con ellos.

Anaerobio: Microorganismos que pueden vivir sin presencia de oxígeno; por ejemplo, ciertas bacterias.

Biodegradable: Sustancias que pueden ser descompuestas con cierta rapidez por organismos vivos, los más importantes de los cuales son bacterias aerobias.

Biomasa: La cantidad total de organismos en un área determinada. Conjunto de la materia biológicamente renovable (madera, celulosa, lignina, almidón y quitina); por extensión proviene de la fermentación o la combustión de la masa orgánica. En la combustión se usa leña y carbón. En la fermentación, un buen ejemplo son los biodigestores de bagazo de caña de azúcar donde se produce un gas que se produce para la generación de energía.

Biogás: El biogás es una mezcla de gases cuyos principales componentes son el metano y el bióxido de carbono, el cual se produce como resultado de la

fermentación de la materia orgánica en ausencia del aire, por la acción de un grupo de microorganismos.

Biodigestor: Es un tanque herméticamente cerrado, donde la materia orgánica contenida en el estiércol, de ganado vacuno, cerdos y aves, así como otros desechos orgánicos se fermentan por medio de bacterias y microorganismos anaerobios, transformándose en biogás y bioabono, elementos de gran utilidad que contribuyen a obtener importantes beneficios ambientales y económicos.

Conservación ambiental: Manejo de los recursos ambientales, aire, suelo, agua, minerales y especies vivientes, que buscan elevar la calidad de vida humana.

Contaminación ambiental: Es la presencia de sustancias nocivas, perjudiciales o molestas en nuestros recursos naturales como el aire, el agua y los suelos, así que el medio no lo pueda absorber o regenerar por sí solo, y colocadas allí por la acción del hombre en tal calidad y cantidad que puedan interferir la salud y el bienestar de los hombres, animales, y las plantas.

Desecho: Cualquier material sólida, líquida, gaseosa o radioactiva que es descargada, emitida, depositada, enterrada o diluida en volúmenes tales que pueden, tarde o temprano, producir alteraciones en el ambiente.

Digestión: Es el proceso de transformación de los alimentos, previamente ingeridos, en sustancias más sencillas para ser absorbidos.

Energía de biomasa: Energía a partir de la biomasa

Energía renovables: Energía que se producen naturalmente en la tierra, por acción de fenómenos naturales como el sol (energía solar y fotovoltaica), los ríos (hidroeléctrica), el viento (eólica), la biomasa, las olas del mar y las mareas o el calor interior de la tierra (geotérmica). Por su naturaleza, estos tipos de energía son inagotables.

Fermentación: Mutación química que se produce en materiales que contienen azúcares o almidones por acción de levaduras o bacterias.

Hidrólisis: Reacción química entre agua y compuestos o compuestos disueltos en ella que resulta de la descomposición de los compuestos. La causa de esta reacción es la presencia de iones de hidrógeno y iones de hidroxilo en el agua y no una reacción química normal.

Materia orgánica: Sustancia constituyente o procedente de los seres vivos. Referida al estudio de suelo, se aplica al componente edáfico constituido por los restos de plantas y animales y por la biomasa de la flora, fauna, microflora y microfauna que habitan en el suelo.

Metano: Hidruro de metil. Gas de los plátanos. Incoloro e inflamable. Algo soluble en agua y soluble en alcohol y éter. Se produce en los plátanos por fermentación de la celulosa por las bacterias.

Metanogénesis: Es la formación de metano por microbios. Es una forma de metabolismo microbiano muy importante y extendida. En la mayoría de los entornos, es el paso final de la descomposición de la biomasa.

Nutrientes: Es un producto químico interior que necesita la célula para realizar sus funciones vitales. Ellos son tomados por la célula y transformados en constituyentes celulares a través de un proceso de biosíntesis llamado anabolismo.

pH: Medidas de la acidez o alcalinidad de un material líquido, sólido o gaseoso. El pH es una expresión cuantitativa y se representa sobre una escala que va de 0 a 14.

Temperatura: Grado o intensidad de calor a diferencia de la cantidad de calor (calorías).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Materiales.

En la presente investigación se utilizaron los siguientes equipos, herramientas, materiales e insumos.

5.1.1. Equipos

- Manómetro marca Paolo con un rango de 0 a 100 psi.
- Termómetro marca Taylor de mercurio con un rango de medida de -50°C a +50°C.
- Medidor de gas marca Flowmeter Regulatorn100-FL con un rango de 0 a 50 litros.
- GPS portátil marca GARMIN OREGON 550.

5.1.2. Herramientas

- Palas
- Carretilla
- Bailejo
- Plomada
- Nivel
- Llaves de tubo
- Llaves para pernos N.-19

5.1.3. Materiales

- Ladrillo
- Cemento
- Plancha de acero de 3mm
- Arena

- Tubería PVC
- Manguera
- Pernos de ½
- Llaves de paso
- Rodelas
- Tuercas
- Electrodo
- Medidor de PH
- Balanza portátil
- Fundas de basura

5.1.4. Insumos

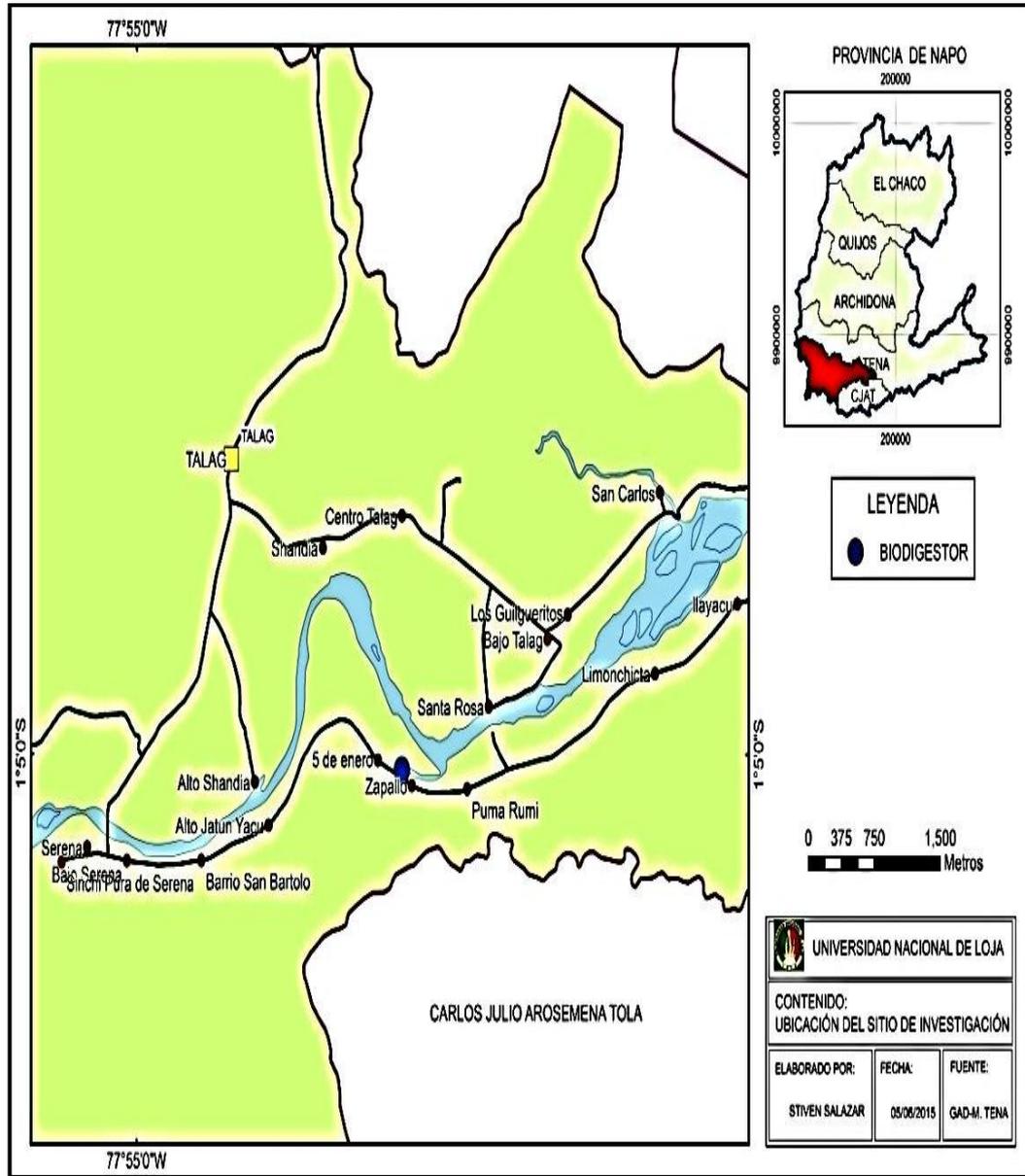
- Materia orgánica

5.2. Métodos.

5.2.1. Ubicación del área de estudio.

La comunidad escogida para desarrollar el estudio está ubicada en el sector rural de la Parroquia Talag, con escasas vías de comunicaciones de segundo orden en malas condiciones, lo que dificulta el ingreso vehicular.

Figura 1. Ubicación del área de estudio.

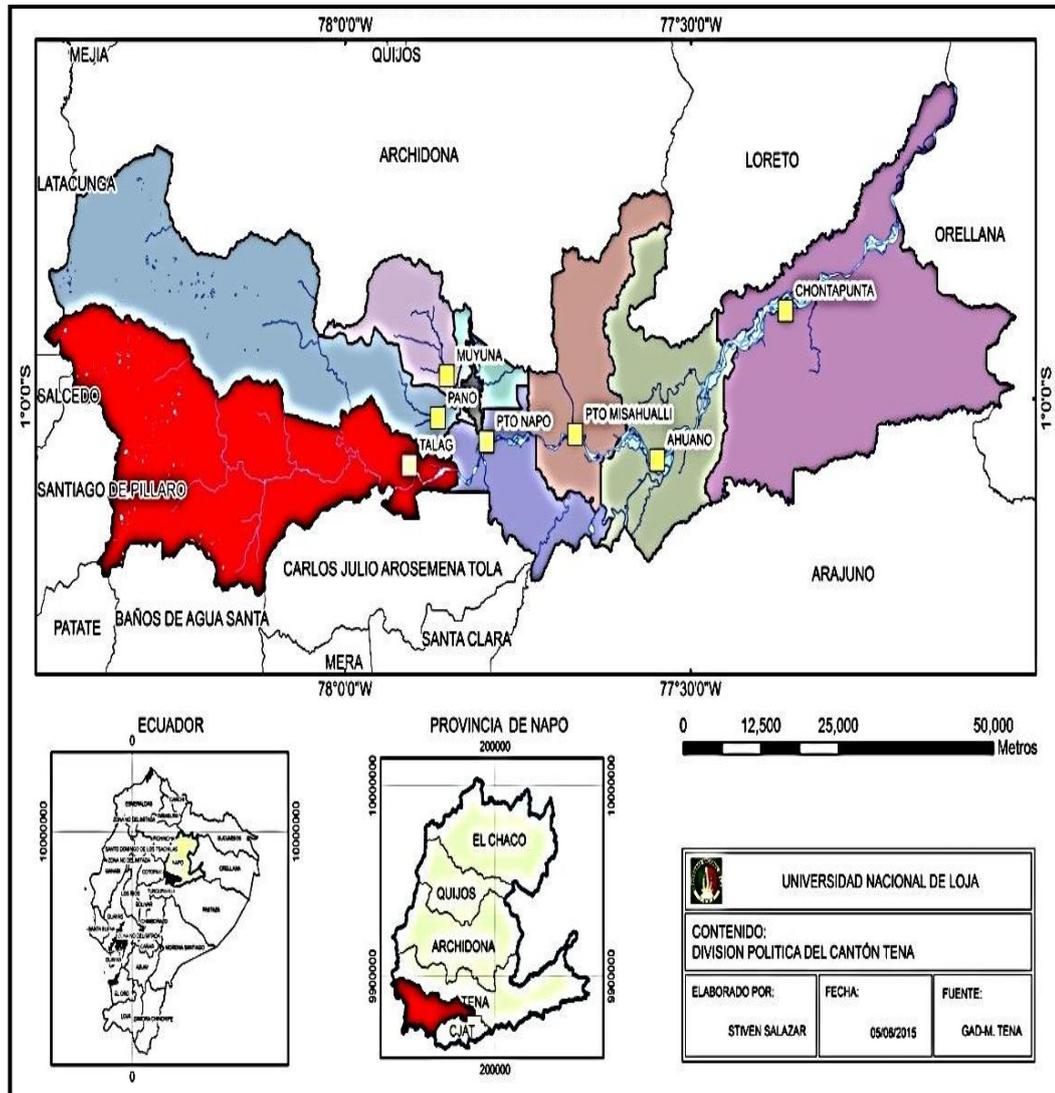


Elaborado por: El Autor

5.2.2. Ubicación Política.

Políticamente la comunidad Zapallo se encuentra ubicada en la Provincia Napo, Cantón Tena, Parroquia Talag en las riveras del Río Jatunyacu.

Figura 2. Mapa de ubicación Política de la Parroquia Talag.

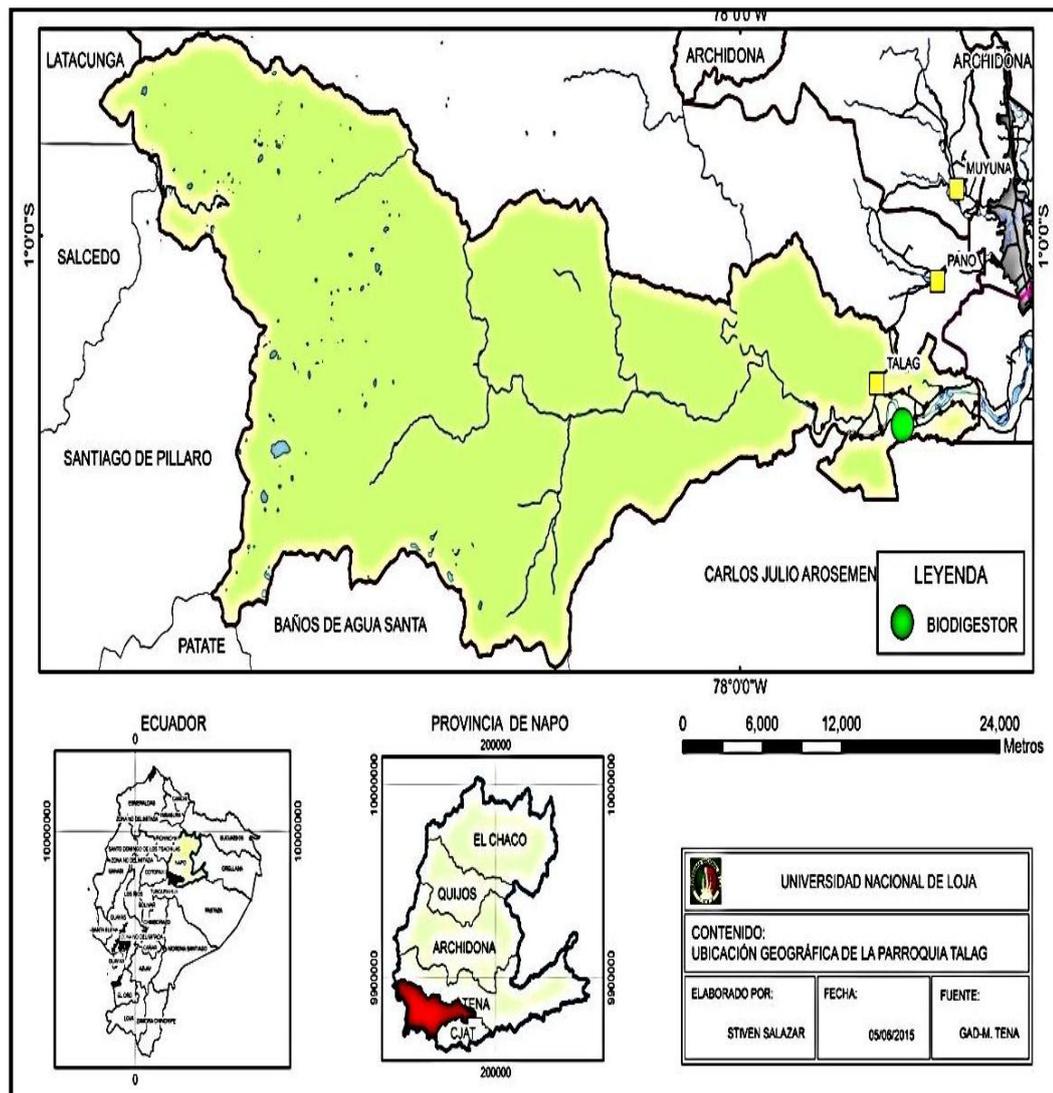


Elaborado por: El Autor

5.2.3. Ubicación geográfica

La comunidad Zapallo, Parroquia Talag, Cantón Tena, Provincia Napo, se encuentra ubicado geográficamente a una latitud de $177^{\circ}675'85''$ Este; a una longitud de $98^{\circ}806'40''$ Sur. A una altitud de 508 msnm ubicado en la Parroquia Talag vía a Anzu Serena y cuenta con una extensión de 1,73Has.

Figura 3. Ubicación geográfica de la Parroquia Talag.



Elaborado por: El Autor

5.3. Aspectos biofísicos y climáticos.

5.3.1. Aspectos biofísicos.

a. Medio biótico (flora y fauna)

La parroquia Talag se encuentra en la cuenca Amazónica por lo que posee una gran biodiversidad de flora; mediante la clasificación de los pisos zoogeográficos del Ecuador, la zona se asienta dentro del piso tropical oriental, en una gran llanura que se extiende desde el inicio del declive oriental 800-1000 msnm y hacia las partes bajas 200 msnm.

La gran variedad de ecosistemas posibilita habitantes para una gran diversidad de especies de flora y fauna: No disponemos de datos específicos sobre la biodiversidad en el Cantón Tena. Lo más acercado a la realidad del Cantón son los datos de la Reserva de Biosfera Sumaco. (GAD Municipal de Tena, 2011).

Flora silvestre.- La región del Sumaco contiene más de 6000 especies de plantas vasculares identificados en los diferentes pisos altitudinales, desde la zona cálida tropical húmeda hasta el páramo subandino.

La mayor diversidad de especies arbóreas se encuentra bajo la cota de los 800 msnm. En el bosque primario sobre colinas, con más de 250 especies de árboles por hectárea. El área tiene una enorme riqueza florística que ha sido utilizada tradicionalmente por las comunidades quichuas en medicina, alimentación humana y animal, construcción de viviendas, vestimentas, construcción de canoas y artesanías. (GAD Municipal de Tena, 2011).

Fauna silvestre.- En la parte norte de la región Sumaco, se han registrado 81 especies de mamíferos. En la zona sur, en la carretera Hollín-Loreto, se registraron un número equivalente a 101 especies de mamíferos.

Por su parte, reportan 82 especies de mamíferos, los cuales equivalen al 50% del total registrado en la Amazonía Ecuatoriana y al 25% del total registrado

en el Ecuador. En cuanto a avifauna, en la zona central y sur de la Reserva de Biosfera Sumaco (RBS), se determinaron 97 especies de aves. (GAD Municipal de Tena, 2011).

b. Medio abiótico (agua-suelo)

Según (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Tena, 2011), En el Cantón Tena existen tres órdenes de suelo los Inceptisoles, los Entisoles y los Histosoles

Tabla 2. Órdenes en porcentajes del suelo del Cantón Tena.

Orden	%
Inceptisol	74,60
Entisol	13,60
Histosol	3,30
Afloramiento rocoso	8,60

Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Tena 2011

Elaborado por: El Autor

Inceptisol (orden)

Los suelos que pertenecen al orden de los inceptisoles son de origen reciente y los horizontes son poco desarrollados. Se forman de sedimentos aluviales, fluviales, coluviales, de cenizas volcánicas, de rocas alcalinas y ácidas.

Uso de Inceptisoles: Inceptisoles son cultivables solamente con apropiado control de erosión y drenaje. Son aptos para cultivos como cacao, maní, maíz, plátano, café y cítricos en tierras con pendiente menor al 15%. Sin embargo en el Cantón Tena los inceptisoles que se encuentran en tierras con estas pendientes son escasos. Solamente en el extremo sur y sur-este hay áreas con estas condiciones.

Entisol (orden)

Los entisoles se definen como los suelos de formación reciente que muestran poco desarrollo definido de perfiles. Son resultado de deposiciones continuas de nuevos materiales parentales por inundaciones frecuentes y

prolongadas durante la estación lluviosa en relieves planos. Los entisoles ocupan 13,50 % de la superficie del Cantón y están ubicados en los márgenes de los ríos.

Uso de Entisoles: Son los suelos más fértiles del Cantón Tena, donde se realiza la mayor actividad agropecuaria. Se recomienda un manejo agropecuario semi intensivo y agroforestería intensivo.

Histosol (orden)

Histosoles son suelos principalmente de materiales orgánicos. Contienen al menos un 20% de materia orgánica a una profundidad de 40 cm. Normalmente, los histosoles son mal drenados, porque la materia orgánica detiene muy bien el agua. En consecuencia tienen un régimen anaeróbico. La mayoría son ácidos y muchos de ellos a pesar del alto contenido de materia orgánica son muy deficientes en los principales nutrientes disponibles para las plantas.

Uso de Histosoles: Son por lo general muy difíciles de cultivar debido al pobre drenaje y a menudo baja fertilidad química.

Agua.- Corresponde a la cuenca alta del Río Napo. El área aproximada de las sub-cuencas que forman parte del Cantón es de 722.124 has. La zona oeste, sobre los 3.600 metros, corresponde al lugar de nacimiento de la mayoría de ríos que recorren el Cantón; lagunas importantes se encuentran de igual forma en esta zona del páramo. En la zona este predominan los ríos de llanura con meandros, caracterizados por su alta concentración de sedimentos. Los principales ríos del Cantón son: Jatun-Yacu, Napo, Tena, Misahuallí, Hollín, Anzu. (GAD Municipal de Tena, 2011).

5.3.2. Aspectos climáticos.

Según el (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2014) “El clima de la región se caracteriza por la presencia de lluvias a lo largo de todo el año. Varía desde el frío húmedo de las partes altas, pasa por el clima templado en

las estribaciones de la cordillera de los Andes hasta el tropical húmedo de la planicie Amazónica”.

a. Precipitación.- Es la cantidad de agua procedente de la atmósfera. La Región Amazónica, al igual que el noreste de la Provincia de Esmeraldas, son las zonas más lluviosas con totales anuales de: 3.891 en el año 2008; 4.360 en el año 2009; 3.856 en el año 2010; 4.195 en el año 2011; 4.620 en el año 2012 en el año 2013; 4.315 y en el año 2014 con un promedio de 1.172 hasta el mes de marzo.

b. Humedad relativa (HR).- Es la proporción entre la cantidad de vapor de agua que contiene la atmósfera y el máximo que necesitará para la saturación.

Tabla 3. Humedad relativa media anual (%).

Años	Humedad relativa media anual (%)
2008	85
2009	84
2010	84
2011	84
2012	87
Medio	85

Fuente: INAMHI (2014)

Elaborado por: El Autor

c. Temperatura.- Es el grado de calor o de frío de la atmósfera. En la Región Interandina la temperatura está vinculada estrechamente con la altura.

Tabla 4. Temperatura media anual (°C).

Año	Temperatura media anual (°C)
2009	24,00
2010	24,50
2011	23,90
2012	23,80
2013	28,75
2014	28,45 hasta el mes de marzo
Medio	25,56

Fuente: INAMHI (2014)

Elaborado por: El Autor

d. Heliofanía.- Se entiende por heliofanía (insolación), el número de horas en que el sol se hace presente en un lugar determinado. En toda la llanura litoral hasta una altura de 500 m en la ladera de la cordillera occidental, el promedio anual de horas de brillo solar fluctúa entre las 600 y 1.700 horas, siendo las más favorables de este número las zonas más secas. En la región interandina, la insolación fluctúa entre las 1.200 y 2.000 horas anuales con ciertas excepciones de lugares muy lluviosos.

5.4. Tipo de investigación

La presente investigación es de carácter no experimental de tipo transeccional correlacional; transeccional porque el estudio de investigación se realizó en un momento determinado del tiempo y correlacional porque permitió analizar y estudiar la relación de hechos y fenómenos de la realidad y conocer su nivel de influencia o ausencia de ella, busca determinar el grado de relación entre las variables que se estudia.

Es de campo, porque en su desarrollo nos apoyamos de técnicas y métodos para poder desarrollar la recolección de datos en el tiempo en que estuvo ocurriendo el proceso.

Es documental, por la utilización de diferentes técnicas para las consultas bibliográficas, linkográficas, hemerográficas, lo cual ayudó en el desarrollo de la revisión de literatura para la conformación del marco teórico.

5.5. Caracterización de la materia orgánica que se produce en la Comunidad Zapallo.

5.5.1. Gestión para el desarrollo de la investigación.

Se realizó la necesaria gestión con los habitantes de la comunidad, dándole a conocer los propósitos del trabajo de tesis, para lo cual se firmó un acta de autorización, donde se comprometieron a colaborar con los requerimientos planteados por el investigador de manera desinteresada (Ver anexo 1).

5.5.2. Determinación del área de estudio e implementación del biodigestor.

Para determinar el área de estudio y el lugar más adecuado para la ubicación del biodigestor se realizó el siguiente procedimiento:

1. Utilizando un GPS portátil marca GARMIN OREGON 550 se tomó las coordenadas del área de estudio y del lugar exacto de ubicación del biodigestor.
2. Se elaboró una tabla en Excel con los puntos de control.
3. Software ARC GIS 10,1 para ubicar las respectivas coordenadas.
4. Determinada el área de investigación, se archivó el resultado en formato JPG, como se puede observar en la figura 2 y 3.

5.5.3. Elaboración de un formato para la recolección de información de muestreo:

Para la toma de muestras de la población y de materia orgánica que se produce en la comunidad se elaboró un formato para la recolección de datos obtenidos en el campo (Ver anexo 2).

5.5.4. Muestreo de desechos orgánicos.

Para la toma de muestras de los desechos orgánicos se elaboró un cronograma de muestreo para lo cual se visitó cada una de las viviendas de la comunidad. A la 13H00 se procedió a la entrega de dos fundas de polietileno de color negro a cada familia, para el depósito de los desechos generados en 24 horas, al día siguiente y a la misma hora, utilizando los equipos de protección personal, se retiraron las fundas de cada vivienda, para luego ser pesadas con una balanza portátil de 5kg de capacidad (Ver foto 7 y 8). Los mismos fueron trasladados al centro de acopio provisional y proceder a la caracterización de la materia orgánica.

5.5.5. Caracterización de la materia orgánica.

Para la caracterización de la materia orgánica se utilizó la norma Mexicana NMX-AA-61, que permitió determinar las directrices y los parámetros básicos para calcular el peso volumétrico y la clasificación de subproductos de los residuos sólidos urbanos (RSU).

a. Materiales y equipos utilizados en el método de cuarteo.

- Balanza portátil con capacidad de 5kg
- Palas curvas
- Overoles
- Guantes de hule para uso industrial
- Botas de goma
- Escoba
- Mascarilla
- Libreta de campo

b. Procedimiento.

Para el método de cuarteo, participaron 4 personas debidamente equipadas.

Se tomó las fundas de polietileno conteniendo los residuos sólidos, se depositó sobre un área plana horizontal de 4m x 4m de cemento pulido y bajo techo (Ver foto 9).

Los residuos sólidos acumulados se traspalearon hasta homogenizarlo, a continuación se lo dividió en cuatro partes aproximadamente iguales A, B, C y D, y se eliminaron las dos partes opuestas A y C o B y D, se repitió esta operación hasta dejar un mínimo de residuos sólidos de 60,60 Kg, con los cuales se realizó la selección de subproductos. Separando la orgánica de la inorgánica (Ver foto 10)

5.5.6. Análisis estadístico.

Se empleó el método estadístico descriptivo para determinar:

a. Valor promedio.

Mediante la utilización de la fórmula de la media aritmética, podemos conocer el valor promedio de la cantidad en peso de los desechos orgánicos producidos por los habitantes de la comunidad.

Ecuación 1. Valor promedio.

$$\bar{X} = \frac{\sum xi}{n}$$

Dónde:

\bar{X} = designa la media aritmética

\sum = sumatoria

X_i = valores que toma la variable que toman en la población o muestra

n = número total de observaciones o datos

b. Varianza.

Esta medida permite identificar la diferencia promedio que hay entre cada uno de los valores respecto a su punto central (media).

Ecuación 2. Varianza.

$$S^2 = \frac{\Sigma(X_i - \bar{X})^2}{n - 1}$$

Dónde:

S^2 = representa la varianza

X_i = representa cada uno de los valores

\bar{X} = representa cada uno de los valores

n = es el número de observaciones o tamaño de la muestra

c. Desviación estándar.

Esta medida permite determinar el promedio aritmético de fluctuación de los datos respecto a su punto central o media. Ofrece como resultado un valor numérico que representa el promedio de diferencia que hay entre los datos y la media.

Para calcular la desviación estándar se halló la raíz cuadrada de la varianza, por lo tanto su ecuación sería:

Ecuación 3. Desviación estándar.

$$S = \sqrt{S^2}$$

Dónde:

S = varianza

d. Estimación de producción.

Mediante el cálculo de la media aritmética se procede a realizar una estimación de producción de desechos orgánicos diaria, semanal, mensual y anual.

5.6. Diseñar el biodigestor para implantar en la Comunidad Zapallo.

5.6.1. Selección del diseño.

Para la selección del diseño del biodigestor a implementar en la comunidad escogida, se realizó un análisis de los diferentes tipos de biodigestores que existen, de acuerdo a sus ventajas y beneficios ambientales, económicos y a las posibilidades de adaptación a la zona, para su construcción y operación.

Para la selección del biodigestor se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

a. Tipo y cantidad de materia orgánica:

Se refiere al tipo y la cantidad de materia orgánica que se utilizó para cargar el biodigestor. Así como la cantidad mínima que obtenida en la Comunidad.

b. Vida útil:

Esto representa la probabilidad del tiempo de duración y funcionamiento del biodigestor, de acuerdo a las características y condiciones del lugar, que se puede considerar entre 15 a 20 años.

c. Requerimiento de área:

El área requerida para la construcción del biodigestor es un factor fundamental para su aplicación, la poca disponibilidad de terreno o el costo del mismo, pueden influir en el diseño.

d. Costos:

Va a depender de la producción per-cápita de los residuos sólidos, porque se considera los costos de inversión, construcción, operación y mantenimiento.

e. Construcción:

La construcción y diseño del biodigestor va a depender de la disponibilidad, costo de los materiales y al grado de complejidad en la construcción del biodigestor.

f. Operación y mantenimiento:

La operación del biodigestor está en función al tipo de materia orgánica y la producción del biogás, el mantenimiento del mismo se estima cada doce meses.

g. Selección

Para el diseño se basó en la revisión de la literatura de los diferentes modelos de biodigestores, en función de la necesidad del sector y las condiciones ambientales.

5.6.2. Parámetros del diseño.

Para el diseño e implantación del biodigestor se tomó en cuenta los siguientes parámetros:

a. Cantidad de materia orgánica requerida para la generación diaria de biogás.

La cantidad de materia orgánica producida por los habitantes de la comunidad Zapallo, para la generación diaria de biogás debe existir la suficiente cantidad y calidad.

b. Cantidad de biogás diario

El objetivo de esta investigación es obtener el volumen necesario de biogás que permita sustituir el consumo de leña y gas licuado de petróleo para los habitantes de la Comunidad Zapallo.

c. Dimensiones del biodigestor.

Las dimensiones del biodigestor están en función al tiempo de retención y a la cantidad de materia orgánica que la Comunidad pueda proveer o suministrar.

d. Temperatura.

La Comunidad Zapallo con temperaturas promedio entre 25 y 30°C, presta las condiciones ideales para implantar un biodigestor.

e. Tiempo de retención.

Para obtener una buena digestión anaeróbica, el tiempo de retención para la fermentación es de 30 días a partir de la primera carga, considerando que la materia orgánica que se utilizó es de origen vegetal, la misma que requiere mayor tiempo de retención.

5.6.3. Selección del sitio.

Para la instalación del biodigestor se consideró los siguientes factores:

- a. La proximidad al suministro de la materia prima
- b. Cercanía al lugar donde se almacenara el biogás
- c. Ubicarlo entre 10 a 20 metros de distancia de alguna fuente de agua, con el fin de evitar alguna clase de contaminación
- d. Debe estar en un lugar expuesto a los rayos del sol con la finalidad de mantener una temperatura adecuada al biodigestor.

5.6.4. Memorias de cálculos del biodigestor.

a. Producción total de la materia orgánica.

Para determinar la producción total de materia orgánica producida por los habitantes de la comunidad Zapallo, se fundamentó en la siguiente operación matemática:

$$PT = PP * N$$

Dónde:

PT = producción total de materia orgánica

PP = producción promedio por familia

N = número de familias

a. Agua necesaria.

Para formar la biomasa que se pretende digerir es necesario añadir 1 kg de agua por cada kg de materia orgánica.

Esta proporción planteada para este proyecto, se garantizó las condiciones críticas de operación y se determina de la siguiente forma:

$$AN = PT * R$$

Dónde:

AN = agua necesaria

PT = producción

R = relación

c. Biomasa disponible.

Con la cantidad de biomasa a recolectar por los habitantes de la Comunidad, unido al agua necesaria, se forma la totalidad de la biomasa que se debe degradar para lo cual se estableció la siguiente operación:

$$BD = PT + AN$$

Dónde:

BD = biomasa disponible

PT = producción total

AN = agua necesaria

d. Volumen diario de biomasa.

Para el tratamiento se recomienda emplear un metro cúbico de capacidad en el biodigestor por cada 1.000 kg de biomasa, pues se considera que la biomasa, está formada por una parte de agua. Posee una densidad equivalente, por lo tanto se determinó el volumen diario de biomasa utilizando la siguiente formula:

$$VBM = \frac{BD}{1000Kg} * 1m^3$$

Dónde:

VBM = volumen diario de biomasa

BD = biomasa por día

e. Tiempo de retención de la biomasa.

Dado que el material biodegradable requiere de un tiempo para su descomposición total en sus elementos principales, se procedió a su determinación, para luego calcular el volumen del biodigestor.

Bajo la acción de bacterias hemofílicas se estima que en un reactor normal a 30 °C, el tiempo requerido para biodegradar la materia prima alimentada es de 20 días, tiempo que puede ser afectado por las variaciones de la temperatura.

$$TR = 20 \text{ días} \cdot 1,30 = 26 \text{ días}$$

El factor 1,30 es un coeficiente que depende de la temperatura, y para garantizar un funcionamiento óptimo del biodigestor en cualquier época del año se ha asumido el valor de 25 °C.

f. Volumen de la cámara de digestión.

Se calculó mediante la siguiente operación:

$$VD = VBM * TR$$

Dónde

VD = volumen de digestión de la biomasa

VBM = volumen diario de biomasa

TR = tiempo de retención

g. Volumen de almacenamiento de gas.

Para calcular el volumen de almacenamiento de carga de gas se propuso la siguiente fórmula.

$$VG = PT * (0,2 \text{ m}^3/\text{día}) * (1\text{día}/24\text{h}) * 1 \text{ Kg}$$

Dónde:

VG = volumen de almacenamiento de gas

PT = producción total de biomasa

$(0,20\text{m}^3/\text{día})$ = datos específicos de producción de biogás por metro cúbico por día

$(1\text{día}/24\text{h})$ = relación 1 día = 24 horas

h. Volumen total del biodigestor.

Una vez determinado el volumen de la cámara de digestión y el volumen del almacenamiento de gas, se determinó el volumen total del biodigestor, utilizando la siguiente operación matemática:

$$VT = VD + VG$$

Dónde:

VT = volumen total del biodigestor

VD = volumen de la cámara de digestión

VG = volumen de almacenamiento de gas

i. Cálculos de los contenedores.

El diseño del biodigestor cuenta con dos contenedores, cuya área y volumen se calculó mediante las siguientes fórmulas:

Área de los contenedores.

$$A = 2 a * b + 2 b * c + 2 c * a$$

Dónde:

a = ancho del contenedor

b = largo del contenedor

c = altura del contenedor

Volumen de los contenedores.

$$V = a * b * c$$

Dónde:

a = ancho del contenedor

b = largo del contenedor

c = altura del contenedor

j. Medidas de la cámara de digestión.

Volumen de la cámara de digestión.

Se calculó mediante la siguiente fórmula;

$$V = \pi * r^2 * h$$

V = volumen del cilindro

$\pi = 3,1416$ (constante)

r = radio

h = altura

Área del cilindro.

Se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$A = 2 \pi r (h + r)$$

Dónde:

a = área

r = radio

h = altura

k. Cantidad de ladrillos

Para determinar la cantidad de ladrillos a ser utilizados se realizó el cálculo del área de los ladrillos partiendo de las medidas del grueso, tizón y soga. Como segundo paso se determinó el área del contorno del cilindro que se utilizó como cámara de digestión. Con estos dos datos se obtuvo el número de ladrillos del cilindro, mediante la relación entre el área del cilindro y el área de los ladrillos. Como tercer paso se realizó el cálculo del área de la pared divisoria y se la relaciono con el área del ladrillo mediante la utilización de la fórmula de áreas.

Área del ladrillo

$$A = 2 a * b + 2 b * c + 2 c * a$$

Dónde:

a = ancho del ladrillo

b = largo del ladrillo

c = altura del ladrillo

Cantidad de ladrillos para el cilindro

$$Cl = \frac{AC}{Al}$$

Dónde:

Cl = cantidad de ladrillos

AC = área del cilindro

Al = área del ladrillo

Área de la pared divisoria

$$A = 2 a * b + 2 b * c + 2 c * a$$

Dónde

a = ancho del ladrillo

b = largo del ladrillo

c = altura del ladrillo

Cantidad de ladrillos de la pared divisoria

$$Cl = \frac{Apd}{Al}$$

Dónde:

Cl = cantidad de ladrillos de la pared divisora

Apd = área de la pared divisora

Al = área del ladrillo

Para determinar la cantidad total de ladrillos utilizados en la construcción del biodigestor se utilizó la siguiente formula:

$$Cl \text{ total} = Cl (\text{cilindro}) + Cl (\text{pared divisoria})$$

1. Planchas de metal utilizadas.

Para determinar el número de planchas metálicas utilizadas se partió de las medidas de una plancha, con estos datos se realizó el cálculo del área de la plancha. Como segundo paso se estableció las medidas de la altura y el diámetro del gasómetro, ya obtenidos estos datos se calculó el área del gasómetro. Con estas medidas se relacionó el área total a utilizarse en la construcción del gasómetro, con el área de las planchas.

Medidas de la plancha

$$\text{Área} = a * b$$

Medidas del almacenador de gas.

$$\text{Área} = a * b$$

Cubierta.

$$\text{Área} = a * b$$

Área total.

At = sumatoria de todas las áreas

Total de planchas utilizadas.

$$T_p = \frac{A_t}{A_p}$$

Tp = total de planchas utilizadas

At = área total

Ap = área de la plancha

Se elaboró una matriz para el registro de los diferentes cálculos que se realizó durante el diseño del biodigestor. (Ver Anexo 5).

5.7. Evaluar el funcionamiento del biodigestor y la producción de biogás.

Para evaluar el funcionamiento del biodigestor se planteó diseñar una matriz para el registro de datos diario de los parámetros y producción de gas a obtener en el biodigestor: (Ver anexo 6).

5.7.1. Parámetros para evaluar el funcionamiento del biodigestor

a. Cantidad de carga para el biodigestor.

Para la carga del biodigestor se utilizó la materia orgánica producida por los habitantes de la comunidad y la cantidad de agua respectivamente, para la mezcla de la materia orgánica y el agua se manipuló un recipiente de plástico, adecuado en cuanto a volumen, según los requerimientos del biodigestor. Al realizar la carga se procedió a colocar el gasómetro por encima de la cámara de digestión, utilizando un caucho de polietileno y ocho pernos de ½.

Foto 1.



Materiales utilizados para preparar la materia orgánica.

b. Medición del potencial de hidrógeno (pH)

Para la medición del pH se empleó el método de la cinta, donde se tomó una muestra del sustrato antes del ingreso al biodigestor, luego se introdujo una cinta indicador de pH de rango 0 a 14 para obtener el valor, mediante la comparación de la regleta de colores, con el fin de tener una medición y conocer la existencia de una mezcla ácida o básica.

Foto 2.



Cinta de Potencial de Hidrógeno (pH).

c. Medición de la temperatura.

Para la evaluación de la temperatura interna del biodigestor se utilizó un termómetro marca Taylor de mercurio con un rango de medida de -50°C a $+50^{\circ}\text{C}$ para lo cual el embolo del termómetro se empotro dentro de la cámara de digestión y la parte gradual fuera del biodigestor, con el fin de registrar la temperatura diariamente y determinar un proceso de fermentación favorable.

Foto 3.



Termómetro

5.7.2. Parámetros para evaluar la producción de biogás.

a. Medición de la presión.

Para medir y determinar la presión del biodigestor se debe utilizó un manómetro marca Paolo con un rango de 0 a 100 psi, el cual se acoplo en el gasómetro de tal forma, que al proceder abrir las llaves, el biogás fluya hasta el manómetro y así se logró determinar la presión diaria que se generó dentro del biodigestor en un tiempo determinado.

Foto 4.



Manómetro

b. Medición de la cantidad de biogás.

Para el control y medida de la cantidad de biogás se utilizó un medidor de gas marca flowmeter Regulatorn100-FL con un rango de 0 a 50 litros el cual se instaló en el gasómetro, de tal manera que al fluir el biogás entre directamente al medidor y así poder determinar la cantidad de biogás producida diariamente dentro del biodigestor.

Foto 5.



Equipo para medir el biogás.

6. RESULTADOS

6.1. Caracterización de la materia orgánica que se produce en la Comunidad Zapallo.

Los datos obtenidos mediante la observación, medición, clasificación de la materia orgánica generada en la comunidad Zapallo, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 5. Peso en Kg de la materia orgánica producida por los habitantes.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA PLAN DE CONTINGENCIA INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE MATRIZ PARA EL MUESTREO DE MATERIA ORGÁNICA RESPONSABLE: Stiven Salazar				
LUGAR DE MUESTREO: Comunidad Zapallo				
FECHA DE MUESTREO: 2 de marzo del 2014				
VIVIENDA	FAMILIA	Nº ADULTOS	Nº NIÑOS	PESO DE MATERIA ORGÁNICA (KG)
1	Grefa Andy	2	3	10,20 kg
2	Grefa Cerda	2	5	12,20 kg
3	Andi Licuy	6	3	9,20 kg
4	Andi Licuy	2	0	7,30 kg
5	Andi Cerda	4	8	9,40 kg
6	Andi Licuy	3	4	12,40 kg
TOTAL				60,70 kg
OBSERVACIONES: Se observó que los habitantes de la Comunidad producen más desechos en las noches, pues en las mañanas salen a sus respectivas fincas.				
FIRMA DEL RESPONSABLE:				

Elaborado por: El Autor

Sobre la base de los datos obtenidos se determinó los valores estadísticos de la producción de materia orgánica:

a. Cálculo del Valor promedio

$$\bar{X} = \frac{\sum xi}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{(10,20+12,20+9,20+7,30+9,40+12,40) \text{ Kg}}{6 \text{ familias}}$$

$$\bar{X} = \frac{60,70\text{Kg}}{6 \text{ familias}}$$

$$\bar{X} = 10,12 \text{ Kg}$$

El valor promedio de desechos generados en la comunidad Zapallo, es de 10,12 Kg por día. Lo consideramos elevado para el promedio de personas que conforman estas familias. No encontramos trabajos similares que ofrezcan datos sobre este aspecto.

b. Cálculo de la varianza

$$S^2 = \frac{\sum(Xi-X)^2}{n-1}$$

$$S^2 = \frac{(10,20-10,10)^2 + (12,20-10,10)^2 + (9,20-10,10)^2 + (7,30-10,10)^2 + (9,40-10,10)^2 + (12,40-10,10)^2}{n-1}$$

$$S^2 = \frac{0,01+4,41+0,81+7,84+0,49+5,29}{6-1}$$

$$S^2 = \frac{18,85}{5}$$

$$S^2 = 3,77$$

Cálculo de la desviación estándar

$$S = \sqrt{S^2}$$

$$S = 1,94$$

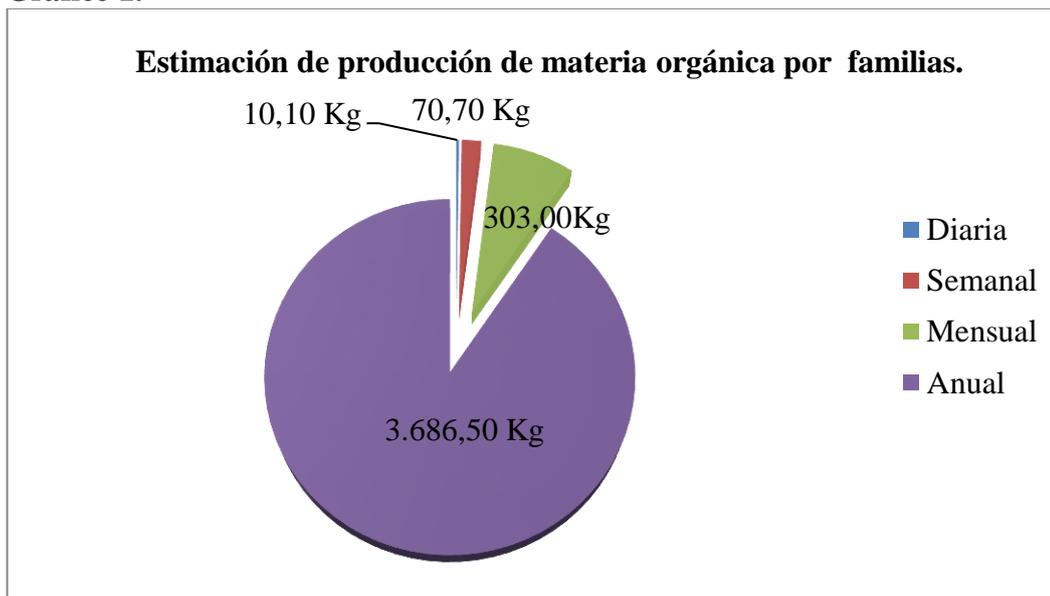
Estimación de producción de desechos orgánicos por familia

Tabla 6. Estimación de producción de desechos orgánicos por familia.

ESTIMACIÓN DE PRODUCCIÓN DE DESECHOS DE MATERIA ORGÁNICA			
Diaria	Semanal	Mensual	Anual
10,10Kg	70,70 Kg	303,00 Kg	3.686,50 Kg

Elaborado por: El Autor

Gráfico 1.



Elaborado por: El Autor

Interpretación: En el Gráfico 4 se observa la estimación de producción de 10,10 Kg., de desechos orgánicos producidos diariamente, y total de 3.686,00 Kg anuales por cada una de las familias de la Comunidad Zapallo, lo cual se corresponde con las necesidades reales de carga, funcionamiento y explotación del biodigestor diseñado.

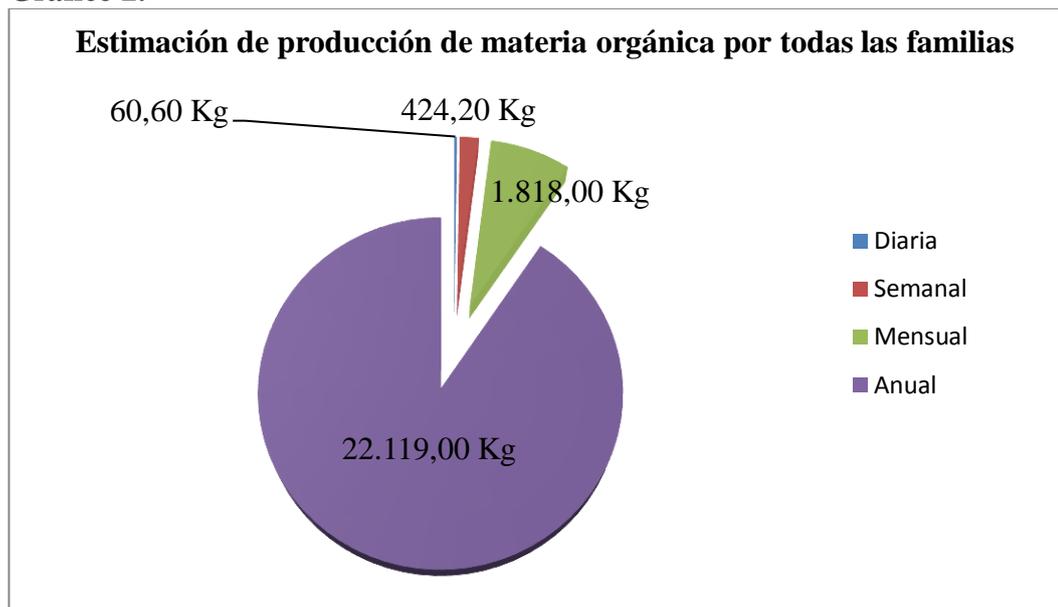
Estimación de producción de desechos orgánicos por familia

Tabla 7. Estimación de producción de desechos orgánico por todas las familias.

ESTIMACIÓN DE PRODUCCIÓN DE DESECHOS DE MATERIA ORGÁNICA			
Diaria	Semanal	Mensual	Anual
60,60Kg	424,20Kg	1.818,00 Kg	22.119,00 Kg

Elaborado por: El Autor

Gráfico 2.



Elaborado por: El Autor

Interpretación: En el gráfico 5 se expresa la estimación de producción de desechos orgánicos de 60,60 Kg., producidos diariamente por todas las familias de la comunidad Zapallo, lo que representa un volumen de 22.119,00 Kg anuales, considerando la capacidad de producción agropecuaria, pues se dedican al trabajo agrícola en sus pequeñas parcelas (chacras), lo que garantiza el funcionamiento del biodigestor durante todo el año.

6.2. Diseñar el biodigestor para implantar en la Comunidad Zapallo.

Se diseñó y construyó un biodigestor tipo chino de domo fijo el que funciona con materia orgánica; con una capacidad de retención de 30 días, siendo la relación entre agua y materia orgánica disponible de 1:1, con un volumen de 3,64 m³, capacidad que abastece con biogás a una familia de 5 personas.

a. Agua disponible

$$AN = PT * R$$

$$AN = 60,60 \text{ Kg} * 60,60 \text{ Kg}$$

$$AN = 60,60 \text{ Kg de agua/día}$$

b. Biomasa disponible

$$\mathbf{BD = PT + AN}$$

$$\mathbf{BD = 60,60 \text{ Kg/ día M.O.} + 60,60 \text{ Kg/ día agua}}$$

$$\mathbf{BD = 121,20 \text{ Kg/día bioma}}$$

c. Volumen diario de biomasa

$$\mathbf{VBM = \frac{BD}{1.000Kg} * 1m^3}$$

$$\mathbf{VBM = \frac{121,20 \text{ Kg}}{1.000 \text{ Kg}} * 1 \text{ m}^3}$$

$$\mathbf{VBM = 0,12 \text{ m}^3/\text{día}}$$

d. Tiempo de retención

$$\mathbf{TR = 30 \text{ días}}$$

e. Volumen de digestión de la biomasa

$$\mathbf{VD = VBM * TR}$$

$$\mathbf{VD = 0,12 \text{ m}^3/\text{día} * 30 \text{ días} = 3,14 \text{ m}^3}$$

6.2.1. Excavación de la zanja

Se realizó la excavación de la zanja de forma manual dando una forma cilíndrica, teniendo en cuenta el cálculo realizado en cuanto a las medidas del diámetro y la altura; de 1,76 m x 1,75 m respectivamente.

a. Diámetro de la zanja

$$\mathbf{Cz = \text{diámetro de la cámara de digestión} + \text{ancho del ladrillo} * (2)}$$

$$\mathbf{Cz = 1,60 \text{ m} + 0,08 \text{ m} * (2)}$$

$$\mathbf{Cz = 1,60 \text{ m} + 0,16 \text{ m}}$$

$$\mathbf{Cz = 1,76 \text{ m}}$$

Profundidad de la zanja

Profundidad de la zanja = altura de la cámara de digestión

Profundidad de la zanja = 1,75 m

6.2.2. Colocación de la tubería de carga y descarga

Se colocaron dos piezas de tuberías PVC de seis pulgadas para la carga del biodigestor y descarga del efluente. Para la cámara de carga se utilizó un tubo de 1,00 m de largo con una inclinación de 30° dejando el espacio del contenedor a la misma altura del suelo, mientras que para la descarga del efluente se utilizó un tubo de 1,20 m con una inclinación de 45° dejando el espacio para el contenedor a 0,30 m bajo el nivel de suelo.

6.2.3. Construcción de la cámara de digestión

Se construyó la cámara de digestión en forma circular con las siguientes medidas, una altura de 1,75 m y un diámetro 1,60 m aumentando a la medida 0,16m que es de los ladrillos que constituyen las paredes exteriores. Además se construyó una pared divisoria a la misma altura de la cámara de digestión para lo cual se utilizó un total de 173 ladrillos.

a. Medidas cilindro biodigestor

Diámetro: 1,60 m

Altura: 1,75 m

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$V = 3,14 * (0,80 \text{ m})^2 * 1,75 \text{ m}$$

$$V = 3,51 \text{ m}^3 = 3,14 \text{ m}^3$$

b. Área del cilindro

$$A = 2 * \pi * r (h + r)$$

$$A = 2 * 3,14 * 0,80 \text{ m} (1,75 \text{ m} + 0,80 \text{ cm})$$

$$A = 12,81 \text{ m}^2$$

c. Medidas del ladrillo

Grueso = 0,08 m

Tizón = 0,12 m

Soga = 0,23 m

d. Área del ladrillo

$$A = 2 a * b + 2 b * c + 2 c * a$$

$$A = (2 (0,08 * 0,12) + 2 (0,12 * 0,23) + 2 (0,23 * 0,08)) \text{ m}$$

$$A = (0,02 + 0,05 + 0,04)$$

$$A = 0,11 \text{ m}^2$$

e. Cantidad de ladrillos para el cilindro

$$Cl = (\text{área del cilindro}) / (\text{área del ladrillo})$$

$$Cl = (12,81 \text{ m}^2) / 0,11\text{m}^2$$

$$Cl = 116,45 \text{ ladrillos: } 117 \text{ Ladrillos}$$

f. Área de la pared divisoria

$$A = 2 a * b + 2 b * c + 2 c * a$$

$$A = (2 (0,08 * 1,75) + 2 (1,75 * 1,60) + 2 (1,60 * 0,08)) \text{ m}$$

$$A = (0,28 + 5,60 + 0,25)$$

$$A = 6,13 \text{ m}^2$$

g. Cantidad de ladrillos de la pared divisoria

$$Cl = (\text{área de la pared divisoria}) / (\text{área del ladrillo})$$

$$Cl = (6,13 \text{ m}^2) / 0,11\text{m}^2$$

$$Cl = 55,70 \text{ ladrillos: } 56 \text{ Ladrillos}$$

h. Cantidad total de ladrillos

$$\text{Cl total} = \text{Cl (cilindro)} + \text{Cl (pared divisoria)}$$

$$\text{Cl total} = 117 \text{ ladrillos} + 56 \text{ ladrillos}$$

$$\text{Cl total} = 173 \text{ ladrillos}$$

6.2.4. Construcción del Gasómetro

Se construyó un gasómetro con las siguientes medidas, un diámetro de 1,76 m y una altura 0,40 m, utilizando dos planchas de metal de 1,40 m x 2,40 m, el cual tendrá un almacenamiento de 0,97 m³, al solo necesitar 0,50 m³ tendríamos espacio en el gasómetro y por ende la cámara de digestión podría alcanzar una carga mayor en el futuro.

a. Volumen del gasómetro

$$\text{VG} = \text{PT} * (0,20 \text{ m}^3 / \text{día}) * (1 \text{ día} / 24 \text{ h}) * 1 \text{ Kg}$$

$$\text{VG} = \text{PT} * (0,20 \text{ m}^3 / \text{día}) * (1 \text{ día} / 24 \text{ h})$$

$$\text{VG} = 60,60 \text{ Kg} * (0,20 \text{ m}^3 / \text{día}) * (1 / 24) * 1 \text{ Kg}$$

$$\text{VG} = 0,50 \text{ m}^3$$

b. Medidas de la plancha

$$\text{Alto} = 2,40 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 1,40 \text{ m}$$

$$\text{Área} = a * b$$

$$\text{Área} = 2,40 \text{ m} * 1,40 \text{ m}$$

$$\text{Ap} = 3,36 \text{ m}^2$$

c. Medidas del cilindro

$$\text{Alto} = 0,40 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 1,76 \text{ m}$$

$$\text{Área} = a * b$$

$$\text{Área} = 0,40 \text{ m} * 1,76 \text{ m}$$

$$\text{Área} = 0,70 \text{ m}^2$$

d. Volumen

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$V = 3,14 * (0,88 \text{ m})^2 * 0,40 \text{ m}$$

$$V = 0,97 \text{ m}^3$$

e. Cubierta

$$\text{Alto} = 1,76 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 1,76 \text{ m}$$

$$\text{Área} = a * b$$

$$\text{Área} = 1,76 \text{ m} * 1,76 \text{ m}$$

$$\text{Área} = 3,09 \text{ m}^2$$

f. Área utilizada

$$A_u = \text{área del cilindro} + \text{área de la cubierta}$$

$$A_u = 0,70 \text{ m}^2 + 3,09 \text{ m}^2$$

$$A_u = 3,79 \text{ m}^2$$

g. Total de planchas utilizadas

$$T_p = A_u / A_p$$

$$T_p = 3,79 \text{ m}^2 / 3,36 \text{ m}^2$$

$$T_p = 1,12 \text{ planchas}$$

$$T_p = 2 \text{ planchas de } 1,40 \text{ m} \times 2,40 \text{ m}$$

6.2.5. Construcción de los tanques de carga y descarga

Se construyeron dos tanques, uno para la carga del biodigestor y otro para descarga del efluente. El primero a la altura del suelo y segundo a 0,30 m bajo el

nivel del suelo. Los contenedores están contruidos de cemento con una altura de 0,30 m y las paredes de 0,50 m x 0,60 m. Dando el área de cada contenedor de 1,26 m² y volumen de 0,90 m³.

a. Área de los contenedores

$$A = 2 a * b + 2 b * c + 2 c * a$$

$$A = (2 (0,50 * 0,60) + 2 (0,60 * 0,30) + 2 (0,30 * 0,50)) \text{ m}$$

$$A = (0,60 + 0,36 + 0,30) \text{ m}$$

$$A = 1,26 \text{ m}^2$$

b. Volumen de los contenedores

$$V = a * b * c$$

$$V = 0,50 \text{ m} * 0,60 \text{ m} * 0,30 \text{ m}$$

$$V = 0,90 \text{ m}^3$$

En la siguiente tabla se muestran las unidades y valores totales calculados, con los que se diseñó y construyó el biodigestor en la Comunidad de estudio.

Tabla 8. Matriz de unidades y valores totales de cálculos para el biodigestor.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA PLAN DE CONTINGENCIA INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE MATRIZ DE UNIDADES Y VALORES TOTALES DE CÁLCULOS PARA EL BIODIGESTOR			
NÚMERO	PARAMETROS O CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	CANTIDAD
1	Volumen del biodigestor	m ³	3,64
2	Diámetro del biodigestor	m	1,60
3	Altura total del biodigestor	m	2,15
4	Altura de la pared divisora	m	1,75
5	Ladrillos utilizados para la cámara de digestión	Ladrillos	117
6	Ladrillos utilizados para la pared divisora	Ladrillos	56
7	Cantidad total de ladrillos	Ladrillos	173
8	Altura del gasómetro	m	0,40
9	Diámetro del gasómetro	m	1,76
10	Volumen de almacenamiento	m ³	0,97
11	Planchas utilizadas para la construcción del Gasómetro	Planchas de 1,40mx2,40m	2
12	Volumen del tanque de carga	m ³	0,90
13	Largo del tanque de carga	m	0,50
14	Ancho del tanque de carga	m	0,60
15	Profundidad del tanque de carga	m	0,30
16	Volumen del tanque de descarga	m ³	0,90
17	Largo del tanque de descarga	m	0,50
18	Ancho del tanque de descarga	m	0,60
19	Profundidad del tanque de descarga	m	0,30
20	Altura de la Zanja	m	1,75
21	Diámetro de la zanja	m	1,76

Elaborado por: El Autor

Sobre la base de los datos obtenidos mediante los cálculos realizados y reflejados en la matriz anterior, facilitó el diseño y la posterior construcción del biodigestor que se muestra en el (Anexo 8).

6.2.6. Costo de construcción.

El costo de construcción del biodigestor varía según el tipo y cantidad de materiales, así como equipos a utilizar.

A continuación detallamos los costos por unidades de materiales y equipos utilizados en la investigación:

Tabla 9. Materiales utilizados para la construcción del biodigestor

DETALLE	CANTIDAD	V. UNITARIO USD	V.TOTAL USD
Manómetro	1	10,00	10,00
Termómetro	1	20,00	20,00
Medidor de gas	1	90,00	90,00
Ladrillos		0,25	43,25
Cementos	173	8,00	32,00
Planchas de acero de 1,40 m x 2,40 m	2	80,00	160,00
Tubos PVC de 6"	2	10,00	20,00
Manguera	1m	1,50	1,50
Pernos	8	0,50	4,00
Rodelas	8	0,15	1,20
Tuercas	8	0,20	1,60
Electrodos	10	1,00	10,00
Cintas de medidor de pH	2	7,00	14,00
Balanza portátil	1	5,00	5,00
Paquetes de fundas de basura	2	1,50	3,00
Mecánico	1	20,00	300,00
Maestro	1	10,00	100,00
Mano de obra	1	50,00	50,00
TOTAL USD			865,55

Elaborado por: El autor

6.3. Evaluar el funcionamiento del biodigestor y la producción de biogás.

De acuerdo a los datos obtenidos en la actividad de campo sobre la temperatura, presión, pH y producción de biogás diaria, se realizaron los respectivos cálculos estadísticos pertinentes para determinar: valor promedio, varianza, desviación estándar, producción máxima y mínima de los parámetros ya mencionados.

En el Anexo 6 se muestran los datos obtenidos sobre temperatura, presión, PH y producción de biogás a partir de los 30 días iniciada la fermentación y la última a los 60 días terminada la fermentación, siendo un total de 29 días de producción de biogás.

6.3.1. Cálculo de temperatura

a. Valor promedio

$$\bar{X} = \frac{\sum xi}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{(25+26+30+26+24+26+22+23+29+32+31+24+25+30+24+27+29+31+25+29+25+29+24+28+30+29+30+32+28+25+25+27+24+26+30+25+26+28+24+24+26+30+26+25+26+25)^{\circ}\text{C}}{60 \text{ días}}$$

$$\bar{X} = \frac{1,63 \text{ }^{\circ}\text{C}}{60\text{días}}$$

$$\bar{X} = 27,15^{\circ}\text{C/día}$$

El valor promedio de la temperatura de biodigestor construido en la comunidad mencionada fue de 27,15°C/día.

b. Varianza

$$S^2 = \frac{\sum (Xi - X)}{n - 1}$$

$$S^2 = \frac{(4,62+1,32+8,12+1,32+9,92+1,32+26,52+17,22+3,42+23,52+14,82+9,92+4,62+8,12+9,92+0,022+3,42+14,82+4,62+3,42+4,62+3,42+9,92+0,72+8,12+3,42+8,12+23,52+0,72+4,62+3,42+14,82+4,62+3,42+4,62+3,42+9,92+0,72+8,12+3,42+8,12+23,52+0,72+4,62+4,62+0,022+9,92+1,32+8,12+4,62+1,32+0,72+9,92+9,92+1,32+8,12+1,32+4,62+1,32+4,62)}{60-1}$$

$$S^2 = \frac{403,50}{59}$$

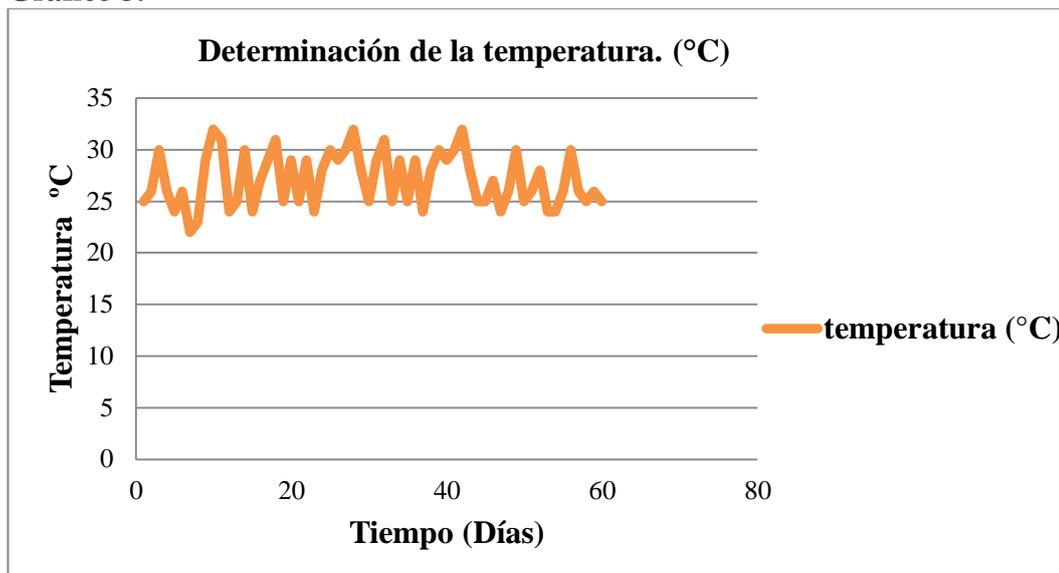
$$S^2 = 6,84$$

c. Desviación estándar

$$S = \sqrt{S^2}$$

$$S = 2,62$$

Gráfico 3.



Elaborado por: El Autor

Interpretación: En el gráfico 6 se muestra los datos de la temperatura interna en el biodigestor desde el inicio hasta los 60 días de la fermentación con un promedio de 27,15°C y una desviación estándar de 2,62; con un máximo de temperatura de 31°C y un mínimo de 24°C durante el periodo de la investigación.

6.3.2. Cálculo de presión

a. Valor promedio

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{(0+12+25+15+21+12+12+10+13+14+23+22+12+21+16+12+14+14+15+13+15+12+12+15+14+12+13+16+15+18+14+14+15+13+15+12+12+15+14+12+13+10+15+13+11+8+12+16+14+15+19+20+18+18+18+14+10+8+6+0)\text{Hg cm}}{60 \text{ días}}$$

$$\bar{X} = \frac{839 \text{ Hg cm}}{60 \text{ días}}$$

$$\bar{x} = 13,98 \text{ Hg cm / día}$$

El valor promedio de la presión del biodigestor, es de 13,98 Hg cm/ día.

b. Varianza

$$S^2 = \frac{\sum (Xi - X)}{n - 1}$$

$$S^2 = \frac{(195,44+3,92+121,44+1,04+49,28+3,92+3,92+15,84+0,96+0,0004+81,36+64,32+3,92+49,28+4,08+3,92+0,0004+1,04+0,96+1,04+3,92+3,92+1,04+0,0004+3,92+0,96+4,08+1,04+16,16+0,0004+0,0004+1,04+0,96+1,04+3,92+3,92+1,04+0,0004+3,92+0,96+15,84+1,04+0,96+8,88+35,76+3,92+4,08+0,0004+1,04+25,20+36,24+16,16+16,16+16,16+0,0004+15,84+35,76+63,68+195,44)}{60 - 1}$$

$$S^2 = \frac{1.149,68}{59}$$

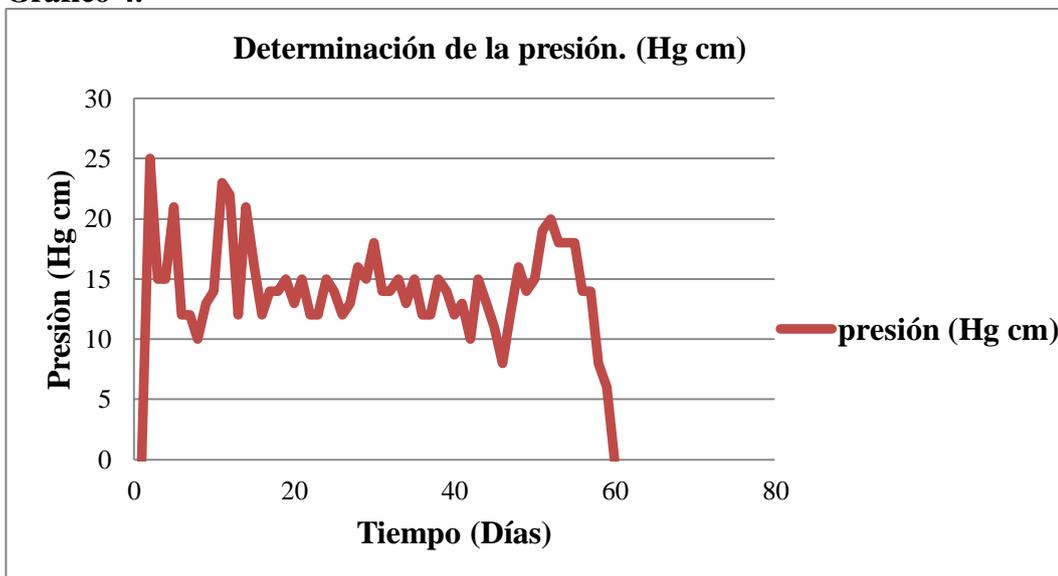
$$S^2 = 19,48$$

c. Desviación estándar

$$S = \sqrt{S^2}$$

$$S = 4,41$$

Gráfico 4.



Elaborado por: El Autor

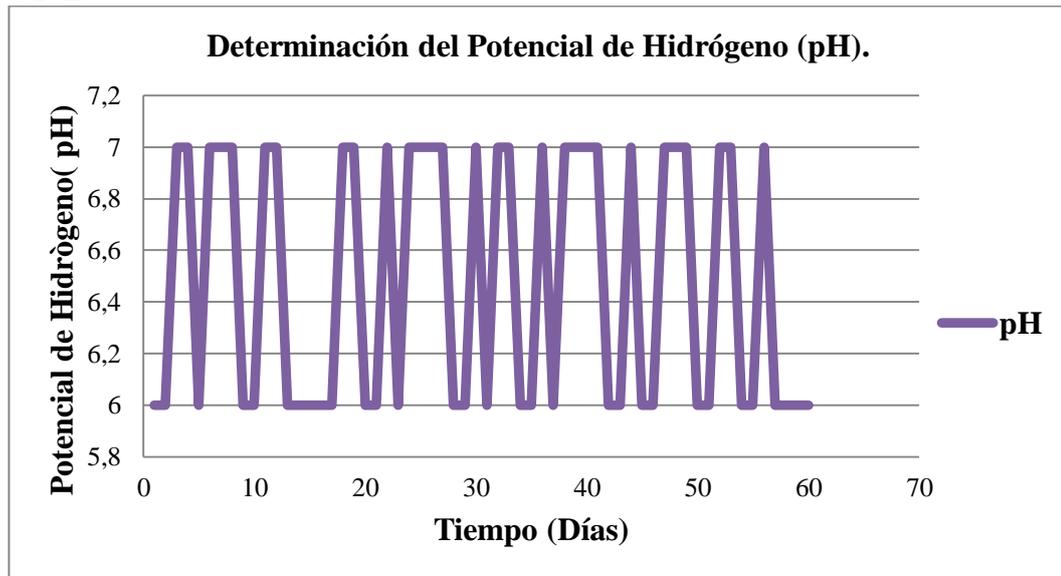
Interpretación: En el gráfico 7 se muestra la presión manométrica interna del biodigestor desde el segundo día hasta los 60 días que terminó la fermentación con un promedio de 13,98 Hg cm/ día y una desviación estándar de 4,41; con un

c. Desviación estándar

$$S = \sqrt{S^2}$$

$$S = 0,50$$

Gráfico 5.



Elaborado por: El Autor

Interpretación: En el gráfico 8 se muestra el pH obtenido en el biodigestor, desde inicio hasta los 60 días que terminó la fermentación con un promedio de 6,48 por día y una desviación estándar de 0,50, con un rango de pH entre 6 y 7 durante el periodo de la investigación. Notándose la estabilidad del proceso en función al adecuado manejo y empleo del mismo.

6.3.4. Cálculo de la producción diaria de biogás

a. Valor promedio

$$\bar{X} = \frac{\sum xi}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{(78,31+18,84+21,97+24,33+25,11+23,55+26,11+26,68+58,73+52,93+43,95+51,35+42,24+39,26+26,68+23,55+21,20+37,68+29,04+10,97+21,97+27,48+22,60+29,60+19,04+18,04+13,43+8,12+4,04+0,00)\text{cm}^3}{30 \text{ días}}$$

$$\bar{x} = \frac{846,80}{30 \text{ días}}$$

$$\bar{x} = 28,22 \text{ cm}^3/\text{día}$$

El valor promedio de producción diaria es de 28,22 cm³. Valor suficiente para cubrir las necesidades de cocción de la familia beneficiaria.

b. Varianza

$$S^2 = \frac{\Sigma(X_i - \bar{X})^2}{n-1}$$

$$S^2 = \frac{(2.509,00+87,98+39,06+15,13+9,67+21,80+4,45+2,37+930,86+610,58+274,43+534,99+196,56+121,88+2,37+21,80+49,58+89,49+0,67+297,50+39,06+0,54+31,58+1,90+84,27+103,63+218,74+404,01+584,67+796,36)}{30-1}$$

$$S^2 = \frac{8.057,63}{29}$$

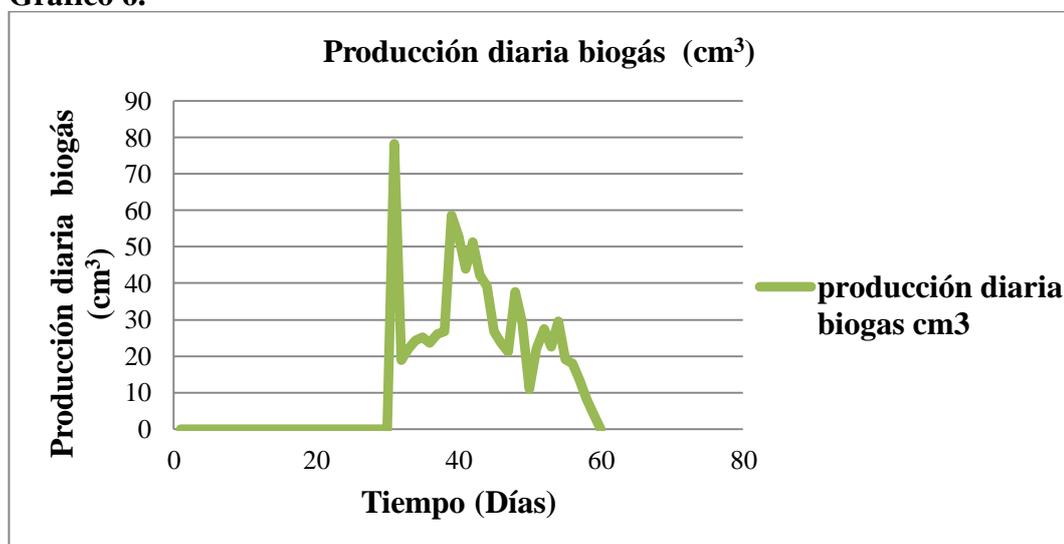
$$S^2 = 277,84$$

c. Desviación estándar

$$S = \sqrt{S^2}$$

$$S = 16,67$$

Gráfico 6.



Elaborado por: El Autor

Interpretación: En el grafico 6 se muestra el valor promedio de la producción diaria de biogás fue de $28,22 \text{ cm}^3$, con una desviación estándar de $16,67$ y una varianza de $277,84$. Nos indica un rango máximo de $78,31 \text{ cm}^3$, observado a los 30 días y un rango mínimo de $4,04 \text{ cm}^3$ al momento en que las bacterias metanogénicas finalizaban la fermentación.

7. DISCUSIÓN

7.1. Caracterización de la materia orgánica que se produce en la Comunidad Zapallo.

El método utilizado para la caracterización de la materia orgánica fue el método de cuarteo, determinándose que el 82% corresponde a materia orgánica (60,70 Kg) y 18% de materia inorgánica (13,32 Kg), para toda la Comunidad; la materia orgánica estaba constituida principalmente por cáscara de plátanos, yuca, frutas de la zona, tubérculos y de legumbres.

La producción per-cápita de residuos sólidos urbanos de la comunidad Zapallo es de 0,22 kg/hab/día; es superior a la producción per-cápita de la ciudad de Tena que tiene un valor de 0,80 kg/hab/día, entre residuos orgánicos e inorgánicos. Debido a que mientras el estrato social económicamente, es más bajo la producción de desechos orgánicos se incrementan. Según el estudio de manejo integral de desechos sólidos del GAD Municipal de Tena (2014).

7.2. Diseñar el biodigestor para implantar en la Comunidad Zapallo

Para el diseño del biodigestor se tuvo en cuenta lo planteado por (Salvatierra Carlos, 2012), el cual manifiesta que los tipos de biodigestores se clasifican según su función, carga de materia orgánica y sus diferentes ventajas y desventajas. En la presente investigación, para el diseño y la construcción del biodigestor, se consideró el tipo y cantidad de materia orgánica, vida útil del biodigestor, requerimientos del área, costos, operación y mantenimiento.

El biodigestor construido fue de tipo chino con cúpula fija y de ladrillos, la materia orgánica considerada fue de 60,70 Kg, constituye el total generado por la Comunidad, la vida útil del biodigestor de acuerdo al material utilizado y sus dimensiones es de 20 años, el área designada es de 16 m² para la construcción y mantenimiento del biodigestor.

Debido a las condiciones socioeconómicas de la Comunidad seleccionada, el biodigestor tipo chino construido es el de menor presupuesto referencial, su costo ascendió a 865,55 USD. La operación y mantenimiento del biodigestor es sencilla debido a la forma de construcción con piezas desarmables de fácil remoción y segura. La materia prima generada en la comunidad es suficiente para la explotación óptima del biodigestor, pues su capacidad de digestión se calculó de acuerdo a dicha cantidad de materia orgánica.

7.3. Evaluar el funcionamiento del biodigestor y la producción de biogás.

El biodigestor, al ser construido cumpliendo todas las normas técnicas, tuvo un funcionamiento estable durante toda la etapa de biodigestión, lográndose indicadores similares a los obtenidos por otros autores. En nuestra investigación se obtuvo una temperatura promedio de 27,15°C, necesaria para un óptimo funcionamiento de la degradación de la biomasa, resultados similares a los obtenidos por Salamanca Tamayo, JA. (2009), pág. 85, en su tesis, desarrollada en Quito, aunque la máxima y mínima obtenida por él, fue algo más dispersa, motivado por las propias condiciones del lugar.

El pH alcanzado en el proceso de biodigestión fue de 6,48 por día, el cual estuvo en niveles promedio para una adecuada fermentación, estando en un rango similar al obtenido por (Salamanca, pág. 88), en la investigación mencionada, en el momento de mayor estabilidad, en su caso hubo altas y bajas en el PH, causadas por las interrupciones continuas en el proceso para alimentar al digestor, mientras que en nuestro caso fue muy estable el proceso.

La cantidad de gas obtenida como promedio fue de 28,22cm³, destinado al uso doméstico, en especial para la cocción de alimentos de una familia de la Comunidad seleccionada, estando en correspondencia con lo planteado por (Cadavid & Castells, 2012, pág. 755), donde define; “Los principales usos del biogás producido por la digestión anaerobia son: generar energía térmica, generar energía eléctrica, generar biocombustibles, gases de combustibles, con fines domésticos o industriales, se utiliza para cocción, iluminación, calefacción, refrigeración”.

8. CONCLUSIONES

Al finalizar el presente estudio de investigación se concluye lo siguiente:

- Se determinó que la comunidad Zapallo produce 60,70 Kg de materia orgánica, información básica para el diseño del biodigestor.
- Se diseñó y construyó un biodigestor considerando los aspectos: tipo chino, cantidad de materia orgánica 60,70 Kg disponible, vida útil del biodigestor 20 años, un área de 4 x 3 m, costos 865,55 USD, operación y mantenimiento anual.
- El biodigestor diseñado y construido tipo chino de domo fijo, funciona con materia orgánica; con una capacidad de retención de 30 días, siendo la relación entre agua y materia orgánica disponible de 1:1, con un volumen de 3,64 m³, capacidad que abastece con biogás a una familia de 5 personas.
- Analizado los respectivos cálculos del funcionamiento del biodigestor se obtuvo un promedio de 28,22 cm³ de biogás a partir de los restos de materia orgánica producidos por las familias de la comunidad Zapallo de la Parroquia Talag, Cantón Tena, Provincia de Napo.

9. RECOMENDACIONES

- Difundir los resultados de ésta investigación en otras comunidades rurales similares a la comunidad zapallo, con el fin de aprovechar los residuos orgánicos como fuente de energía alternativa.
- Implementar un sistema de recolección y selección de residuos sólidos en las comunidades, aprovechándolos en procesos biotecnológicos, con el fin de evitar la contaminación del suelo, agua, pues existen condiciones óptimas para implementar biodigestores.
- Divulgar la tecnología de los biodigestores, como una alternativa sencilla y económica para suplantar el uso de combustibles no renovables en la cocción de alimentos y otros beneficios ambientales.
- Capacitar a la familia beneficiaria para un uso racional y sistemático del biodigestor y socializar la experiencia con otras familias de comunidades cercanas.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Avedoy, V. G. (2006). *Diagnòsticos Bàsico para la Gestìon Integral de Residuos* (Primera ed.). Mèxico.
- Bridgewater, A., & Bridgewater, G. (2009). *Energias alternativas* (Primera ed.). Madrid, España.
- Bureau Veritas Formacion. (2008). *Mnual para la formacion en Medio Ambiente*. España, España: Lex Nova S.A.
- Cabildo Miranda, M. (2010). *Reciclado y tratamiento de residuos*. Madrid, Madrid.
- Cadavid, C. F., & Castells, X. E. (2012). *Tratamiento termico de gases*. (2. Dias de Santos Albasanz, Ed.) Madrid, Madrid.
- Campos Gomes, I. (2006). *Saneamiento Ambiental*. Costa Rica, Costa Rica: Universidad Estatal Adistancia.
- Campos, E., Elias , X., & Flotats, X. (2012). *Procesos Biologicos: La digestion anaerobia y el compostaje*. Madrid, Madrid: Ediciones Dias de Santos Albasanz, 2.
- Campos, E., Elias , X., & Flotats, X. (2012). *Procesos biologicos: La digestion anaerobia y el compostaje*. Madrid, Madrid: Ediciones Dias de Santos Albasanz, 2.
- Carlos Salvatierra. (2 de julio de 2012). *Biodigestores*. Recuperado el 25 de 11 de 2014, de Biodigestores una alternativa tecnologica para el futuro: <http://bio-digestores.blogspot.com/2012/06/tipos-de-biodigestores.html>
- Castells, X. (2012). *Biomasa y Bioenergia* (Segunda ed.). Madrid, Madrid: Copyright.
- Elena Campos, Elias, X., & Flotats, X. (2012). *Procesos biologicos: La digestion anaerobia y el compostaje*. Madrid, Madrid: Ediciones Dias de Santos Albasanz, 2.
- GAD Municipal de Tena. (2014). *Gestion Integral de los Desechos Solidos* . Tena.
- Glynn , H. (2005). *Ingenieria Ambiental*. Mexico, Mexico: Prentice Hall.

- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Tena. (2011). *Plan de Ordenamiento Territorial*. Tena.
- Gòmes, I. C. (2005). *Saneamiento Ambiental* (Primera ed.). Costa Rica.
- Instituto Nacional de Metereologia e Hidrologia. (2014). Quito.
- Marti Herrero, J. (2008). *Biodigestores familiares: Guia de diseño y manual y manual de instalacion* (2008 ed.). Bolivia: GTZ- Energia.
- Marti Ortega, N. (2006). *Phosphorus Precipitation in anaerobic Digestion Process*. Florida USA, Floridad USA: Copiright.
- Martìnes, P. R. (2010). *Energia Solar Termica Tècnicas para su aprovechamiento* (Primera ed.). España.
- Mendoza Roca, J. A., Montañes Sanjuan, M. T., & Palomares Gimeno, A. E. (2006). *Ciencia y Tecnologia del Medio Ambiente*. Valencia.
- Mujal Rosas, R. (2007). *Tecnologia Electrica*. Barcelona, Barcelona: Copisteria Miracle S.A.
- Perez Espejo, R. (2006). *Grajas porcinas y Medio Ambiente*. (Plaza, & Valdes, Edits.) Mexico, Mexico: Secretaria de medio ambiente y recursos naturales.
- Red Ecuatoriana de Consultores Ambientales Independientes. (2005). *Diccionario Ambiental*. Quito.
- Rossello Portmann, M. F. (2008). *Medio ambiente y salud*. Guatemala, Guatemala.
- Salvatierra Carlos. (2 de Julio de 2012). *Biodigestores*. Recuperado el 25 de Noviembre de 2014, de Biodigestores una alternativa tecnologica para el futuro: <http://bio-digestores.blogspot.com/2012/06/tipos-de-biodigestores.html>
- Sardon, J. M. (2006). *Energias Renovables para el Desarrollo*.
- Secretaria Nacional de Palmificaciòn y Pesarrollo. (2013-2017). *Plan Nacional para el Buen Vivir* (Primera Edicion ed.). Quito-Ecuador.
- Seoanez Calvo, M. (2007). *Tratado de Gestion del Medio Ambiente Urbano*. Madrid, España.
- Tolosana, E. (2009). *Manual tecnico para el aprovechamiento y elaboracion de biomasa Forestal* (2009 ed.). Madrid, Madrid: FUCOVASA Y Mundi Prensa.

11. ANEXOS

Anexo 1. Acta de autorización.

Comunidad Zapallo, 08 de Enero del 2014

En la Comunidad Zapallo, Parroquia Talag, Cantón Tena, Provincia de Napo, se realizó la respectiva reunión para dar a conocer a los habitantes de dicha comunidad sobre la realización del trabajo de investigación, por parte del estudiante **SALAZAR AMORES STIBEN ANDRES**, portador de la cedula de identidad No. 1500873391 de la Universidad Nacional de Loja, de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, donde se comprometen todos los propietarios de las viviendas en colaborar de manera desinteresada con cualquier tipo de información y recurso que necesite para poder realizar el presente trabajo de investigación.

Acta de autorización que queda en constancia y adjunto las respectivas firmas de cada uno de los habitantes de la comunidad Zapallo.

Atentamente,

Sr. Luis Pablo Andy Cerda

PRESIDENTE

Sr. Stiben Andrés Salazar Amores

ESTUDIANTE

Anexo 2. Formato para muestreo de materia orgánica.

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA PLAN DE CONTINGENCIA INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE MATRIZ PARA EL MUESTREO DE MATERIA ORGÁNICA</p>				
RESPONSABLE:				
LUGAR DE MUESTREO:				
FECHA DE MUESTREO:				
VIVIENDA	FAMILIA	Nº ADULTOS	Nº NIÑOS	PESO DE MATERIA ORGÁNICA EN (Kg)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
TOTAL				
OBSERVACIONES				
FIRMA DEL RESPONSABLE				

Elaborado por: El Autor

Anexo 3. Fotografías de visita a la comunidad Zapallo.

Foto 6.



Comunidad Zapallo.

Foto 7.



Reunión con los habitantes de la comunidad Zapallo.

Anexo 4. Caracterización de la materia orgánica.

Foto 8.



Retiro de la materia orgánica.

Foto 9.



Pesaje de la materia orgánica.

Foto 10.



Preparado para el método de cuarteo.

Foto 11.



Método de cuarteo.

Anexo 5. Matriz de parámetros de cálculos del biodigestor.

 UNIVERSIDA NACIONAL DE LOJA PLAN DE CONTINGENCIA INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE MATRIZ DE PARAMETROS DE CÁLCULOS DEL BIODIGESTOR			
NÚMERO	PARÁMETROS O CARACTERISTICAS	CANTIDAD	UNIDAD
TOTAL			

Elaborado por: El Autor

Anexo 6. Matriz para la toma de muestra del biogás.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA PLAN DE CONTINGENCIA INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE MATRIZ PARA LA TOMA DE MUESTRA DEL BIOGÁS RESPONSABLE: Stiben Andrés Salazar Amores LUGAR DE MUESTREO: Comunidad Zapallo FECHA DE MUESTREO: Dos Meses						
Fecha	Día	Cantidad de Carga	Temperatura (° c)	Presión (cm)	pH	Prod. diaria de biogás (cm ³)
02/07/2014	1	60.70 Kg	25	0	6	-
03/07/2014	2		26	12	6	-
04/07/2014	3		30	25	7	-
05/07/2014	4		26	15	7	-
06/07/2014	5		24	21	6	-
07/07/2014	6		26	12	7	-
08/07/1014	7		22	12	7	-
09/07/2014	8		23	10	7	-
10/07/2014	9		29	13	6	-
11/07/2014	10		32	14	6	-
12/07/2014	11		31	23	7	-
13/07/2014	12		24	22	7	-
14/07/2014	13		25	12	6	-
15/07/2014	14		30	21	6	-
16/07/2014	15		24	16	6	-
17/07/2014	16		27	12	6	-
18/07/2014	17		29	14	6	-
19/07/2014	18		31	14	7	-
20/07/2014	19		25	15	7	-
21/07/2014	20		29	13	6	-
22/07/2014	21		25	15	6	-
23/07/2014	22		29	12	7	-
24/07/2014	23		24	12	6	-
25/07/2014	24		28	15	7	-
26/07/2014	25		30	14	7	-
27/07/2014	26		29	12	7	-
28/07/2014	27		30	13	7	-
29/07/2014	28		32	16	6	-
30/07/2014	29		28	15	6	-
31/07/2014	30		25	18	7	-
01/08/2014	31		29	14	6	78,31

Continúa...

Continuación...

Fecha	Día	Cantidad de carga	Temperatura (° C)	Presión (cm)	pH	Prod. diaria de biogás (cm ³)
02/08/2014	32		31	14	7	18,84
03/08/2014	33		25	15	7	21,97
04/08/2014	34		29	13	6	24,33
05/08/2014	35		25	15	6	25,11
06/08/2014	36		29	12	7	23,55
07/08/2014	37		24	12	6	26,11
08/08/2014	38		28	15	7	26,68
09/08/2014	39		30	14	7	58,73
10/08/2014	40		29	12	7	52,93
11/08/2014	41		30	13	7	43,95
12/08/2014	42		32	10	6	51,35
13/08/2014	43		28	15	6	42,24
14/08/2014	44		25	13	7	39,26
15/08/2014	45		25	11	6	26,68
16/08/2014	46		27	8	6	23,55
17/08/2014	47		24	12	7	21,20
18/08/2014	48		26	16	7	37,68
19/08/2014	49		30	14	7	29,04
20/08/2014	50		25	15	6	10,97
21/08/2014	51		26	19	6	21,97
22/08/2014	52		28	20	7	27,48
23/08/2014	53		24	18	7	22,60
24/08/2014	54		24	18	6	29,60
25/08/2014	55		26	18	6	19,04
26/08/2014	56		30	14	7	18,04
27/08/2014	57		26	10	6	13,43
28/08/2014	58		25	8	6	8,12
29/08/2014	59		26	6	6	4,04
30/08/2014	60		25	0	6	0

Elaborado por: El Autor

Anexo 7. Construcción del biodigestor.

Foto 12.



Excavación de la zanja.

Foto 13.



Excavación de los tanques de carga y descarga.

Foto 14.



Ladrillado de la cámara de digestión.

Foto 15.



Colocación de la tubería de carga y descarga.

Foto 16.



Construcción del gasómetro.

Foto 17.



Preparado de la mescla.

Foto 18.



Colocación de los pernos.

Foto 19.



Preparado de la materia orgánica para la carga del biodigestor.

Foto 20.



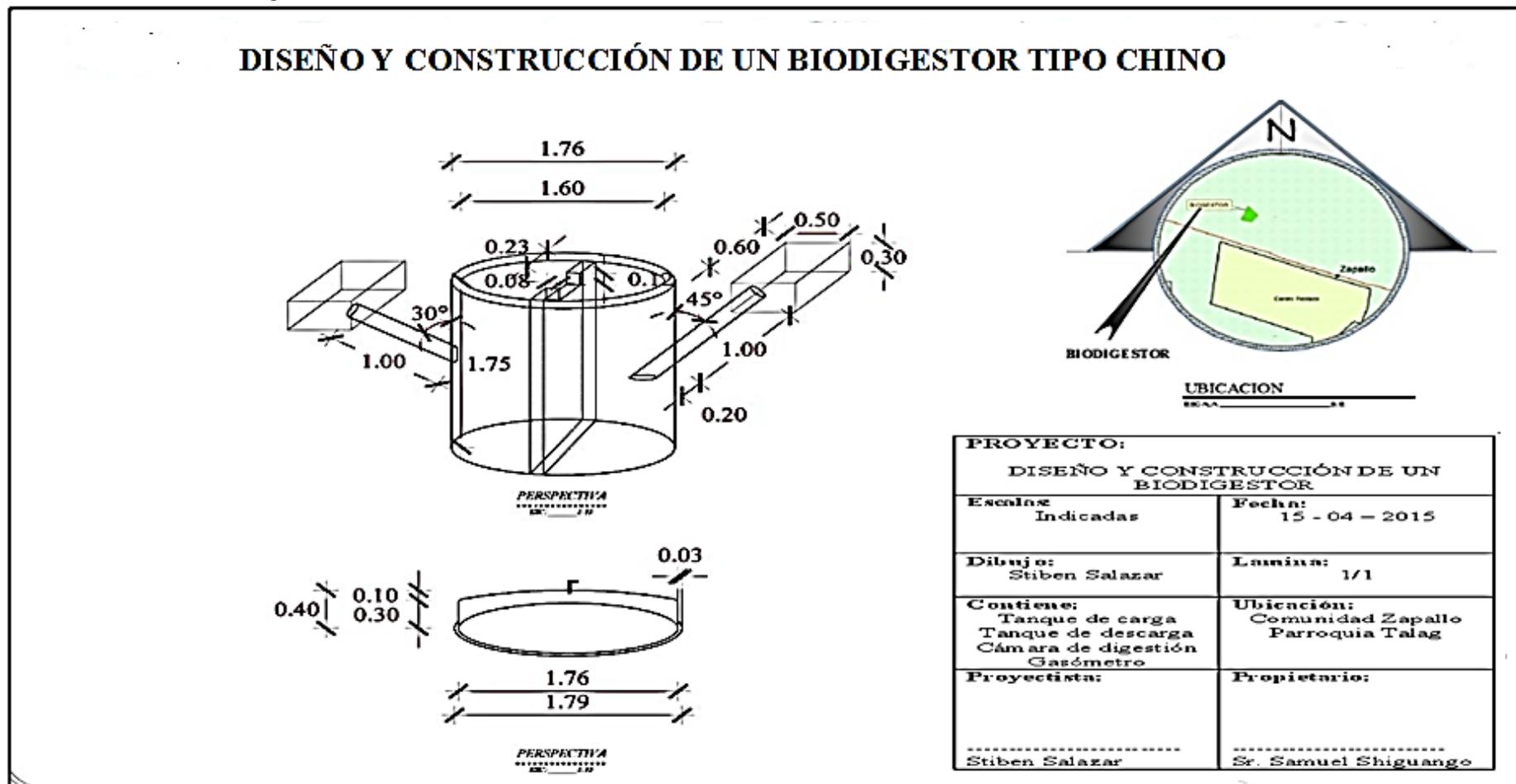
Biodigestor tipo chino con domo fijo.

Foto 21.



Funcionamiento del biodigestor.

Anexo 8. Plano del biodigestor



Elaborado por: El Autor

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	II
AUTORÍA	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
CARTA DE AUTORIZACIÓN.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
1. TÍTULO.....	1
2. RESUMEN	2
ABSTRACT	3
3. INTRODUCCIÓN.....	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
4.1. Residuo.....	6
4.1.1. Clasificación de los residuos.....	6
4.1.2. Daños que causan el manejo inadecuado de los residuos.....	7
4.1.3. Efectos de los residuos en la salud.....	8
4.2. Biomasa.....	9
4.2.1. Energía de la biomasa.....	9
4.2.2. Clasificación de la biomasa.....	9
4.2.3. Procesos de biomasa.....	10
4.2.4. Ventajas y desventajas de la biomasa.....	11
4.3. Digestión anaerobia.....	11
4.3.1. Procesos de la digestión anaerobia.....	12
4.3.2. Microorganismos que intervienen en el proceso de digestión anaerobia. ...	12
4.3.3. Factores que afectan la digestión anaerobia.....	13
4.3.4. Ventajas y Desventajas de la digestión anaerobia.....	14
4.4. Biogás.....	14
4.4.1. Composición del biogás.....	15
4.4.2. Usos del biogás.....	15
4.4.3. Ventajas y Desventajas del biogás.....	16
4.5. Biodigestores.....	17
4.5.1. Tipos de biodigestores.....	17
4.5.2. Ventajas y desventajas de los biodigestores.....	21
4.6. Marco legal.....	22
4.6.1. Constitución de la República del Ecuador, Oficial No. 449 del 20 de Octubre del 2008.....	22
4.6.2. Plan Nacional Del Buen Vivir (objetivo 7).....	29
4.7. Marco conceptual.....	31

5.	MATERIALES Y MÉTODOS	34
5.1.	Materiales.	34
5.1.1.	Equipos	34
5.1.2.	Herramientas	34
5.1.3.	Materiales	34
5.1.4.	Insumos.....	35
5.2.	Métodos.	35
5.2.1.	Ubicación del área de estudio.	35
5.2.2.	Ubicación Política.	37
5.2.3.	Ubicación geográfica.....	38
5.3.	Aspectos biofísicos y climáticos.	39
5.3.1.	Aspectos biofísicos.....	39
5.3.2.	Aspectos climáticos.....	41
5.4.	Tipo de investigación	43
5.5.	Caracterización de la materia orgánica que se produce en la Comunidad Zapallo.....	44
5.5.1.	Gestión para el desarrollo de la investigación.	44
5.5.2.	Determinación del área de estudio e implementación del biodigestor.....	44
5.5.3.	Elaboración de un formato para la recolección de información de muestreo:	44
5.5.4.	Muestreo de desechos orgánicos.....	45
5.5.5.	Caracterización de la materia orgánica.....	45
5.5.6.	Análisis estadístico.....	46
5.6.	Diseñar el biodigestor para implantar en la Comunidad Zapallo.....	48
5.6.1.	Selección del diseño.	48
5.6.2.	Parámetros del diseño.....	49
5.6.3.	Selección del sitio.	50
5.6.4.	Memorias de cálculos del biodigestor.	51
5.7.	Evaluar el funcionamiento del biodigestor y la producción de biogás.	58
5.7.1.	Parámetros para evaluar el funcionamiento del biodigestor.....	59
5.7.2.	Parámetros para evaluar la producción de biogás.....	60
6.	RESULTADOS.....	62
6.1.	Caracterización de la materia orgánica que se produce en la Comunidad Zapallo.....	62
6.2.	Diseñar el biodigestor para implantar en la Comunidad Zapallo.	65
6.2.1.	Excavación de la zanja	66
6.2.2.	Colocación de la tubería de carga y descarga	67
6.2.3.	Construcción de la cámara de digestión	67
6.2.4.	Construcción del Gasómetro.....	69
6.2.5.	Construcción de los tanques de carga y descarga	70
6.2.6.	Costo de construcción.	72
6.3.	Evaluar el funcionamiento del biodigestor y la producción de biogás.	73
6.3.1.	Cálculo de temperatura.....	74

6.3.2. Cálculo de presión.....	75
6.3.3. Cálculo de pH	77
6.3.4. Cálculo de la producción diaria de biogás.....	78
7. DISCUSIÓN	81
7.1. Caracterización de la materia orgánica que se produce en la Comunidad Zapallo.....	81
7.2. Diseñar el biodigestor para implantar en la Comunidad Zapallo	81
7.3. Evaluar el funcionamiento del biodigestor y la producción de biogás.	82
8. CONCLUSIONES	83
9. RECOMENDACIONES	84
10. BIBLIOGRAFÍA.....	85
11. ANEXOS.....	87
ÍNDICE DE CONTENIDO	101