



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SANITARIO DOMÉSTICO
(SSD) CON RECUPERACIÓN DE ENERGÍA**

Trabajo de Titulación presentado en conformidad a los requisitos
establecidos para optar por el título de
Ingeniera Ambiental en Prevención y Remediación

Profesor Guía
Ing. Milton Vicente Balseca Granja

Autora
María Verónica Córdova Cornejo

Año
2013

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con la estudiante, orientando sus conocimientos para un adecuado desarrollo del tema escogido, y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

Milton Vicente Balseca Granja

Ingeniero

C.I.: 060128924-2

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”.

María Verónica Córdova Cornejo

C.I.: 1721302022-

AGRADECIMIENTO

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional, a las que agradezco su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mi vida, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

Además agradezco a las personas que formaron parte de este proyecto, tanto en el proceso de investigación como de construcción.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a mis padres y mi hermano, ya que gracias a su apoyo incondicional durante todo este proceso, he podido alcanzar esta meta de mi vida.

RESUMEN

El crecimiento poblacional y su establecimiento desordenado en el territorio, ha conllevado al deterioro acelerado del medio ambiente. Una de las principales fuentes de contaminación son las descargas de aguas residuales domésticas en cuerpos de agua. Esto se debe a que no se cuenta con un adecuado sistema de saneamiento principalmente en la zona rural.

Por lo antes mencionado, este trabajo plantea una alternativa para solucionar el déficit de un sistema adecuado de aguas residuales domésticas, así como el aprovechamiento de los desechos, generando bioabono y biogás.

Se presenta los resultados de una investigación del proceso de biodigestión anaeróbica, basándose en el diseño y construcción de un baño el cual va conectado a un biodigestor, ubicado en la Hacienda Atalaya, en la parroquia Malimpia, Provincia de Esmeraldas.

La metodología de la construcción del baño, se basó en el análisis de diferentes diseños de baños ecológicos y una vez identificadas las características de cada diseño y tomando en cuenta las necesidades y condiciones del lugar de la implementación, se optó por un sistema de inodoro convencional, cuya carga se lo hace de un reservorio de agua lluvia.

En lo referente al sistema de digestión anaeróbica, se analizó las fases del proceso de digestión y los parámetros que intervienen en esta, de manera que este proceso ocurra sin alteraciones en el producto. Además se realizó un análisis comparativo de tres modelos de biodigestores, tomando como mejor alternativa el biodigestor tubular, cuya construcción se basó en los parámetros operacionales del modelo y las condiciones del lugar de instalación.

Además de dar solución a la problemática ambiental, se tiene como resultado dos productos que al ser aprovechados por la comunidad, representan una

disminución de gastos en lo referente al uso de gas doméstico y al uso de fertilizante para sus cultivos, haciendo de este proyecto un sistema eficaz y eficiente.

ABSTRACT

Population growth and its establishment in the territory, has led to the rapid deterioration of the environment. One of the main sources of pollution is domestic wastewater discharges into water bodies. This is because they do not have an adequate sanitation system of discharge and treatment of this type of waste, mainly in rural areas.

As mentioned above, this project proposes an alternative to solve the shortage of an adequate system of domestic sewage and make use of the wastewater, generating biofertilizer and biogas.

This presents the results of an investigation of anaerobic bio-digestion process as well as the different designs of composting toilets, starting with the design and construction of a bathroom which is connected to a digester, located in the Hacienda Atalaya, parroquia Malimpia, Esmeraldas.

The construction methodology of the bathroom, was based on the analysis of different designs of composting toilets and once identified the characteristics of each design and taking into account the needs and site conditions of implementation, we chose a conventional toilet system, using rainwater for filling.

In relation to the anaerobic digestion system, was analyzed phases of the digestion process and the parameters involved in this. This paper also carried out a comparative analysis of three models of digesters, on the best alternative the tubular digester, whose construction was based on operational parameters of the model and the conditions of the installation site.

In addition to resolving the environmental problems, have resulted in two products to be used by the community, representing a decrease in expenses in relation to domestic gas use and the use of fertilizer for their crops, making this project an effective and efficient system.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
1 CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	9
1.1 DIGESTIÓN ANAERÓBICA	9
1.2 PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA	9
1.2.1 Factores Determinantes de la Digestión	12
1.2.1.1 Tipo de Sustrato.....	12
1.2.1.2 Microorganismos.....	13
1.2.1.3 Nutrientes.....	14
1.2.1.4 Ph y Alcalinidad.....	14
1.2.1.5 Temperatura.....	15
1.2.1.6 Toxicidad.....	16
1.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA	18
1.3.1 Ventajas.....	18
1.3.2 Desventajas.....	18
1.4 PRODUCTOS DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA	19
1.4.1 Biogás.....	19
1.4.1.1 Parámetros en la producción de Biogás	20
1.4.1.2 Propiedades Energéticas del Biogás	21
1.4.1.3 Usos del Biogás	22
1.4.2 Bioabono.....	24
1.4.2.1 Aplicaciones del Bioabono	24
1.4.2.2 Restricciones de Uso	25
2 CAPÍTULO II: DISEÑO EXPERIMENTAL	27
2.1 BIODIGESTORES.....	27
2.1.1 Biodigestor de Domo Flotante	28
2.1.2 Biodigestor de Domo Fijo.....	29
2.1.3 Biodigestor de Estructura Flexible	30
2.2 CRITERIOS COMPARATIVOS DE LOS TIPOS DE BIODIGESTORES.....	31
2.3 MODELO DE SELECCIÓN DEL TIPO DE BIODIGESTOR	33
2.4 PARÁMETROS DE DISEÑO DEL BIODIGESTOR.....	36
2.4.1 Tiempo de Retención.....	37
2.4.2 Estiércol Disponible	38
2.4.3 Carga Orgánica de Entrada	39
2.4.4 Agitación	39
2.4.5 Volumen Total del Biodigestor	40
2.4.5.1 Volumen Líquido	40
2.4.5.2 Volumen Gaseoso.....	40
2.5 PRODUCCIÓN DE BIOGÁS	40

3	CAPÍTULO III: DISEÑO DE PROTOTIPO	42
3.1	ANÁLISIS DEL LUGAR DE IMPLEMENTACIÓN	42
3.2	ESQUEMA DEL DIAGRAMA DE PROCESO	46
3.3	CÁLCULOS DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DEL BIODIGESTOR.....	47
3.3.1	Carga Diaria.....	47
3.3.2	Tiempo de Retención.....	48
3.3.3	Volumen Líquido	49
3.3.4	Volumen Gaseoso	49
3.3.5	Volumen Total.....	49
3.3.6	Producción de Biogás	49
3.3.7	Producción de Biol	52
3.4	DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR	52
3.4.1	Longitud del Biodigestor	53
3.4.2	Relación Óptima entre longitud y diámetro del biodigestor	54
3.4.3	Dimensionamiento de la Zanja.....	55
3.5	PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN	55
3.5.1	Construcción e Instalación del Baño.....	55
3.5.1.1	Sistema de recolección de agua lluvia	58
3.5.1.2	Instalación del Inodoro	60
3.5.2	Construcción e Instalación del Biodigestor	62
3.5.2.1	Construcción del Biodigestor.....	62
3.5.2.2	Instalación del Biodigestor	66
3.5.3	Instalación Sistema de Conducción de Biogás	68
3.5.3.1	Almacenamiento de Biogás.....	71
3.6	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	73
3.6.1	Arranque del Sistema	73
3.6.1.1	Monitoreo de Temperatura.....	75
3.6.1.2	Verificación de la Producción de Biogás	75
3.6.2	Mantenimiento del Sistema.....	75
4	CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS	78
4.1	REGISTRO DE TEMPERATURA.....	78
4.2	ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS	78
4.3	ANÁLISIS DEL BIOABONO	81
4.4	EFICIENCIA DEL SISTEMA.....	85
5	CAPÍTULO V: ANÁLISIS COSTO/BENEFICIO	87
5.1	OBJETIVO DE LA ESTRUCTURA	87
5.2	OBJETIVO FINANCIERO.....	87
5.3	INVERSIÓN TOTAL	87

6	CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
6.1	CONCLUSIONES	93
6.2	RECOMENDACIONES	96
	Referencias	98
	Anexos	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Composición del estiércol de diversos animales (4 por ciento de materia seca) y agua residual bruta.	13
Tabla 2.	Relación carbono/nitrógeno para diferentes tipo de biomasa.....	14
Tabla 3.	Concentración de inhibición para varios iones	17
Tabla 4.	Efectos de los componentes del biogás	20
Tabla 5.	Rangos de parámetros presentes en las etapas de degradación.....	20
Tabla 6.	Equivalencias energéticas del biogás.....	21
Tabla 7.	Principales artefactos que utilizan biogás.....	23
Tabla 8.	Criterios comparativos de los diferentes tipos de biodigestores	32
Tabla 9.	Jerarquización de cada atributo	34
Tabla 10.	Valoración de importancia y evaluación de alternativas	34
Tabla 11.	Pesos de atributos ponderados	35
Tabla 12.	Relación del tiempo de retención y la temperatura.....	38
Tabla 13.	Producción de estiércol según el tipo de animal	38
Tabla 14.	Producción de biogás según el tipo de estiércol.	41
Tabla 15.	Parámetros según el ancho del rollo	53
Tabla 16.	Longitud del biodigestor	54
Tabla 17.	Relación óptima entre longitud y diámetro del biodigestor	54
Tabla 18.	Dimensionamiento de la zanja	55
Tabla 19.	Biodigestor tubular Hacienda Atalaya.....	63
Tabla 20.	Dimensionamiento del reservorio de biogás.....	72
Tabla 21.	Recomendaciones de fertilizante para palma.....	82
Tabla 22.	Resultados de análisis del biol	83
Tabla 23.	Análisis comparativo del sistema sanitario domesticó.....	86
Tabla 24.	Materiales y presupuesto para la construcción	88
Tabla 25.	Costo de mano de obra.	89
Tabla 26.	Mano de obra para construcción y mantenimiento.....	89
Tabla 27.	Producción mensual de biogás	90

Tabla 28. Resumen del flujo de fondo del proyecto	91
Tabla 29. Indicadores financieros.....	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema Indio o de dos pozos	3
Figura 2. Modelo Sanitario Ecológico “materia fecal”	3
Figura 3. Sistema “todo en uno”	4
Figura 4. Sistema “Otji”	5
Figura 5. Proceso de Acetogénesis.....	11
Figura 6. Proceso de Metanogénesis.....	12
Figura 7. Relación alcalinidad – CO ₂	15
Figura 8. Relación del crecimiento bacteriano y la temperatura.....	16
Figura 9. Usos del biogás.....	22
Figura 10. Aprovechamiento de un m ³ de biogás.....	24
Figura 11. Elementos básico de un biodigestor.....	28
Figura 12. Biodigestor indio o de domo flotante	29
Figura 13. Biodigestor chino o de domo flotante	30
Figura 14. Biodigestor tubular	31
Figura 15. Pesos de atributos ponderados.....	36
Figura 16. Ubicación Hacienda Atalaya	42
Figura 17. Temperatura de la zona de análisis	43
Figura 18. Precipitación de la zona de análisis	44
Figura 19. Heliofanía de la zona de análisis.....	45
Figura 20. Esquema del diagrama del proceso	46
Figura 21. Proceso de construcción del baño	56
Figura 22. Proceso de instalación del baño	57
Figura 23. Proceso de instalación de sistema de agua lluvia.....	60
Figura 24. Proceso de instalación del inodoro.....	61
Figura 25. Proceso de construcción de la manga del biodigestor	64
Figura 26. Salida de biogás.....	65
Figura 27. Tubos de entrada y salida del biodigestor.....	66
Figura 28. Instalación del biodigestor.....	68
Figura 29. Válvula de seguridad.....	70
Figura 30. Instalación de la conducción de biogás.....	71

Figura 31. Reservorio de biogás	73
Figura 32. Llenado del biodigestor	74
Figura 33. Techado del biodigestor	74
Figura 34. Biodigestor al día 30.....	79
Figura 35. Producción de biogás.....	81

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

La contaminación del agua es una realidad que se evidencia actualmente a nivel mundial. Una de las principales fuentes de contaminación son las descargas de aguas residuales domésticas en cuerpos de agua. Este tipo de contaminación se da debido a que las comunidades no cuentan con un adecuado sistema de descarga y/o tratamiento de este tipo de desecho.

En el estudio “Análisis de la situación del sistema de depuración de agua residual de los municipios de León, España con menos de 20.000 habitantes”, de la Universidad de León, España (Ansola, 2008), se determinó la cantidad de agua utilizada por los sistemas de evacuación de los servicios sanitarios (inodoros, ducha, lavadoras, entre otros); obteniendo los siguientes datos de consumo de agua para tres distintos países:

- Estados Unidos, 600 litros por persona/día
- Etiopía, medio litro por persona/día
- España, 180 litros por persona/día

De acuerdo al cálculo de Hoekstra, la huella hídrica per cápita de Ecuador es de 1.218 m³ por habitante al año, muy próximo al promedio mundial que se ubica en 1.243 m³. (Ortega, 2012)

Con el fin de mejorar la gestión de servicios básicos de saneamiento, se han implementado algunos sistemas sanitarios domésticos, cuya base es la instalación de un sistema de inodoros ecológicos o inodoros secos.

Los sanitarios ecológicos se basan en un sistema que no utiliza agua o trata de utilizarla en cantidades mínimas. En cada país se los construye de maneras diferente adaptándose a las condiciones del lugar y a las necesidades de los

usuarios. A pesar de ser diferentes prototipos, todos se basan en el mismo concepto de “Saneamiento Ecológico” o ECOSAN.

Los sistemas ECOSAN permiten la recuperación de nutrientes de las heces y la orina humana en beneficio de la agricultura, contribuyendo a conservar la fertilidad del suelo, asegurar la seguridad alimentaria para las generaciones futuras, reducir al mínimo la contaminación del agua y recuperar la bioenergía. (Rizzardini, s.f., p.8)

Hay varios manuales que sirven de referencia para el Saneamiento Ecológico, algunos de los más mencionados son:

- “A,B y C del Saneamiento Ecológico, manual para cuidar el agua” César Añorve.
- “Sanitario Ecológico Seco. Manual de diseño construcción, uso y mantenimiento” Lourdes Castillo Castillo.
- “The Humanure Handbook” Joseph Jenkins.
- “Saneamiento Ecológico” Steven Esrey.

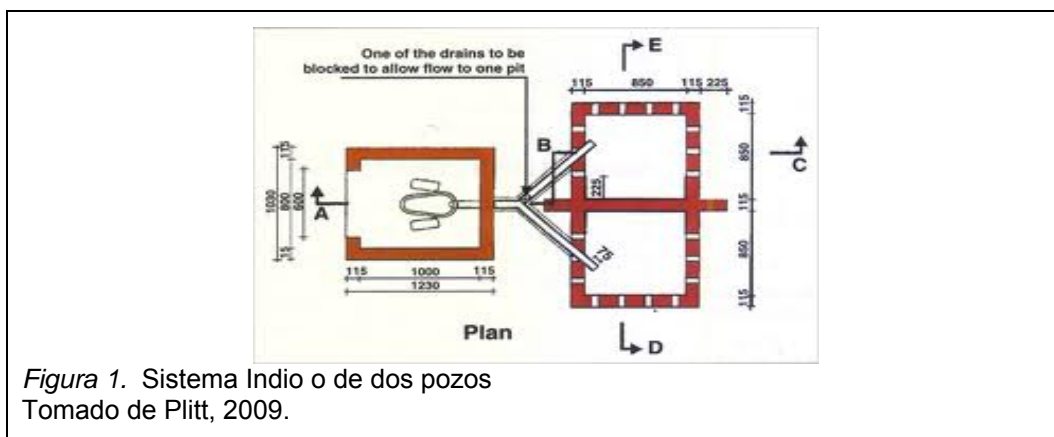
Marco Referencial

A continuación se presentan algunos de los SSD implementados en diferentes países:

- El “sistema indio” o “de dos pozos”

Fue creado por el indio Bindeshwar Pathak, se trata de dos pozos, los cuales no están conectados al sistema de letrinas, cada pozo puede ser usado por una familia durante cinco años, hasta que se llena y se comienza a utilizar el otro. Este sistema utiliza entre 1 litro y 1,5 litros de

agua en cada descarga, al contrario de los 10 litros que consume un inodoro tradicional. Pasados los 30 días, la materia fecal se convierte en compost y luego del tratamiento se lo puede utilizar como abono para jardines o huertos. (Plitt, 2009, parr. 6)



- Sanitarios ecológicos de “materia fecal”

Creado por la estadounidense Virginia Gardiner. Se basa en un artefacto creado con estiércol de caballo que emplea un sistema capaz de deshacerse de los desechos sin requerir de energía ni agua. Es un proceso simple en el que los desechos caen en una bolsa plástica biodegradable y al accionar una palanca pasan a un segundo compartimiento ubicado en la parte inferior. El contenido se retira del dispositivo y se traslada a un digestor anaeróbico que permite transformarlo en gas para cocinar. (Plitt, 2009, parr. 10)



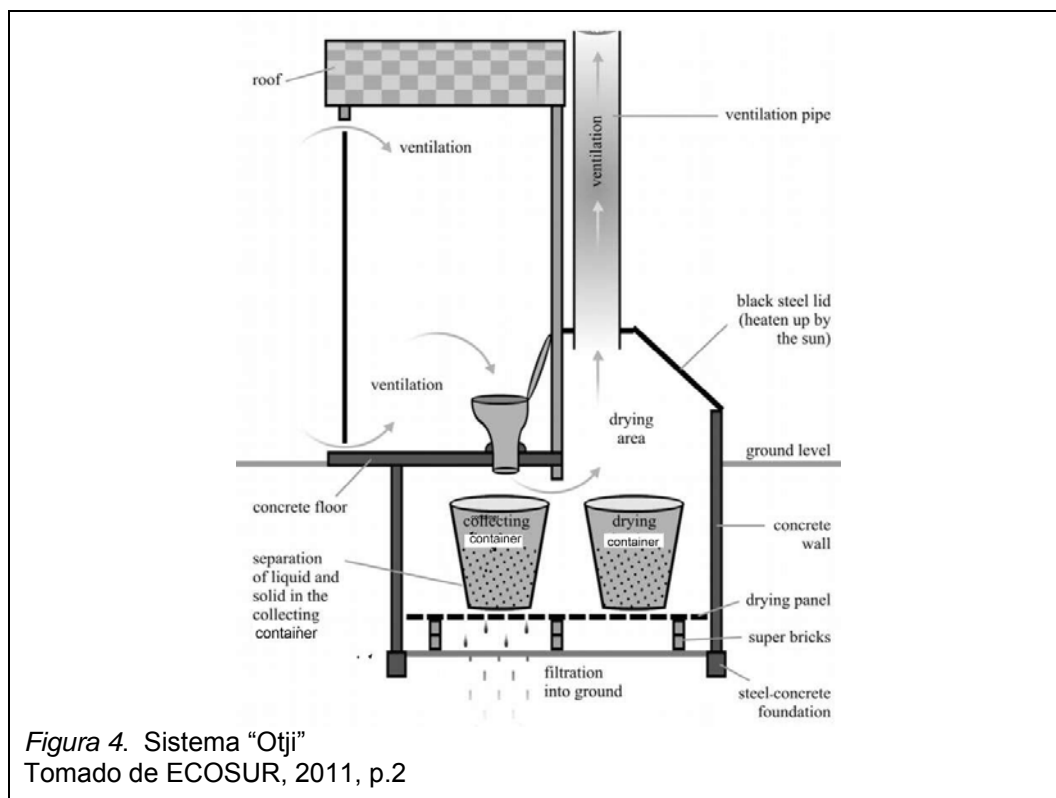
- Sistema “Todo en uno”

Producto creado por la empresa australiana Caroma. Este aparato incorpora el lavamanos al inodoro, entonces el agua que se utiliza de lavamanos pasa al depósito de la taza. Este mecanismo permite ahorrar un 74% de agua. (Plitt, 2009, parr.12)



- Sistema “Otji”

Consta de un cubo perforado debajo del sanitario el cual separa el líquido de lo sólido. Lo sólido permanece en el cubo y el líquido corre a través de la placa de concreto perforada hacia una cámara más baja y se filtra en la tierra. Después de seis meses aproximadamente, el cubo se llenará y tendrá que ser sustituida por un segundo. Este cubo se secará por el calor generado debajo de la tapa de metal del tanque. Seis meses más tarde, el procedimiento se repite: el cubo con el desecho sólido se extrae y el contenido puede ser dispuesto sin peligro alguno, o utilizado como abono natural, tomando en cuenta previamente los análisis físicos – químicos de este producto. (ECOSUR, 2011, p.1)



Descripción de la Situación Actual

Según datos obtenidos del Sistema Nacional de Información (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010), el 77,51% de las viviendas a nivel nacional poseen un adecuado sistema de descarga de aguas residuales, y al analizarlo a nivel rural tan solo el 53,07% cuentan con un adecuado SSD. Con estas cifras es notorio que la gestión debe enfocarse en la zona rural.

Dentro de los proyectos que se han llevado a cabo en el país, se describen los siguientes:

- Sistema separación de Orina

En el año 2010, Peter Arndt, uno de los primeros investigadores acerca de la tecnología del inodoro seco, visitó Ecuador con una idea y un diseño: desarrollar un nuevo tipo de taza de inodoro con separación de líquidos. Junto con los técnicos de EcoSur Ecuador, se construyó el

sistema de taza con separación de orina que se usa ahora en todos los Inodoros Secos construidos por Red EcoSur en todo el mundo. (ECOSUR, 2011, párr. 5)

- Sistema “Otji”, Cantones Guano y Chambo

- Cantón Guano

Se entregó a la Alcaldía del Municipio de Guano y a la Prefectura de la Provincia de Chimborazo, por parte de la Fundación EcoSur, la obra de construcción de 28 inodoros secos en viviendas particulares y una batería de 2 inodoros en las instalaciones deportivas del barrio, que mejoran la higiene, la privacidad y la calidad de vida de sus usuarios. (ECOSUR, 2011, párr. 7)

- Cantón Chambo

Las familias de este cantón se dedican a la producción de ladrillos, la arcilla la extraen de su propio terreno y, al agotarse la capa arcillosa, muchas familias construyen su casa a 4 o 6 metros bajo el nivel original de la tierra. Esto hace que construir un sistema sanitario convencional, con descarga de agua no sea posible, pues no podrían llevarse los residuos hasta el nivel del alcantarillado. En Chambo se construyen 15 inodoros secos en viviendas bajo el nivel del alcantarillado y en comunidades rurales de difícil acceso. (ECOSUR, 2011, párr. 8)

Alcance

El alcance de este trabajo de titulación es la implementación de un sistema sanitario doméstico en el Recinto La Independiente, ubicado la Parroquia Malimpia, perteneciente al Cantón Quinindé en la Provincia de Esmeraldas. Según el último censo de población y vivienda del año 2010 (Sistema Nacional de Información, 2010), el 35,66% de las viviendas de la Parroquia Malimpia

están conectadas a una red pública de alcantarillado, por lo que es evidente la necesidad de mejorar sus sistemas de eliminación de aguas negras.

Justificación

Debido al incremento de instalación de sistemas sanitarios ecológicos, principalmente en aquellos lugares que no cuentan con los servicios básicos de saneamiento, se ha visto la necesidad de mejorar los sistemas implementados, con el fin de que sean más eficientes al momento de su utilización y cumpla con las necesidades así como con las exigencias de los usuarios.

La optimización de los modelos ya existentes traerá consigo múltiples beneficios, los cuales se enmarcan en tres diferentes ejes; a nivel social, económico y ambiental.

- Social

Se tomará en cuenta las condiciones de sanidad que requieren estos sistemas, de manera que la salud de las personas no se vea afectada por no contar con un sistema adecuado de evacuación de excretas.

- Económico

Se enfocará en la utilización de materiales que se encuentren en la zona para su construcción y que su mantenimiento sea de fácil monitoreo, lo que conllevará que los precios sean menores al reducir el costo de transporte y manejo de estos sistemas.

- Ambiental

Lograr un adecuado manejo de las instalaciones, se evitará que cuerpos de agua tanto superficiales como subterráneos se contaminen por la

inadecuada disposición de residuos en estos, además al ser un sistema seco, se reducirá el consumo de agua para funcionamiento de estos. Se plantea la implementación de un sistema de separación de excretas, de tal forma que se puedan aprovechar los nutrientes existentes mediante la obtención de abono o también el utilizarlo como biomasa para la generación de energía, mediante un biodigestor.

OBJETIVOS

Objetivo General

Diseñar un sistema sanitario doméstico con la recuperación de energía, para su implementación en el Recinto Diez de Agosto.

Objetivos Específicos

- Realizar el análisis de las características climáticas del lugar en base a los estudios climatológicos realizados de la zona.
- Diseñar un SSD que se alimente de energía solar, tomando en cuenta las particularidades climáticas de la zona, para que sea de fácil implementación y mantenimiento.
- Realizar los cálculos de eficiencia del sistema, al compararlo con el modelo sistema de inodoros ya implementados, con características similares, una vez que se encuentre en total funcionamiento.

1 CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 DIGESTIÓN ANAERÓBICA

Para el tratamiento de las descargas obtenidas de los inodoros, se ha considerado la instalación de un sistema de digestión anaerobia o también llamados biodigestores, dado su potencial de producción de energía, denominado biogás y de un fertilizante líquido, denominado biol.

Un digestor de desechos orgánicos o biodigestor, es un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos animales y humanos, desechos vegetales, entre otros) en determinada dilución de agua para que se descomponga, produciendo gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio. (Fernández, 2010, p.165)

La implementación de un sistema de producción de biogás de co-digestión es un proceso sencillo y de bajo costo, por lo que se ha considerado como buena opción para comunidades rurales aisladas, de manera que se pueda solventar la problemática energética – ambiental, así como implementar un adecuado manejo de los residuos humanos generados en el sitio. (Fernández, 2010, p.165)

1.2 PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA

El tratamiento anaerobio es un proceso biológico en el que los microorganismos transforman los componentes orgánicos en metano, dióxido de carbono, materia celular y otros compuestos orgánicos. (Corbitt, 2003, p.126)

Durante la digestión anaeróbica transcurren cuatro etapas:

- 1) Hidrólisis, conversión de sólidos orgánicos en suspensión en compuestos solubles.
- 2) Acidogénesis,
- 3) Acetogénesis, conversión de los compuestos orgánicos solubles en ácidos grasos volátiles.
- 4) Metanogénesis, conversión de los ácidos en metano.

Hidrólisis

La etapa hidrolítica puede ser la etapa limitante de la velocidad del proceso global, sobre todo tratando residuos con alto contenido en sólidos. El grado de hidrólisis y la velocidad del proceso dependen de algunos factores como, del pH, temperatura, concentración de biomasa, del tipo de materia orgánica y del tamaño de partícula. (Pérez, 2010, p.30)

Las bacterias de esta etapa rompen las largas cadenas carbonadas de la materia orgánica entrante, en cadenas más cortas y simples liberando hidrógeno y dióxido de carbono. (Arce, 2011, p.54) Una vez realizado este proceso, las bacterias se alimentan de la materia orgánica comenzando así sus labores metabólicas. Este proceso es realizado por bacterias conocidas como acidogénesis o fermentativas. (Salamanca, 2009, p.9)

Acidogénesis

Durante esta etapa se realiza la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos orgánicos como ácido propiónico, ácido butírico, ácido láctico, los cuales son oxidados por las bacterias acetogénicas; además se

obtienen compuestos que pueden ser utilizados directamente por bacterias metanogénicas. (Martí, 2006 p.6)

Acetogénesis

Esta etapa se llevaba cabo mediante acción de microorganismos formadores de ácidos, llamados saprófilos facultativos. Los productos de esta reacción son sales ácidas especialmente acetato, propionatos y butiratos, otros productos que se obtiene son, dióxido de carbono y material celular. La formación del ácido depende de las condiciones de pH y temperatura. En el siguiente esquema se resume los procesos que se producen en esta etapa. (Corbitt, 2003, p.126; Pérez, 2010, p.26; Yáñez, s.f, p.4)

Descarga	+	Microorganismos →	Productos Degradación
Mat. Orgánica		Formadores de ácidos	Sales Ácidas
Carbohidratos		Saprófilos	CO ₂ H ₂ O
Grasas			Microorganismos saprófilos
Proteínas			

Figura 5. Proceso de Acetogénesis
Adaptado de Yáñez, s.f, p.4.

Metanogénesis

La metanogénesis, consiste en la formación de gas metano y dióxido de carbono a partir del ácido acético, producidos por microorganismos anaeróbicos obligados denominados formadores de metano. También se producen gases como nitrógeno y ácido sulfhídrico en cantidades menores. (Pérez, 2010, p.27; Yáñez, s.f, p.3)

Los géneros de metanobacterias hidrogenofílicas más frecuentes en reactores anaerobios son: Methanobacterium, Methanospirillum y Methanobrevibacter. (Pérez, 2010, p.33; Yáñez, s.f, p.4)

Productos Degradación	+ Microorganismos →	Productos Finales
Sales Ácidas	Formadores de metano	CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S,
CO ₂ H ₂ O	Anaeróbicos obligados	H ₂ O

Figura 6. Proceso de Metanogénesis
Adaptado de Yáñez, s.f, p.4.

1.2.1 Factores Determinantes de la Digestión

Se deben controlar ciertas condiciones básicas del proceso, a fin que se pueda obtener un óptimo rendimiento del biodigestor.

1.2.1.1 Tipo de Sustrato

El sustrato es la biomasa o material orgánico con el cual se alimenta el biodigestor para su descomposición anaeróbica, es por ello que existe una gran cantidad y variedad de sustratos animales y vegetales que son posibles emplear, entre ellos se incluye; excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas provenientes de industrias, desechos vegetales provenientes de la agricultura.

La calidad del sustrato es un factor que tiene una importante influencia en el proceso microbiológico y por ende la producción de biogás, ya que depende de la cantidad de grasas, proteínas, hidratos de carbono y nutrientes que tenga la biomasa. Es por esto que se debe tener una buena calidad de sustrato ya que en el interior del biodigestor se encuentran bacterias que requieren de todos los nutrientes y grasas que les puede proveer la biomasa para su crecimiento y desarrollo. Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos residuales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. (Salamanca, 2009, pp.24; Hilbert, 2003, p.7)

En la tabla expuesta a continuación se aprecia las diferentes variantes en cuanto a la composición y producción de gas de cada tipo de sustrato.

Tabla 1. Composición del estiércol de diversos animales (4 por ciento de materia seca) y agua residual bruta.

Componente	Fuente de agua (mg/l)			
	Ganado Vacuno	Cerdo	Pollo	Humano
Sólidos totales (ST)	40 000	40 000	40 000	500
Sólidos volátiles (SV)	31 000	31 600	31100	350
DBO ₅	6 700	12 800	9 800	200
DQO	35 600	32 800	36 000	450
Nitrógeno	1 900	2 500	2 900	30
Fósforo	400	950	1 100	10
Potasio	1 100	1 400	1 100	10

Nota: se describen la composición de diferentes tipos de estiércol. Esta composición es determinante para la producción de biogás. Los cálculos de la producción de biogás se basan en la relación de sólidos totales y volátiles presentes en la materia prima.

Adaptado de Kiely, 1999, p.581.

1.2.1.2 Microorganismos

Se considera que las bacterias formadoras de metano son las más importantes dentro del proceso de digestión anaeróbica. Existen tres características fundamentales de este grupo bacteriano: (Yáñez, s.f, pp.4-5)

- Son estrictamente anaerobios. Muy pequeñas cantidades de oxígeno molecular son determinantes en el crecimiento y multiplicación de estos organismos.
- Se desarrollan lentamente. El tiempo que requiere esta bacteria en regenerarse y multiplicarse depende de la temperatura y de la especie. Los tiempos de generación están en un rango de 22 días.
- Sensibles al pH. El intervalo de tolerancia se encuentra en 6.5 y 7.6, con un valor óptimo de 7.0.

1.2.1.3 Nutrientes

Los microorganismos anaerobios requieren un 20% menos de fósforo y nitrógeno a la de las bacterias aerobias, en una razón de DQO:N:P de 100:1:0,2, comparado con las bacterias aerobias, cuya razón habitual es de 100:5:1. Además de fósforo y nitrógeno, los microorganismos anaerobios requieren de otros nutrientes para su crecimiento como azufre, hierro, calcio, magnesio, sodio y potasio. (Corbitt, 2003, p.128)

El nitrógeno es esencial para el crecimiento y la actividad de las bacterias. La materia prima que contiene una baja razón carbono/nitrógeno es digerida fácilmente. Las heces humanas y los desechos de animales son ricos en nitrógeno y nutrientes necesarios para el crecimiento y multiplicación de las bacterias anaeróbicas. Se recomienda que la razón carbono/nitrógeno de la biomasa que se ocupe sea menor de 30:1. (Silva, 2009, p.5). En la siguiente tabla se muestra las relaciones carbono/nitrógeno de algunas materias primas.

Tabla 2. Relación carbono/nitrógeno para diferentes tipo de biomasa

MATERIA PRIMA	RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO
Paja de trigo	87:1
Paja de arroz	67:1
Estiércol fresco de ganado	25:1
Heces humanas frescas	3:1

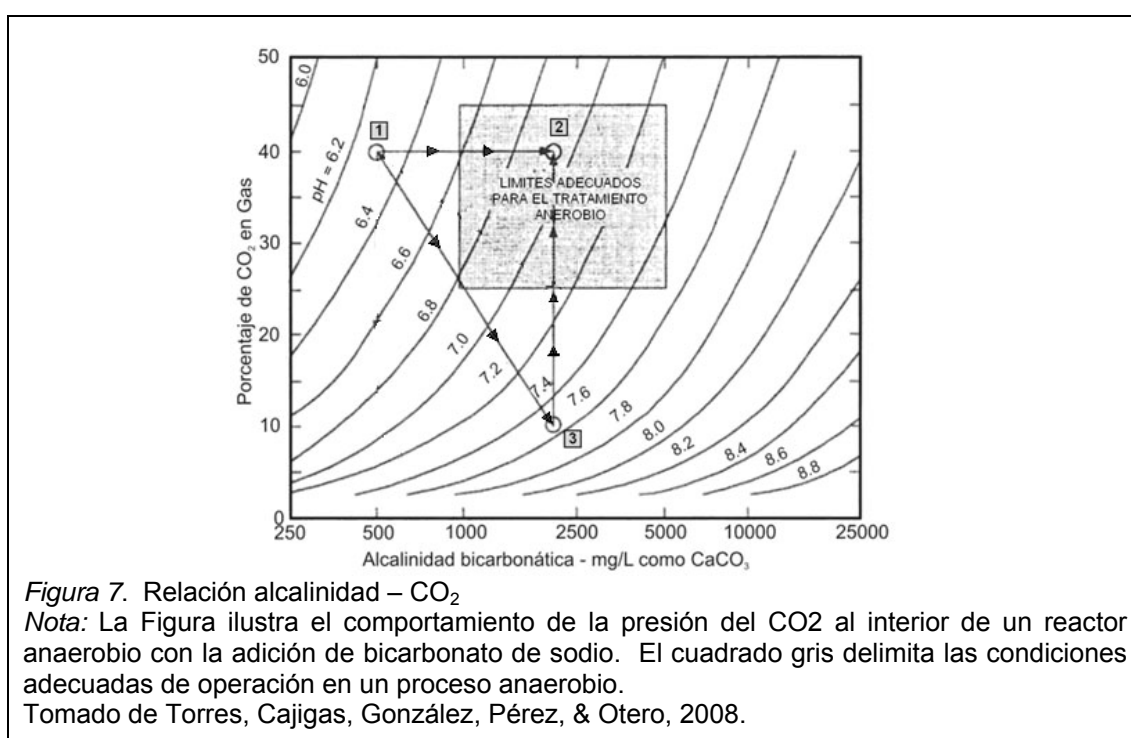
Nota: se muestra la relación carbono/nitrógeno de cada materia prima o biomasa, el rango óptimo a que se debe encontrar esta entre 20 y 50 a 1. Tomado de Silva, 2009, p.5.

1.2.1.4 Ph y Alcalinidad

El rango de pH óptimo para que se realice la fermentación metánica es entre 7 y 8 y el nivel de pH mínimo al que debe estar el biodigestor es de 6,5. Para la estabilidad de pH es importante el equilibrio CO₂ – bicarbonato, de esta forma se consigue una asociación estable entre bacterias acetogénicas y metanogénicas. Cuanto menor sea el pH y mayor sea el tiempo que se

mantenga en este nivel, más difícil es que las bacterias vuelvan a la actividad. (Corbitt, 2003, p.128)

La relación alcalinidad - CO_2 se ilustra en la figura 7, donde la alcalinidad se representa como CaCO_3 , cuando este valor se encuentre por debajo de los 500 mg/L, se obtendrá aproximadamente un 38% de CO_2 y un pH igual a 6,3. El rango óptimo de CaCO_3 se debe encontrar entre 1000 a 5000 mg/L para poder tener un 50% de producción de CO_2 . (Corbitt, 2003, p.128)



1.2.1.5 Temperatura

En el manual de referencia de Corbitt (2003, p.128) se establecen que la temperatura tiene incidencia directa en el crecimiento bacteriano, así como en la velocidad del proceso de digestión, de tal forma que al mantener un rango de temperatura estable se tendrá una mayor producción de biogás. Los reactores anaerobios operan en dos intervalos:

- Intervalo mesófilo, 25° a 40°C
- Intervalo termófilo, 50° a 70°C

En la siguiente figura se ilustra la relación entre la temperatura y crecimiento bacteriano, en donde se observa que en el sistema termófilo existe un mayor porcentaje de eliminación de materia orgánica y por ende mayor producción de biogás. A pesar de ser esta la fase óptima para nuestro propósito, es necesario incorporar un agente externo para calentar el reactor, por lo que aumentaría el costo del sistema y complicaría su operación y mantenimiento, por lo que se recomienda trabajar en un rango mesófilo, cuya temperatura es más estable.

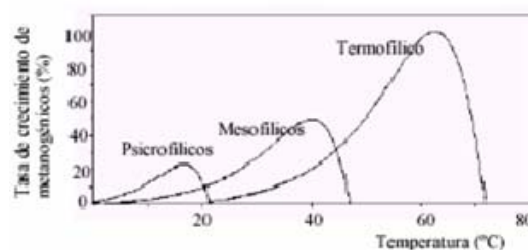


Figura 8. Relación del crecimiento bacteriano y la temperatura
Tomado de Marti N. 2006, p.10

Se considera como uno de los principales parámetros para el diseño de un sistema de digestión anaeróbica, por la cual es imprescindible que se mantenga una temperatura homogénea mediante un sistema adecuado de monitoreo y agitación.

1.2.1.6 Toxicidad

Se considera que las bacterias metanogénicas son las más sensibles a la toxicidad, al ser comparadas con los demás microorganismos que intervienen en el tratamiento de aguas residuales. Sin embargo estas bacterias son capaces de tolerar una gran variedad de compuestos tóxicos, que suelen degradarse en los biodigestores, sin que los microorganismos se vean afectados. (Corbitt, 2003, p.128)

Para determinar la toxicidad de un compuesto se toma en cuenta la concentración y la exposición. Generalmente se considera más tóxico un catión que un anión, principalmente los cationes de metales alcalinos y alcalinos térreos, la toxicidad de estos aumenta con el peso molecular. En la siguiente tabla se muestra las concentraciones en las cuales un compuesto puede o no inhibir la actividad de un microorganismo. (Corbitt, 2003, p.128). Cuando se presentan combinaciones de estos cationes, estos actúan antagónicamente lo que disminuye su efecto inhibitor.

Tabla 3. Concentración de inhibición para varios iones

Especie	Estimulación mg/L	Moderadamente Inhibidora, mg/L	Fuertemente Inhibidora, mg/L
Sodio	100 – 200	3500 – 5500	8000
Potasio	200 – 400	2500 – 4500	12000
Calcio	100 – 200	2500 – 4500	8000
Magnesio	75 – 150	1000 – 1500	3000
Amoniaco	-	1500 – 3000	3000

Nota: se muestra las cantidades de mg/L que debe existir de cada ion, de manera que se inhiba la actividad bacteriana. Se toma en cuenta dos rangos de inhibición; cuando este es de forma moderada y la que fuertemente inhibe cualquier actividad. Además se muestra el rango de estimulación en el que se debe encontrar un ion para que este comience su actividad inhibitor.

Tomado de Corbitt, 2003, p.129.

Los sulfuros también son considerados compuestos tóxicos, principalmente el sulfuro de hidrógeno considerándose tóxico a una concentración de 50 mg/l. La concentración total de sulfuro disuelto para la digestión anaerobia se encuentra entre 200 y 300 mg/l. El pH del agua residual a ser tratada también interviene en el tipo de sulfuro, por ejemplo, a un pH bajo predomina el H₂S, compuesto tóxico. (Corbitt, 2003, p.129)

1.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

1.3.1 Ventajas

- Simplicidad de operaciones y mantenimiento.
- Bajo coste de inversión.
- Excelente opción en plantas de pequeño tamaño.
- Producción de biogás, energía renovable la cual si se la aprovecha energéticamente sustituye a una fuente de energía fósil.
- Reducción de los gases de efecto invernadero, al ser un proceso controlado de emisiones de CH₄, (el efecto del gas metano en situaciones incontroladas es 20 veces mayor que el del CO₂)
- La producción de malos olores es mínima debido al control que existe en el proceso. (Corbitt, 2003, p.229)

1.3.2 Desventajas

- Sensible a temperatura ambiente por lo que en algunos casos es necesario un input de energía externa, de manera que se consiga la temperatura óptima para el crecimiento bacteriano.
- los costes de operación pueden ser altos, estos dependen de la decisión de implementar un sistema integrado, para proporcionar un tratamiento completo de los residuos.
- Puede producir espumas.

1.4 PRODUCTOS DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA

Del proceso de digestión anaeróbica se obtiene dos principales productos, el biogás y un efluente líquido o bioabono.

1.4.1 Biogás

El biogás es uno de los subproductos que se obtiene de la digestión anaerobia de compuestos orgánicos. Tanto su composición como la cantidad de producción depende del tipo de sustrato que se esté tratando, su composición aproximada es la siguiente: (Arce, 2011, p.20)

- Metano: 55-65%
- Anhídrido Carbónico: 35-45%
- Nitrógeno: 0-3%
- Hidrógeno: 0-1%
- Oxígeno: 0-1%
- Sulfuro de Hidrógeno: trazas

En la siguiente tabla se muestra los efectos de estos compuestos en el comportamiento del biogás:

Tabla 4. Efectos de los componentes del biogás

Componente	Efecto
CO ₂	Baja el poder calorífico
	Incrementa la cantidad de metano
	Causa corrosión en tuberías
H ₂ S	Emisiones de SO ₂ después de los quemadores
	Emisión de H ₂ S en combustión imperfecta
NH ₃	Emisión de NO _x durante la combustión
	Daño de celdas de combustibles
N ₂	Baja el poder calorífico
Vapor de Agua	Causa daños por condensación en tuberías
	Bloquea las boquillas de los quemadores

Nota: se describe cada uno de los efectos de los diferentes componentes del biogás. Estos componentes tienen diferentes efectos, ya sea en el artefacto en el que se utiliza el biogás
Adaptado de (Pérez, 2010, pp.13-14)

1.4.1.1 Parámetros en la producción de Biogás

Con todos los procesos biológicos involucrados, es necesario mantener estable las condiciones de vida de las bacterias anaeróbicas, un cambio en la temperatura, cambios en el sustrato o del Ph, puede llevar a una disminución de la producción de biogás y en caso de no ser controlado llegar a la suspensión de la producción.

En la siguiente tabla se sintetizan los rangos de los principales parámetros que están involucrados en la producción de biogás:

Tabla 5. Rangos de parámetros presentes en las etapas de degradación

Parámetro	Hidrólisis/Acidogénesis	Formación de metano
Temperatura	25 – 35°C	Mesofílico (32 – 42°C) Termofílico (50 – 58 °C)
Valor de Ph	5,2 – 6,3	6,5 – 7,5
Razón C/N	10 – 45	20 – 30
Razón C:N:P:S	500:15:5:3	600:15:5:3
Trazas de elementos	N/a	Ni, Co, Mo, Se

Nota: se realiza un análisis de los parámetros indispensables para la degradación de la materia orgánica y como sus valores varían en cada una de las etapas del proceso anaeróbico. Teniendo en cuenta estos valores se podrá controlar el funcionamiento óptimo del sistema.
Tomado de Pérez, 2010, p.28.

1.4.1.2 Propiedades Energéticas del Biogás

El biogás tiene un poder calorífico de aproximadamente la mitad de lo que posee el gas natural, si se habla de un biogás que posee un 60% de CH₄ en su composición, este tendría un poder calorífico aproximado de 4500 a 5600 Kcal/m³., pudiéndose aumentar este valor si se eliminaría la mayor cantidad de CO₂ posible. (Buhigas, 2010, p.25)

El poder calorífico del biogás es menor al del butano - propano (GLP), cuyo poder calorífico es de 10830 kcal/kg, lo que implica que se tarda más tiempo en la cocción de los alimentos. Por lo que en la tabla 7 se describe la equivalencia energética del biogás:

Tabla 6. Equivalencias energéticas del biogás

1 m³ de biogás equivale a:	
Madera	1,3 kg
Bosta seca	1,2 kg
Alcohol	1,1 litros
Gasolina	0,8 litros
Gas – oil	0,65 litros
Gas Natural	0,76 m ³
Carbón	1,5 kg
Electricidad	2,2 Kw/h

Nota: se realizó una comparación de cuanto equivale un metro cúbico de biogás y las materias primas más comunes para la generación de energía. De manera que se sustituya su uso por el biogás.

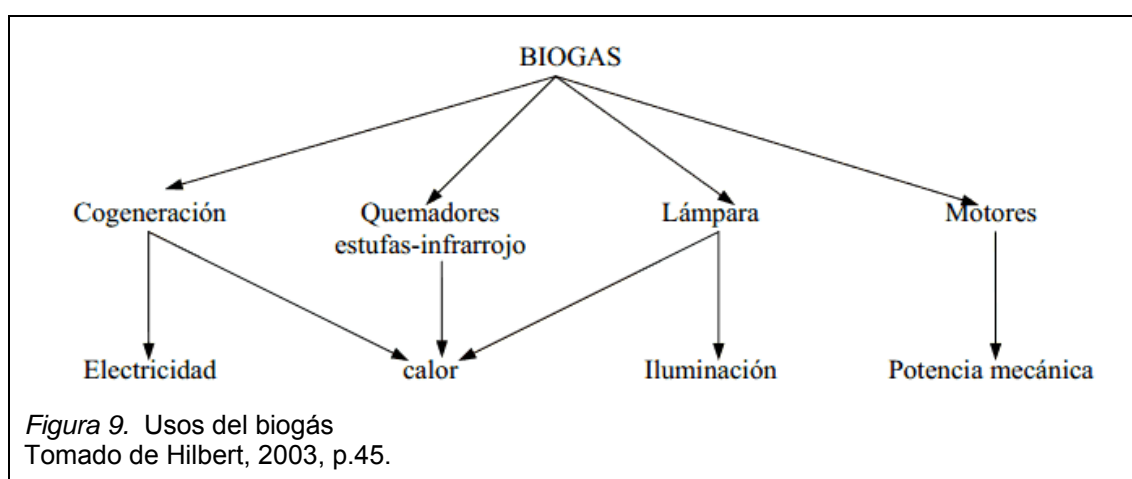
Tomado de Martí, 2008, p.21.

Con esta información se puede decidir cuanto biogás es necesario para poder llevar a cabo las diferentes actividades con los tipos de combustibles descritos, el objetivo es dejar de utilizar las energías convencionales no renovables por un renovable que en este caso es el biogás. Por ejemplo, para la poder reemplazar el uso de leña o de bosta seca para cocinar, así como también el

uso de gasolina o diesel en motores ya sea para la generación de calor como de electricidad.

1.4.1.3 Usos del Biogás

Una vez descritas las principales características del biogás, es importante detallar los diferentes usos que se le puede dar a este producto, los cuales van desde su uso en la cocción de alimentos como también para iluminación mediante lámparas a gas. A continuación, en la figura se resumen los diferentes usos del biogás.



Una vez determinados los diferentes usos del biogás, en la siguiente tabla se enlistan los principales artefactos que utilizan biogás juntamente con su eficacia y su consumo medio.

Tabla 7. Principales artefactos que utilizan biogás

ARTEFACTO	CONSUMO	RENDIMIENTO (%)
Quemador de cocina	0,3 – 0,6 m ³ /h	50 – 60
Lámpara a gas (60W)	0,120 – 0,170 m ³ /h	30 – 50
Heladera de 100 L	0,030 – 0,075 m ³ /h	20 – 30
Motor a gas	0,5 m ³ /kWh	25 – 30
Quemador de 10 Kw	2 m ³ /h	80 – 90
Infrarrojo de 200 W	0,030 m ³ /h	95 – 99
Cogenerador	1 kW electricidad 2 kW térmica	Hasta 90

Nota: se muestra el consumo de cada uno de los artefactos que pueden funcionar mediante la utilización de biogás, además el rendimiento que cada artefacto tiene al utilizar este tipo de energía.

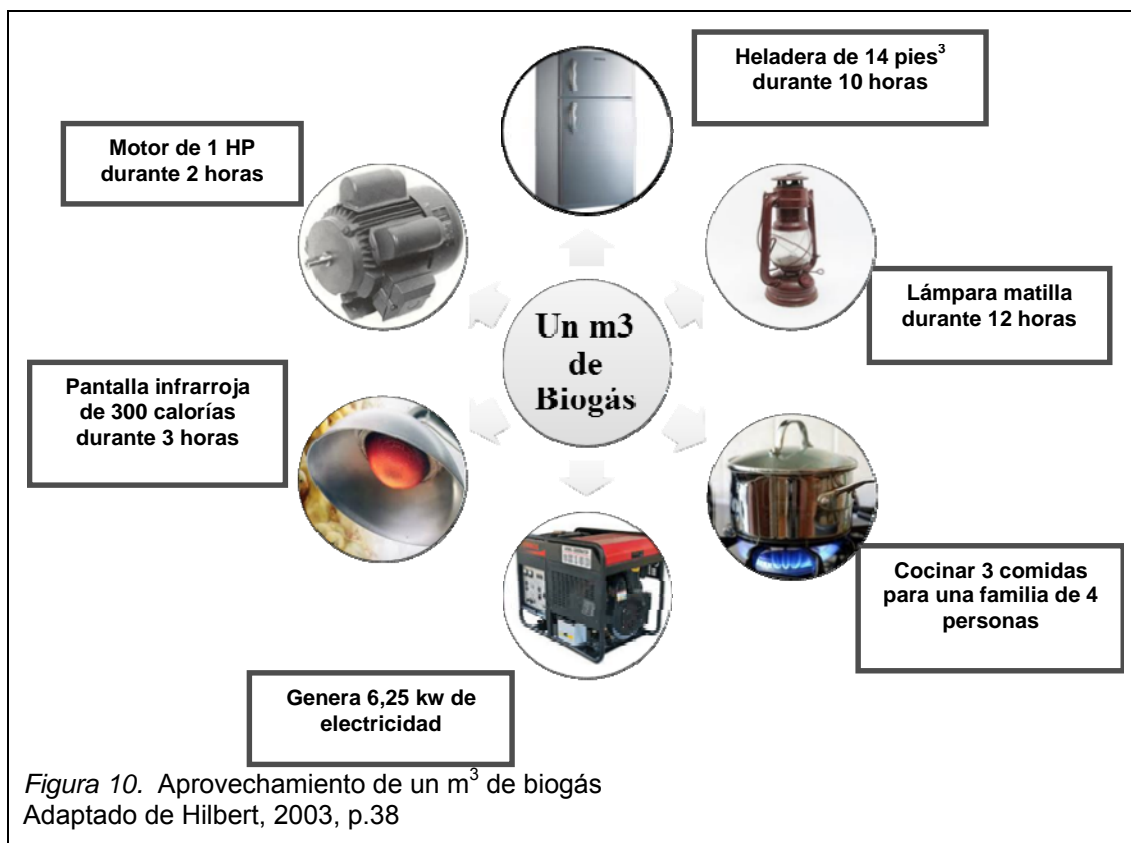
Tomado de Hilbert, 2003, p.36.

Se puede observar que el rendimiento para su uso en cocinas supera el 50%, pero la ventaja de su uso en quemadores es que estos pueden ser modificados de forma que se aumente el paso de gas hacia la cocina, por ende aumentado la eficiencia en su aprovechamiento.

Los quemadores infrarrojos son aquellos utilizados para la calefacción de ambientes y como se puede observar tiene una alta eficiencia en su utilización por lo que el ahorro en este uso de dispositivos es significativo.

El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna de diésel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión. (Hilbert, 2003, p.36) pero como se observa en la tabla anterior su eficiencia es muy baja esto se debe por su baja velocidad de encendido lo que es una gran desventaja para su aprovechamiento en este tipo de equipos.

En la figura 10 se muestran las diferentes alternativas de utilización de un metro cúbico de biogás, con sus respectivos tiempos de uso.



1.4.2 Bioabono

Como se mencionó otro de los productos de la digestión anaeróbica es un líquido ya digerido, el cual puede ser utilizado como abono orgánico, a este también se lo conoce con el nombre de biol.

El fertilizante producido tiene un contenido en nitrógeno de 2 a 3%, de fósforo de 1 a 2%, de potasio entorno al 1% y entorno a un 85% de materia orgánica con un PH de 7.5. (Martí, 2008, p.22).

1.4.2.1 Aplicaciones del Bioabono

El elevado contenido de nitrógeno en forma de amonio (NH₄) presente en los efluentes ayuda a evitar la pérdida por lavado y lixiviación del nitrógeno del suelo al igual que las pérdidas por volatilización producidas por los procesos de desnitrificación biológica. (Hilbert, 2003, p.42). Esta propiedad ayuda a

mejorar la estructura del suelo de forma que sea un sustrato óptimo para su utilización en la agricultura.

Se lo puede aplicar cuando el terreno se prepara para la siembra, regandolo por cada surco de la plantación, así como también al momento antes de sembrar, introduciendo las semillas en una mezcla con agua de relación 1:1 durante 4 horas. En caso de que el cultivo ya se encuentre en crecimiento su aplicación se la puede hacer de forma foliar. (Martí, 2008, p.23)

En caso de no poder aplicar el bioabono en una plantación, este puede ser vertido ya en el agua ya que no es una amenaza para el acuífero.

1.4.2.2 Restricciones de Uso

Antes de la aplicación del fertilizante a una plantación es requisito indispensable realizar un análisis de su composición físico – química, de manera de que determine si es posible su aplicación en el cultivo y de qué forma se lo debe aplicar.

En caso de que el fertilizante sea resultado de la depuración de aguas provenientes de un sistema sanitario su aplicación foliar se restringe a frutales, cultivos cuyo fruto sea subterráneo y en cultivos en donde el fruto se encuentre a más de 50 cm del suelo, aplicándolo en la parte inferior de la planta y nunca sobre el fruto. Esto se debe a que en el proceso de digestión solo se depura un 80 a 95% de los coliformes fecales. (Martí, 2008, p.23)

Para el aprovechamiento del biol en el caso del proyecto propuesto, la aplicación se lo va a realizar en una plantación del palma africana, aplicandolo directamente en la base de la planta; en este caso el fruto de esta planta no se lo ingesta de forma directa por el humano, por el contrario, el fruto de la palma africana pasa por un proceso de extracción del aceite que este contiene y es

este subproducto el cual es aprovechado por la industria aceitera, por lo que la aplicación del biol se la puede realizar sin restricción.

La aplicación del fertilizante permitirá suplir la alta demanda de nitrógeno que este tipo de cultivos necesitan para su óptimo crecimiento. Una plantación de palma africana comienza a dar frutos a partir de los cinco años después de sembrada, tiempo en el cual se depurará el porcentaje de coliformes fecales restantes en el bioabono, sin producir afectaciones en la plantación o en la salud de las personas.

2 CAPÍTULO II: DISEÑO EXPERIMENTAL

2.1 BIODIGESTORES

A continuación se presentarán las particularidades de los biodigestores más utilizados para este tratamiento. Una vez identificadas, se decidirá el diseño a implementar tomando en cuenta cuál de estos se adapta mejor a lo que se desea obtener.

Las características principales de un biodigestor son las siguientes:

- Aislado térmicamente, se debe conservar la temperatura interna, de manera que no haya una alteración en el proceso de digestión.
- Hermético, evitar que existan fugas tanto de material líquido como sólido.
- Libre acceso y mantenimiento, el digestor debe encontrarse cercano a la zona donde se recoge el sustrato de partida y a la zona de consumo.
- Fácil mantenimiento, al ser de fácil acceso se podrá controlar cualquier situación de emergencia que se pueda presentar durante la operación.

En general, la estructura de los diferentes tipos de biodigestores no varía mucho entre diseños, en la Fig. 11 se describen las partes generales que constituyen un biodigestor.

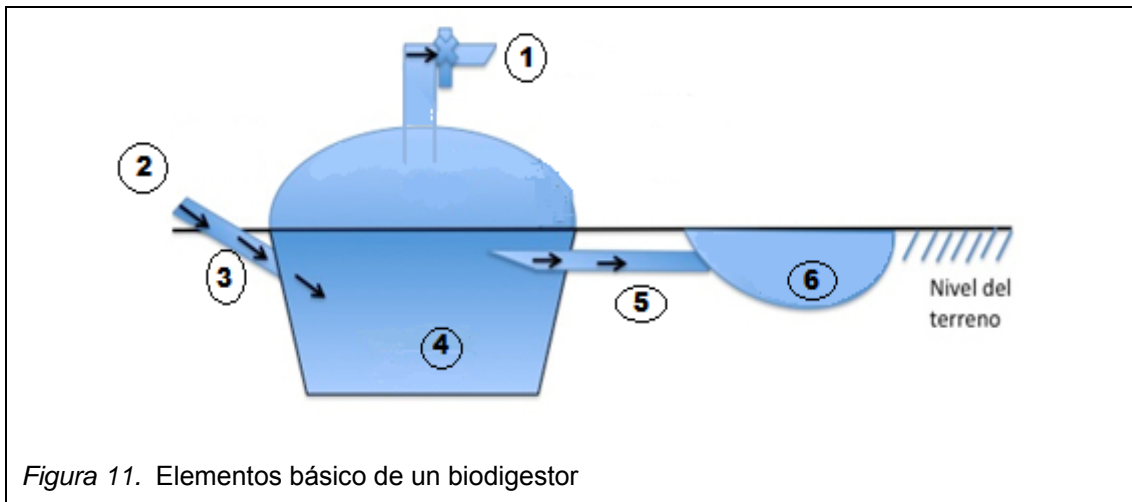
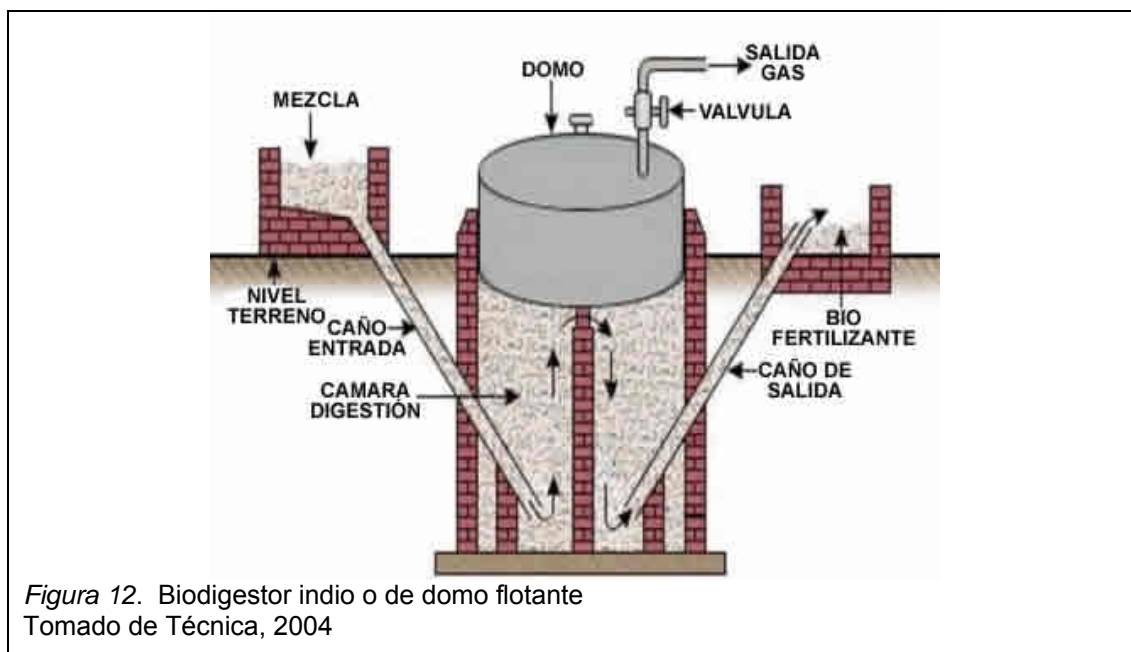


Figura 11. Elementos básico de un biodigestor

1. Tubería salida de biogás
2. Entrada del afluente
3. Tubería de entrada
4. Tanque de digestión
5. Tubería de salida
6. Tanque de efluente

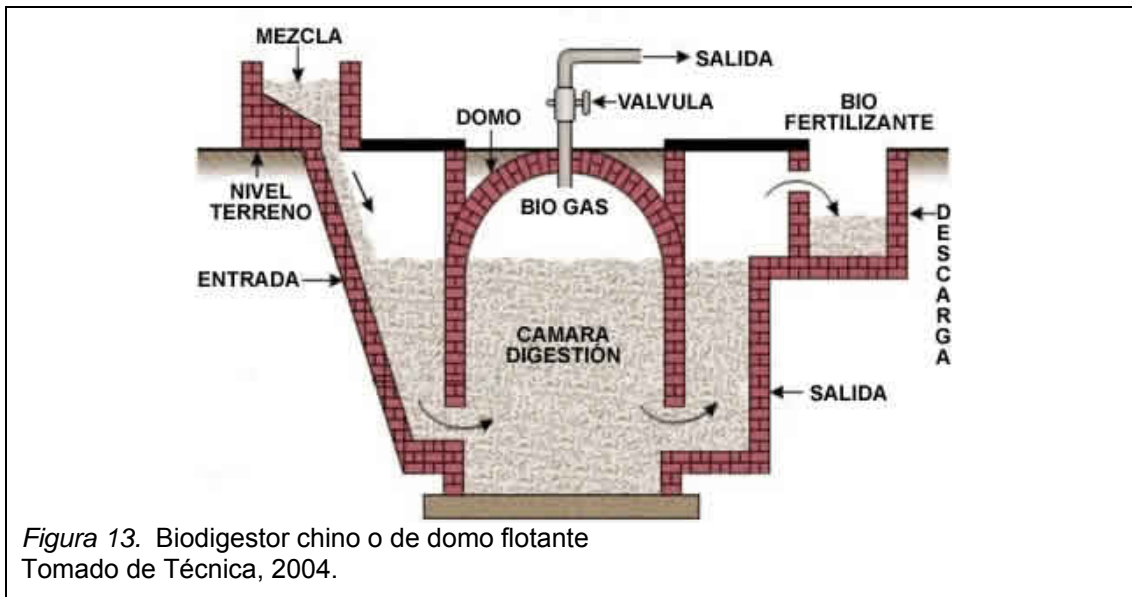
2.1.1 Biodigestor de Domo Flotante

Este biodigestor consiste en un tambor con una campana móvil, en la cual se va a almacenar el gas; construido con ladrillos, cemento y acero. Una de las características de este reactor, es que se lo puede construir tanto arriba como debajo de la tierra, tomando en cuenta que su tapa siempre debe estar libre para su movimiento. El biodigestor se carga por gravedad, la cantidad la biogás que se genera depende del volumen de carga y del tiempo de retención, la cantidad de biogás que se produce se puede evidenciar según el nivel en el que se encuentre la campana. En estos reactores se genera de 0,5 a 1 m³ de volumen de gas por volumen de digestor. (Salamanca, 2009, p.15)



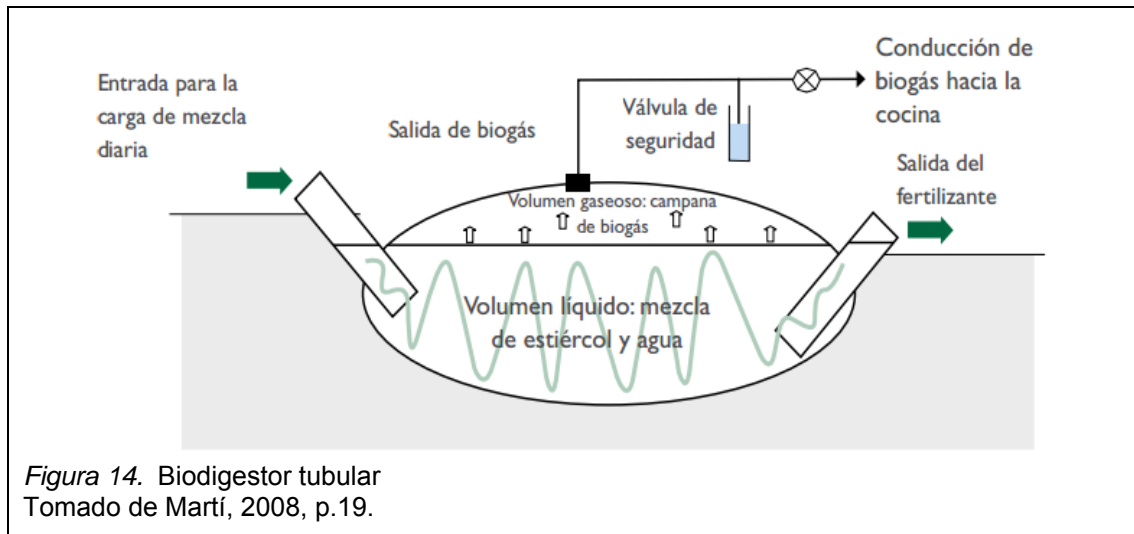
2.1.2 Biodigestor de Domo Fijo

Este reactor consiste en una cúpula firme de gas firme construida de ladrillos, piedra u hormigón. Este reactor se lo construye bajo tierra por lo que tiene un tapón en la cima del digestor que facilita el limpiado. El gas se acumula dentro del tanque digestión, por lo tanto, a medida que aumenta el volumen de gas, el volumen de líquido también varía, ya que por la presión que se ejerce este es forzado a subir hacia la salida. La producción de biogás es de 0,1 a 0,4 m³. Esta instalación tiene una vida útil de aproximadamente 20 años. Dentro de las desventajas de este biodigestor se ha notado que fugas de gas metano, lo que indica que el sistema no es completamente hermético; en lo referente a su construcción, este requiere un nivel alto de conocimientos técnicos, limitando en algunos casos tanto su implementación así como su operación y mantenimiento. (Silva, 2009, p.7; Salamanca, 2009, p.16)



2.1.3 Biodigestor de Estructura Flexible

La estructura de este biodigestor es de polietileno de forma tubular orientado horizontalmente. En este reactor el gas se acumula en la parte superior de la bolsa, esta se va inflando lentamente con una presión de operación baja, pues no se puede exceder la presión de trabajo de la misma. La construcción de este tipo de biodigestores han tenido gran acogida debido a la disminución de costos para su construcción, el costo de un biodigestor es de \$50 USD/por cada cuatro personas. Estas unidades, las cuales varían en tamaño de 100 a 400 m³ en volumen, son fáciles de transportar, sencillas de instalar y baratas de construir. Dentro de sus desventajas presenta un corto tiempo de vida útil, lo que es necesario instalar una nueva instalación cada tres años. También es muy vulnerable a sufrir roturas por condiciones climáticas adversas, por las acciones del hombre y los animales. (Técnica, 2004, parr 4; Silva, 2009, p.9)



2.2 CRITERIOS COMPARATIVOS DE LOS TIPOS DE BIODIGESTORES

A continuación, en la Tabla 8, se realiza un análisis comparativo de las características de cada uno de los modelos de biodigestor presentados en el numeral anterior.

Tabla 8. Criterios comparativos de los diferentes tipos de biodigestores

	Digestor Cúpula Flotante	Digestor Cúpula Fija	Digestor Tubular
Alimentación	Continua, intermitente	Continua, intermitente	Intermitente
Almacenamiento de gas	Tambor flotante	Cúpula fija	Parte superior de la bolsa
Tipos de Sustrato	Estiércol animal, residuos vegetales	Estiércol animal, residuos vegetales	Aguas residuales evitando residuos sólidos
Producción de biogás	0,5 a 1 m ³	0,1 a 0,4 m ³	0,3 – 0,8 m ³
Presión del biogás	Constante	Variable	Variable y baja
Fuga de gas	No existen fugas si hay un correcto mantenimiento de la cúpula	Común	No es común
Vida útil	Aprox. 12 años	Aprox. 20 años	Aprox. 3 años
Materiales de Construcción	Cemento, ladrillo o bloque y cúpula de acero anticorrosivo	Cemento, ladrillo o bloque, varillas de acero	Plástico PVC (geomembrana)
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil de operar • Impermeable • Generación de biogás a presión constante 	<ul style="list-style-type: none"> • Larga vida útil • Se encuentra bien aislado • No posee componentes oxidables 	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción viable en lugares con alto nivel freático • Fácil operación y mantenimiento • Bajo costos de materiales de construcción
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Cúpula requiere mucho mantenimiento • Costo de la cúpula es alto • Remoción del óxido de la cúpula constante para evitar corrosión 	<ul style="list-style-type: none"> • Cúpula requiere impermeabilización especial • Alto nivel de conocimiento técnico para la construcción • Costos altos de construcción bajo tierra • Presión variable de biogás 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja presión de gas por lo que se requiere un reservorio de gas • No se puede eliminar la parte sólida del biodigestor durante la operación

Adaptado de: (Samayoa, Bueso y Viquez, 2012, pp.17-21; Flores, 2010, p.44)

2.3 MODELO DE SELECCIÓN DEL TIPO DE BIODIGESTOR

El modelo que se seleccionó para escoger la el tipo de biodigestor a construir el de atributo ponderado. (Flores, 2010, p.45) La medida de evaluación se simboliza por R_j la cual se define como:

$$R_j = \sum_{i=1}^n W_i * V_{ij}$$

(Ecuación 1)

Donde:

W_i : son los pesos importantes del atributo

V_{ij} : evaluación del valor del atributo i para cada alternativa j

Si los atributos son del mismo peso o también llamados no ponderados,

$W_i = 1/m$ se obtiene:

$$W_i = \frac{\text{puntuación } i \text{ de importancia}}{\sum_{i=1}^m \text{puntuación } i \text{ de importancia}}$$

(Ecuación 2)

Lo que significa que W_i puede obtenerse de la sumatoria en la fórmula R_j .

El criterio de elección es la siguiente:

Se elige la alternativa con mayor valor R_j . Para poder determinar este valor se supone que valores altos de W_i implican atributos de mayor importancia y puntuaciones altas V_{ij} implican un mejor desempeño de la alternativa seleccionada. Se realiza un análisis objetivo de cada una de las alternativas, de manera que se pueda otorgar un valor a cada característica, teniendo como resultado la decisión de la mejor alternativa. En la siguiente tabla determina los valores de jerarquía para cada atributo.

Tabla 9. Jerarquización de cada atributo

Evaluación del atributo	Jerarquización
Muy Bueno	9 – 10
Bueno	6 – 8
Malo	3 – 5
Muy Malo	0 – 2

Nota: en base a estos valores se dará una puntuación a cada atributo de análisis, de manera que se pueda decidir el mejor modelo de biodigestor.

Tomado de Flores, 2010, p.45.

Una vez establecidos los valores para la jerarquización, se realiza el análisis de cada alternativa y se valora cada atributo según la característica del sistema, determinando de esta manera la puntuación de la importancia de cada atributo. Se toma en cuenta tres alternativas las cuales representan un diseño de biodigestor, sistema cúpula flotante, sistema cúpula fija y un biodigestor tubular, representados por A, B y C respectivamente.

Tabla 10. Valoración de importancia y evaluación de alternativas

Atributo (i)	Puntuación de Importancia	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Costo del sistema	10	6	7	9
Ubicación del sistema	8	8	7	8
Facilidad de adquisición de Materiales para la construcción	8	8	8	9
Conocimiento Técnico para instalación	10	7	6	9
Mantenimiento	6	6	6	8
Total	42			

Nota: la selección de cada atributo se basó en la tabla 8, referente al análisis comparativo de cada modelo de biodigestor, una vez realizada la tabla se considero estos atributos como determinantes para la elección del tipo de modelo a instalar para este proyecto. En base a la jerarquización, se otorga un valor a cada atributo de análisis. Además se da un valor de importancia independiente del modelo de análisis.

El peso normalizado de W_i se obtiene reemplazando los datos de la tabla en la ecuación 2:

$$W_i = \frac{\text{puntuación } i \text{ de importancia}}{\sum_{j=1}^m \text{puntuación } i \text{ de importancia}} = \frac{10}{42} = 0,24$$

Determinado el valor de W_i se procede al cálculo de R_j , por ejemplo para la alternativa A se obtienen los siguientes resultados:

$$R_j = \sum_{i=1}^n W_i * V_{ij}$$

$$R_j = (0,24*6) + (0,19*8) + (0,19*8) + (0,24*7) + (0,14*6) = 7,00$$

En la siguiente tabla se determinana los pesos de los atributos normalizados para cada alternativa.

Tabla 11. Pesos de atributos ponderados

Atributo (i)	Puntuación de Importancia	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Costo instalación del sistema	0,24	1,43	1,67	2,14
Ubicación del sistema	0,19	1,52	1,33	1,52
Facilidad de adquisición de materiales para la construcción	0,19	1,52	1,52	1,71
Conocimiento Técnico para instalación	0,24	1,67	1,43	2,14
Mantenimiento	0,14	0,86	0,86	1,14
Total	1,00	7,00	6,81	8,67

Nota: se determinana los pesos normalizados de cada atributo de forma independiente, valor con el cual se relaciona cada atributo para cada modelo de análisis. Una vez realizado este calculo se realiza la sumatoria de los valores obtenidos para cada modelo, cuyo resultado da la pauta para elegir el modelo de biodigestor óptimo según los atributos de análisis.

Una vez calculados los totales para cada alternativa se escoge el valor de R_j más alto, en este caso es el de la alternativa C $R = 8,67$, el cual corresponde a un biodigestor tubular, concluyendo que esta es la mejor alternativa de instalación.

La figura a continuación, muestra como la alternativa C sobresale al hacer los análisis individuales de cada uno de los atributos, principalmente cuando se analiza el costo del sistema así como el conocimiento técnico para su instalación. Estos dos atributos son determinantes en la elección del tipo de biodigestor a instalar ya que tiene relación directa con la comunidad que se beneficiará del proyecto.

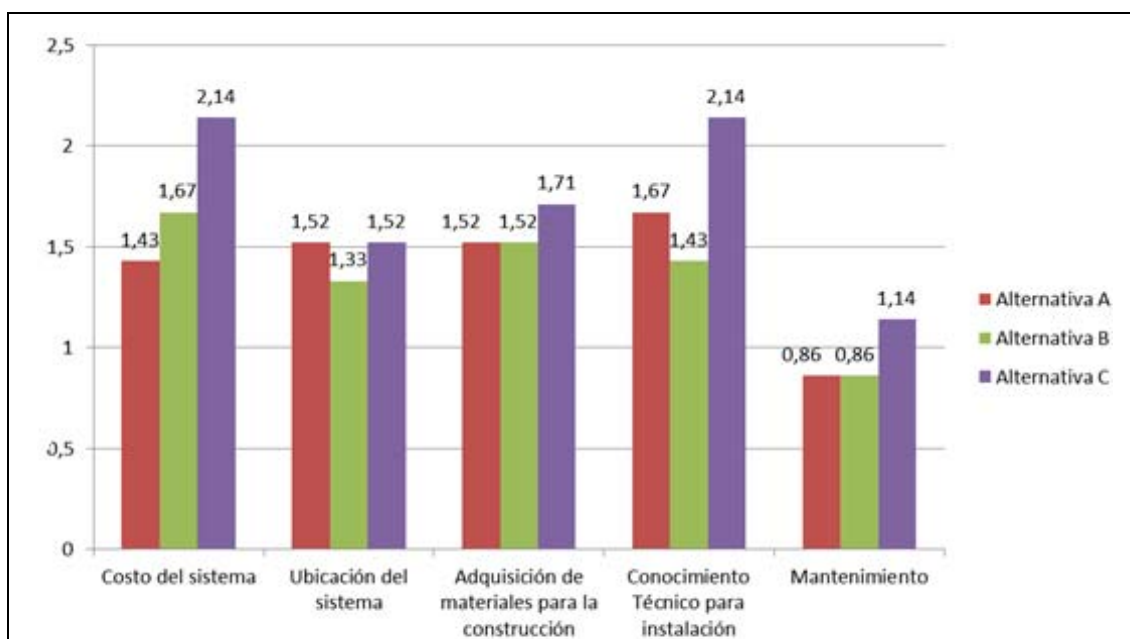


Figura 15. Pesos de atributos ponderados

Nota: mediante esta figura se facilita la elección del biodigestor a implementar ya que como se puede analizar la barra correspondiente a la alternativa C o del biodigestor tubular, este modelo tiene un peso ponderado mayor al de los otros modelos.

2.4 PARÁMETROS DE DISEÑO DEL BIODIGESTOR

Además de los parámetros operacionales para que ocurra la digestión anaerobia, es necesario determinar los parámetros determinantes para la construcción de los biodigestores. En este capítulo se detallarán estos parámetros tomando en cuenta que en la sección anterior ya se seleccionó un biodigestor tubular.

Los limitantes básicos para la construcción de biodigestores son:

- Disponibilidad de agua, indispensable para preparar la mezcla con los excrementos, la mezcla con agua debe estar en una relación de 1:4 o 1:3.
- Cantidad de biomasa disponible para introducir en el biodigestor.
- Operación y mantenimiento.
- Apropiación de la tecnología por parte de la familia.

2.4.1 Tiempo de Retención

El tiempo de retención junto con la velocidad de la carga son parámetros que nos permiten determinar el volumen del biodigestor.

El tiempo de retención hidráulico (TRH) tiene relación directa con el crecimiento de población bacteriano, por lo tanto, al aumentar el tiempo de retención, aumenta el grado de materia orgánica degradada, por ende la producción de biogás. El tiempo de retención usual está entre 15 y 20 días, este rango depende del tipo de reactor que se utilice. (Martí, 2008, p.14). Es importante mantener un tiempo óptimo de retención de manera que se evite la disminución de biogás producido.

Otro parámetro relacionado con el TRH es la temperatura, la cual determinara el tiempo de retención dentro del digestor. A menores temperaturas se requiere un mayor tiempo de retención. (Bautista, 2010, p.20). En la siguiente tabla, se detallan los valores correspondientes al tiempo de retención en base a la temperatura, la cual guarda relación con la altura sobre el nivel del mar de la zona de trabajo.

Tabla 12. Relación del tiempo de retención y la temperatura

Tiempo de Retención según temperatura				
Región	Altura sobre el nivel del mar	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura de Trabajo (°C)	Tiempo de Retención (días)
Trópico	0 – 1800	30	6 – 10	20
Valle	1800 – 2900	20	15 – 20	32
Antiplano	2900 – 4500	10	25 - 30	75

Nota: se describe el rango de temperatura existente en cada región, tomando en cuanto a la altura donde se implementará el proyecto, de tal forma que se puede determinar el tiempo de retención necesario para que se lleve a cabo la degradación anaeróbica.

Adaptado de Martí, 2008, pp.23, 38.

2.4.2 Estiércol Disponible

La biomasa requerida para la producción de biogás es el estiércol fresco. El estiércol que mayor cantidad de biogás produce es el de chanco y el humano, pero el fertilizante que producen es muy ácido, por lo que su uso es limitado. (Martí, 2008, p.27)

En la siguiente tabla se muestra la producción de estiércol fresco diario para diferentes animales, por cada 100 kilogramos de peso del animal.

Tabla 13. Producción de estiércol según el tipo de animal

Ganado	Kg de estiércol fresco producido por cada 100 kg de peso animal
Cerdo	4
Bovino	8
Caprino	4
Humano Adulto	0,4 por adulto
Humano Niño	0,2 por niño

Nota: se muestran los kg de estiércol producidos de cada especie animal tomando en cuenta su peso. En el caso de las heces humanas este no se relaciona según el peso de la persona, sino que se analiza si este es adulto o niño.

Tomado de Martí, 2008, p.18.

2.4.3 Carga Orgánica de Entrada

La carga diaria del biodigestor tiene que mantener una relación de 1:4 para digestores tubulares y de 1:1 para aquellos de domo fijo. Esta relación se refiere a la mezcla de carga diaria, de estiércol más agua. Una buena dilución de la mezcla asegura que el biodigestor realmente sea de flujo continuo, evitando que se atasque por exceso de materia sólida en su interior. (Martí, 2008, p.19)

La velocidad de carga orgánica (VCO) se refiere a la cantidad de biomasa que se introduce diariamente en el reactor por unidad de volumen, este se encuentra directamente relacionado con la concentración del sustrato y el tiempo de retención que se haya fijado. Se debe tener cuidado de la cantidad de la carga del reactor, ya que si esas son muy altas pueden ocasionar que este se acidifique. (Martí, 2008, p.15)

2.4.4 Agitación

Este proceso es muy beneficioso para la operación del proceso, debido a que favorece en la generación de biogás. Los principales objetivos de la agitación son: (Arce, 2011, p.31; Salamanca, 2009, p.31)

- Favorece la transferencia de sustrato a cada población a agregados de bacterias, aumentando la actividad bacteriana.
- Homogeniza el sustrato de forma que las concentraciones de inhibidores se mantengan en niveles bajos.
- Evitar la formación de costras, espumas y sedimentación en el interior del biodigestor.
- Mantener una temperatura uniforme en el interior.

Dependiendo del tipo de reactor que se instale y de los objetivos que se desee, se diseñará el sistema de agitación, este se puede realizar de forma manual o mecánica.

2.4.5 Volumen Total del Biodigestor

Dentro del biodigestor se ha de albergar una parte líquida y una gaseosa, ocuparán un 75% y 25% respectivamente. (Martí, 2008, pp.19-20)

$$V_T = V_L + V_G \quad (\text{Ecuación 3})$$

2.4.5.1 Volumen Líquido

El volumen líquido del biodigestor será el resultado de multiplicar la carga diaria por el tiempo de retención. Se expresa en la siguiente ecuación:

$$V_L = \text{Carga diaria} \cdot Fr \quad (\text{Ecuación 4})$$

2.4.5.2 Volumen Gaseoso

El volumen gaseoso equivale a un tercio del volumen líquido, este se acumulará en la parte superior del biodigestor y estará representado por el biogás.

$$V_G = \frac{V_L}{3} \quad (\text{Ecuación 5})$$

2.5 PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Los volúmenes de biogás generados por el digestor se expresan de manera general en m³/KgSV m³ día. Estos volúmenes difieren según el tipo de biomasa, concentración de sólidos volátiles (SV), tiempo de retención hidráulica

(TRH), temperatura, cantidad de inhibidores y el diseño del biodigestor. De manera general la producción promedio oscila de 1 a 2 m³ biogás por cada m³ digestor o 0,35 m³ de gas metano por kg DQO degradado. (Salamanca, 2009, p.42)

En la tabla 14, se muestra la relación entre la cantidad de estiércol que se produce diariamente por cada especie animal y la producción de biogás en base a esta cantidad. Otro parámetro que se tome en cuenta en esta tabla es la cantidad de agua que se necesita para la carga diaria del biodigestor.

Tabla 14. Producción de biogás según el tipo de estiércol.

Especie animal	Tamaño especie	Cantidad de excreta por día (kg)	Rendimiento de biogás (m ³ /kg excreta)	Producción de biogás (m ³ /animal día)	Relación excreta:agua
Vacuno	Grande	15	0,04	0,60	1:1
	Pequeño	8	0,04	0,32	
Cerdo	Grande	2	0,07	0,14	1:1 a 1:3
	Pequeño	1	0,07	0,07	
Avícola	Grande	0,15	0,06	0,009	1:3
	Pequeño	0,05	0,06	0,003	
Humano	Adulto	0,40	0,07	0,028	1:2 a 2:3
	Niño	0,20	0,07	0,014	

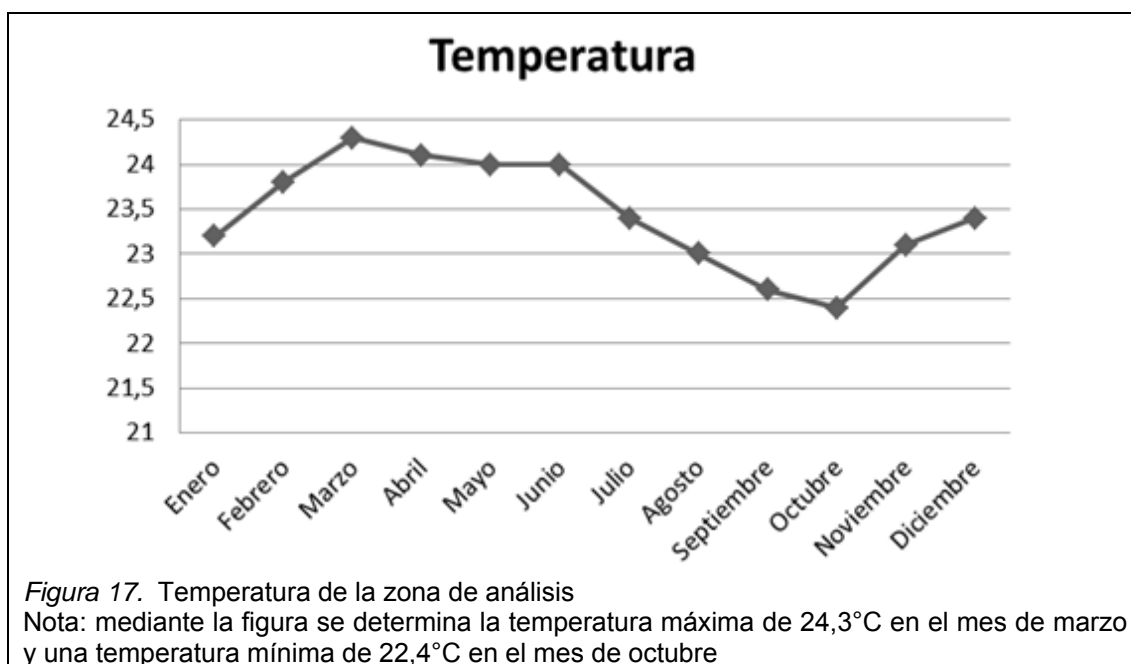
Nota: en la tabla se muestra el rendimiento de producción de biogás por cada kg de excreta de diferentes, además se realiza una clasificación del tamaño del animal, ya que de este factor también depende la cantidad de excretas y por ende la producción de biogás. En la última columna se adiciona la relación que se debe tener de excreta y agua con el fin de poder calcular la mezcla de carga diaria.

Adaptado de Martínez, 2007, p.1.

Como se observa para las heces humanas de adulto se tiene una producción de 0,028 m³ por cada 0,40 kg de excretas diarias, lo que quiere decir, que para 1kg de excreta se tendrá una producción de biogás de 0,07 m³.

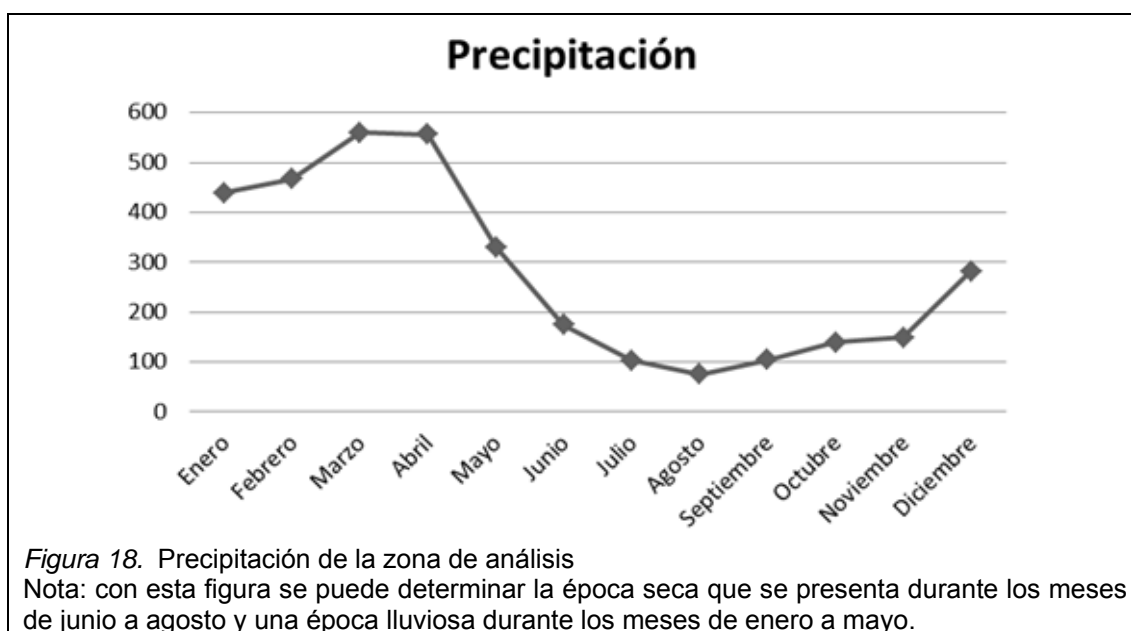
tablas de la estación se realizaron las tres representaciones gráficas de temperatura, precipitación y heliofanía.

Temperatura



La zona presenta una temperatura media de 23,4°C, llegando un máximo de 24,3°C durante el mes de marzo y con una temperatura mínima de 22,4°C en el mes de octubre.

Precipitación

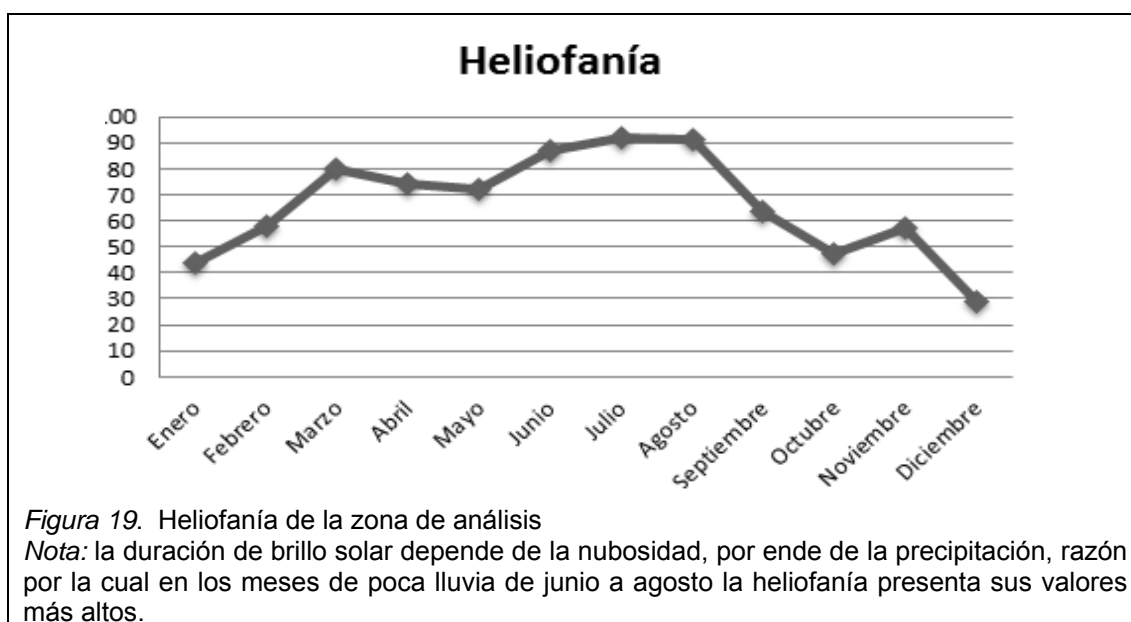


Al analizar la precipitación, la zona presenta una época seca muy marcada en los meses de junio a agosto, con una precipitación media de 117 mm y una época de lluvia significativa de enero a mayo, con una precipitación media de 470 mm; hay un período lluvioso no muy significativo entre octubre y noviembre.

En el mes de marzo es el mes más lluvioso, con una precipitación de 559,5 mm; por otro lado, el mes que presenta menos lluvia es agosto con una precipitación de 75,5 mm.

Al realizar un análisis conjunto con la temperatura, se concluye que en los meses de enero a mayo cuando hay una mayor precipitación la temperatura es mayor por el aumento de humedad en el ambiente.

Heliofanía



En lo referente a la heliofanía o duración del brillo solar, esta guarda una estrecha relación con la precipitación, mientras mayor es la precipitación, menor son las horas de sol debido al aumento de la nubosidad. Por lo tanto, en los meses de junio a agosto, época de menor precipitación, se presenta la mayor heliofanía en el mes de julio con 92 horas de luz solar durante este mes.

Vegetación

En lo referente a la vegetación, se presentan cultivos de palmito, cacao y principalmente palma africana, actividad principal que se realiza en la zona. Algunas zonas menos intervenidas, hay remanentes de bosque secundario, con poca vegetación arbustiva.

3.2 ESQUEMA DEL DIAGRAMA DE PROCESO

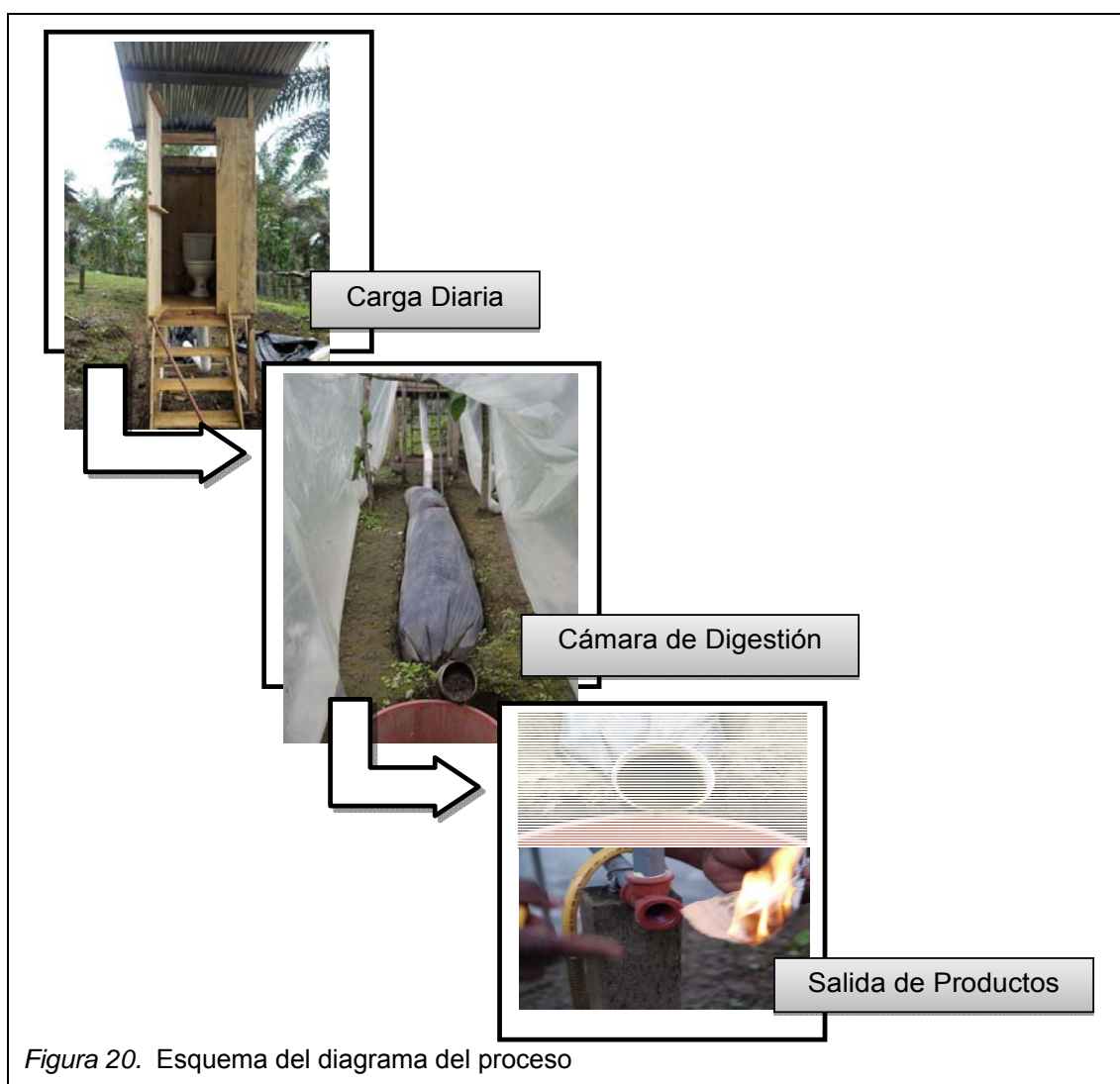


Figura 20. Esquema del diagrama del proceso

El sistema sanitario doméstico propuesto se basa en la construcción de un baño con un inodoro convencional, conectado a un biodigestor para la degradación de la materia orgánica proveniente de las descargas, del cual se obtiene biogás y biol.

Para la carga de agua del inodoro, se diseñó un sistema de recolección de agua lluvia, en base a las características climáticas de la zona, ahorrando de esta forma el valor por el pago de servicio de agua y a la vez se cumple uno de los objetivos de este proyecto, el cual es que el sistema sustentable. Además este tipo de recolección está justificada debido a que al realizar los análisis

situacionales de la zona, se identificó que no se cuenta con un sistema de alcantarillado, ni con un sistema de agua potable, razón por la cual no se puede utilizar esta fuente para la carga del inodoro. Los pocos inodoros que se encuentran en los alrededores, realizan la carga del tanque del inodoro con agua tomada de los esteros que se encuentran cerca.

Para el tratamiento de las descargas, se escogió un biodigestor tubular, en el cual se va a llevar a cabo la degradación anaeróbica. Para realizar la primera carga del biodigestor, la cual es igual al volumen líquido de este, se lo llena con una mezcla de estiércol vacuno y heces humanas, esto se debe a que no es posible recolectar tanta cantidad de excretas humanas para realizar este llenado. Se lo realizó con estiércol vacuno debido a que la disponibilidad de este es inmediata, por la cantidad de ganado que se encuentra en la zona.

Una vez que pase el tiempo de retención establecido, ya se obtienen los primeros productos del sistema, los cuales están representados por el biol y el biogás.

3.3 CÁLCULOS DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DEL BIODIGESTOR

Para realizar los cálculos de los parámetros del diseño del biodigestor se ha tomado en cuenta la bibliografía publicada en la “Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares” (Martí, 2008) y “Volumen de Biodigestores” (Martínez, 2007), en donde se diseña el biodigestor en base a la disponibilidad de estiércol. Existe otras publicaciones en la cual se diseña el biodigestor en base a la demanda de biogás que se vaya a utilizar; pero para este caso se partirá desde la disponibilidad de estiércol.

3.3.1 Carga Diaria

Este proyecto va dirigido a los trabajadores de la hacienda donde se implementará el sistema sanitario doméstico. Se toma en cuenta a ocho trabajadores, cada uno produce 0,4 kg de estiércol.

Cantidad de estiércol =

$$\text{Cantidad de estiércol} = 8 * 0,4$$

$$\text{Cantidad de estiércol} = 3,2 \text{ kg de estiércol diario}$$

$$\text{Cantidad de agua} = 24 \text{ kg de agua} *$$

Para determinar la cantidad de agua que se va a utilizar para mezcla de carga diaria, se modificó el mecanismo del inodoro disminuyendo la cantidad usual que utiliza de seis litros a 3 litros por descarga. Por lo tanto, el valor de carga diaria es:

$$\text{Carga diaria} = 3,2 \text{ kg} + 24 \text{ kg} = 27,2 \text{ kg}$$

$$\text{Carga diaria} = 27,2 \frac{\text{litros}}{\text{día}} *$$

* Nota: conversión de litros a kg en base a la densidad del agua que es igual a 1kg/lt

3.3.2 Tiempo de Retención

El biodigestor se implementará en una región cálida – húmeda, a una altura de 340 msm y una temperatura ambiente promedio de 25°C, por lo que según la tabla 13, se necesitará un tiempo de retención de 20 días. Para este sistema se decidió aumentar un 50% del tiempo de retención establecido, de manera que la degradación del estiércol genere un biol de mejor calidad y se logre un mayor porcentaje de degradación de los coliformes fecales existentes en las excretas humanas. (Martí, 2008, pp.31 - 32)

3.3.3 Volumen Líquido

$$V_L = \text{carga diaria} * \text{tiempo de retención}$$

$$V_L = 27,2 \frac{\text{litros}}{\text{día}} * 30 \text{ días}$$

$$V_L = 816 \text{ litros}$$

3.3.4 Volumen Gaseoso

$$V_G = \frac{V_L}{3}$$

$$V_G = \frac{816 \text{ litros}}{3}$$

$$V_G = 272 \text{ litros}$$

3.3.5 Volumen Total

$$V_T = V_L + V_G$$

$$V_T = 1088 \text{ litros} = 1,088 \text{ m}^3$$

3.3.6 Producción de Biogás

La primera carga del biodigestor, el cual es igual a un tercio del volumen líquido, se la realizó con estiércol vacuno debido a que no es posible obtener esta cantidad de excretas humanas para realizar la respectiva carga. Una vez realizada la primera carga, al día siguiente se alimentó el biodigestor con la mezcla del inodoro, hasta completar el volumen líquido requerido. Por esta razón para el cálculo de biogás se toma en cuenta tanto los valores de producción para el estiércol vacuno como para las excretas humanas.

Para la determinar la producción de biogás diario se han analizado dos métodos. El primer método es tomando en cuenta los valores de producción de biogás de los diferentes tipos de materia prima expuesto en la tabla 15. El segundo método de Kiely, G (1999, p.772), se basa en el cálculo de la

producción de biogás tomando en cuenta las propiedades químicas del estiércol, expuestas en la tabla 1.

El primer método de la producción de biogás tanto para el estiércol vacuno como para las excretas humanas expuesto por Martínez, C (2007, p.1) se describe a continuación:

$$P_B = \text{cantidad de excreta (kg)} * \text{rendimiento de biogás} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg excreta}} \right)$$

(Ecuación 6)

Estiércol vacuno

$$P_B = 3,2 * 0,04$$

$$P_B = 0,128 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Excretas humanas

$$P_B = 3,2 * 0,07$$

$$P_B = 0,224 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Con este primer método se obtuvo una producción de biogás 0,352 m³/ diarios.

Para el cálculo de la producción de biogás según el segundo método se utiliza la siguiente ecuación:

$$P_V = \alpha * n * Q_0 * Cl \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right)$$

(Ecuación 7)

Donde:

P_V : Producción de biogás (m^3)

a: Constante de producción de biogás= 0,35 (m^3/kg)

n: fracción de DQO biodegradable (0,85)

Q_0 : Caudal diario ($m^3/día$)

C_i : DQO afluente = 0,000450 (excretas humanas), 0,035600 (kg/l) (tabla 1)

$$P_{V\text{ humano}} = \left(0,35 \frac{m^3}{kg}\right) * (0,85) * \left(27,2 \frac{l}{día}\right) * \left(0,00045 \frac{kg}{l}\right)$$

$$P_{V\text{ humano}} = 0,0036414 \frac{m^3}{día}$$

$$P_{V\text{ vacuno}} = \left(0,35 \frac{m^3}{kg}\right) * (0,85) * \left(27,2 \frac{l}{día}\right) * \left(0,035600 \frac{kg}{l}\right)$$

$$P_{V\text{ vacuno}} = 0,288 \frac{m^3}{día}$$

Una vez realizados los cálculos utilizando la segunda ecuación se determinó una producción de biogás de 0,2917 m^3 /diarios.

Se puede observar que ambos los resultados difieren en 0,06 m^3 / diarios, obteniendo una mayor producción con los cálculos del primer método.

Lo más óptimo es que la producción de biogás sea el doble de los valores obtenidos de los cálculos (Martí, 2008, p.43). por lo tanto, tomando en cuenta los valores obtenidos de los dos métodos, estos serían los valores deseados de producción de biogás:

- 0,704 m^3 / diarios de biogás
- 0,583 m^3 / diarios de biogás

Para poder diseñar el reservorio de biogás es necesario tomar en cuenta el valor que se obtiene de producción de biogás, debido a la diferencia que existe entre estos valores no se puede considerar un solo valor, hasta no demostrarlo

una vez puesto en marcha el sistema. Con el fin de poder considerar ambos métodos, se realizó un promedio entre estos y se obtuvo un valor de 0,642 m³biogás/diarios. En base a este valor se diseñará el reservorio de biogás.

3.3.7 Producción de Biol

Para determinar la cantidad de biol que se va a producir, es necesario tomar en cuenta dos factores importantes; la mezcla de carga diaria y el tiempo de retención. Se determina que el 85% de la carga diaria será El efluente de salida del biodigestor, del cual el 90% es biol y el 10 % biosol (Castellanos, 2011, p.38), una vez transcurridos los días determinados para el proceso de degradación.

Para este sistema se calculó una carga diaria de 27,2 litros y un tiempo de retención de 30 días, por lo tanto, se obtendrá 20,80 litros de biol diarios, una vez transcurridos los 30 días de haberse puesto en marcha el sistema, esto equivale a una producción mensual de 624 litros de biol.

En lo referente al biosol o la parte sólida del abono, este no puede ser evacuado de manera diaria, ya que debido a las características del biodigestor tubular, esta parte se la aprovechará una vez terminado el tiempo de vida útil del biodigestor.

3.4 DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR

Para el dimensionamiento del biodigestor es necesario conocer el volumen total, valor del cual se determinará la longitud del mismo. Para su construcción se utilizará plástico tubular, el cual se presenta en diferentes anchos de rollo en el mercado, por lo que se analizará cada uno de sus dimensiones en base a la guía de diseño e instalación de biodigestores familiares de Martí, (2008, pp.26-30).

El ancho del rollo determina el diámetro y radio del biodigestor, en la siguiente tabla se muestra las características mencionadas para cinco diferentes anchos de rollo.

Tabla 15. Parámetros según el ancho del rollo

Ancho de rollo (m)	Perímetro de la circunferencia (m)	Radio (m)	Diámetro (m)
1	2	0,32	0,64
1.25	2.5	0,40	0,80
1.50	3	0,48	0,96
1.75	3.5	0,56	1,12
2	4	0,64	1,28

Tomado de Martí, 2008, p.27.

3.4.1 Longitud del Biodigestor

El biodigestor tiene la forma de un cilindro, por lo que se tomará en cuenta la fórmula del volumen de este para determinar la longitud total necesario para armar el biodigestor. El volumen viene expresado por la siguiente ecuación:

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

(Ecuación 8)

Despejando la longitud se tiene:

$$L = \frac{V}{\pi * r^2}$$

(Ecuación 9)

De manera que se facilite el cálculo de la longitud para cada ancho de rollo se calcula la sección eficaz de cada una, expresada por $\pi * r^2$. Una vez realizados los cálculos se los reemplaza en la ecuación de la longitud, determinando este valor para cada rollo. El volumen total es de 1,088 m³.

Tabla 16. Longitud del biodigestor

Ancho de rollo	Sección eficaz ($\pi * r^2$)	Longitud del biodigestor
1	0,32	3,4
1.25	0,50	2,2
1.50	0,72	1,5
1.75	0,99	1,1
2	1,29	0,8

Nota: se calcula la longitud del biodigestor en base de la fórmula del volumen del cilindro, $V = \pi * r^2 * L$, de la cual se despeja la longitud y tomando en cuenta los valores ya determinados del radio para cada tipo de rollo y el volumen total, se calcula la longitud para cada ancho de rollo. Adaptado de Martí, 2008, p.28.

3.4.2 Relación Óptima entre longitud y diámetro del biodigestor

De manera que se pueda escoger la longitud óptima de biodigestor, se toma en cuenta la relación óptima que existe entre la longitud y el diámetro, cuyo valor está en un rango de 5 a 10, considerando como 7 la relación óptima. Este valor se determina dividiendo la longitud por el diámetro de la manga y se seleccionará el ancho de rollo según el rango antes mencionado.

Tabla 17. Relación óptima entre longitud y diámetro del biodigestor

Ancho de rollo	Longitud del biodigestor	Diámetro (m)	L/d
1	3,4	0,64	5,3
1.25	2,2	0,80	2,7
1.50	1,5	0,96	1,6
1.75	1,1	1,12	1,0
2	0,8	1,28	0,7

Nota: se calcula la relación óptima entre longitud y diámetro dividiendo estos valores entre sí, de manera que se pueda escoger el ancho de rollo a adquirir, tomando en cuenta que este parámetro se encuentre en un rango entre 5 y 10, siendo el valor óptimo 7.

En base al rango mencionado se escogió un rollo con un ancho de un metro y una longitud de 3,4 metros.

3.4.3 Dimensionamiento de la Zanja

Una vez determinado el ancho y la longitud del biodigestor, se debe dimensionar la zanja en donde se va a colocar el biodigestor. Las dimensiones de la altura, de la base inferior y superior, para cada ancho de rollo se determinan en la tabla 18.

Tabla 18. Dimensionamiento de la zanja

AR	Dimensiones según el ancho del rollo (AR)				
	1	1,25	1,5	1,75	2
a (m)	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
b (m)	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
p (m)	0,6	0,7	0,8	0,9	1

Nota: se muestran las dimensiones de la zanja donde se va a alojar el biodigestor, entendiendo como a: base inferior de la zanja, b: base superior de la zanja y p: altura.
Tomado de Martí, 2008, p.29.

3.5 PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN

3.5.1 Construcción e Instalación del Baño

Para la construcción del baño se realizó en base al modelo de un baño convencional sin tomar en cuenta el espacio necesario para el lavamanos, por lo que se suprimió este espacio y se calculó tan solo el necesario para la instalación del inodoro. (Anexo 2)

Los materiales necesarios para construcción del baño son:

- 80 tablas
- 5 libras de clavos de 2 ½"
- Una lámina de zinc
- Un picaporte
- Tres bisagras

La construcción del baño se la realizó en una carpintería de la zona, en donde contaban con todas la herramientas necesarias para que el trabajo se realice de manera mucho más rápida y el producto final sea de mejor calidad. Es importante que se haya realizado este trabajo en un lugar cercano a la hacienda, de manera que se pueda facilitar su traslado.



Figura 21. Proceso de construcción del baño

Una vez trasladado el baño al lugar de la instalación, se procede a realizar los orificios en el suelo donde se lo va a enterrar. Una vez colocado en su lugar, se coloca ripio en cada uno de los orificios de manera de lograr una mejor estabilidad y no permita que la tierra vaya a ceder por el peso. Para la

instalación del baño se requirió de la ayuda de los trabajadores de la zona, de manera que desde el inicio del proceso se los va involucrando con el sistema y sepan cómo es su funcionamiento.



Figura 22. Proceso de instalación del baño

3.5.1.1 Sistema de recolección de agua lluvia

Volumen del tanque de almacenamiento

La selección del tamaño del tanque para el almacenamiento de agua lluvia, se basó en los datos obtenidos del análisis de la precipitación de la zona, donde se obtuvo una precipitación media de 470 mm al mes, además se considera la cantidad de agua que se utiliza para el funcionamiento del baño.

Se considera que un 75% de los trabajadores utilizan el baño diariamente, esto debido a los horarios de la jornada laboral. Considerando esto se obtendría el siguiente valor para la cantidad de agua diaria necesaria para el funcionamiento del inodoro:

número de trabajadores que usan el baño = $8 * 0,75$

número de trabajadores que usan el baño = 6 personas

cantidad de agua diaria = $6 * 3$ litros de agua

cantidad de agua diaria = 18 litros

cantidad de agua mensual = $18 * 24$ días

cantidad de agua mensual = 435 litros

Al comparar la cantidad de agua que se necesita mensualmente para el funcionamiento del inodoro y la precipitación de la zona, se concluye que se obtendrá la cantidad suficiente para abastecer de agua al inodoro, para su normal funcionamiento, ya que se tiene un superávit de 35 litros mensuales.

En base a estos resultados se decidió instalar un tanque de 220 litros de capacidad, ya que es suficiente para un flujo continuo de agua necesario para la alimentación del tanque y utilización del inodoro.

Instalación del tanque de almacenamiento de agua lluvia

Para la instalación del sistema de recolección de agua se usan los siguientes materiales:

- Tanque plástico de 60 galones de capacidad
- 2 Válvulas Macho 1"
- 2 Válvula hembra de 1"
- Neplo 1"
- Reducción de 1" a ½"
- Codo de ½"
- 2 metros tubo PVC de ½"

El tanque de almacenamiento de agua lluvia se localiza en la parte posterior del baño, sobre un tablero que se lo incorpora a la estructura del baño. Para la alimentación del tanque se lo realiza mediante gravedad, es decir, se coloca la lámina de zinc en el techo del baño con un ángulo de inclinación de 15°, de manera que agua caiga hacia la parte posterior, además se coloca un canal con una abertura en el medio, de manera que se aumente la superficie de contacto y no exista desperdicio de agua.

Al tanque plástico se le debe realizar algunas modificaciones, de manera que el agua que se almacene en este se dirija hacia el inodoro y se realice el llenado del tanque con la cantidad necesaria para la descarga. Primero se realiza dos orificios, uno en la parte inferior – media y el otro en la parte superior del tanque, en cada uno de estos orificios se instala las uniones de las válvulas hembra – macho. La válvula que se coloca en la parte inferior del tanque, donde se conecta a continuación la reducción y la tubería que se conecta al tanque del inodoro. La válvula que se instala en la parte superior, sirve de desfogue, en caso de que el tanque se llene por completo, el agua no se desborde.



Figura 23. Proceso de instalación de sistema de agua lluvia

3.5.1.2 Instalación del Inodoro

Los materiales necesarios para la instalación del inodoro son los siguientes:

- Inodoro
- Anillo de cera para inodoro
- 2 tubos PVC 4", uno metro cada tubo
- Codo PVC 4"
- Unión PVC 4"

La instalación del inodoro se la realiza de la manera convencional como cualquier sistema. Las variaciones que se presentan en este inodoro, es la modificación del tanque, de manera que cada descarga sea de solo tres litros de agua, ya que los sistemas del inodoro se diseñan para descargar seis litros de agua.

Para realizar la conexión del inodoro hacia el biodigestor se utilizan los tubos pvc de 4", uno que baje del inodoro y se conecte con el otro tubo mediante un codo el cual se va a conectar al biodigestor mediante la unión de pvc.



3.5.2 Construcción e Instalación del Biodigestor

3.5.2.1 Construcción del Biodigestor

Los materiales que se necesitan para la construcción del biodigestor se enlistan a continuación:

- Dos tubos PVC 4", un metro cada uno
- 15 metros de plástico tubular
- Válvula hembra – macho ½"
- Dos tapas plásticas PVC
- Dos discos de neumático 10 cm de diámetro
- Ligas de neumático
- Cinta gris de tela (cinta para ductos)

En base a los cálculos realizados del volumen total requerido se determinó el ancho y la longitud del plástico tubular. Según los cálculos se obtuvo que se necesita una longitud de 3.40 metros de polietileno tubular de un metro de ancho.

Para realizar la manga del biodigestor se recomienda que este sea de doble capa (Martí, 2008, p.44). Para el caso del biodigestor a implementará se realizará una manga de tres capas, esto debido a que el plástico que se adquirió no era muy grueso, así se evitaría cualquier problema por cualquier desperfecto que presente el plástico.

Además del plástico necesario para la longitud del biodigestor, es necesario tomar en cuenta un metro de adicional de plástico para realizar el amarre en los tubos de entrada y salida del biodigestor.

En base a los calculos realizados, los cuales se resumen en la siguiente tabla se desarrollarán cada uno de los pasos para la construcción del biodigestor.

Tabla 19. Biodigestor tubular Hacienda Atalaya

Biodigestor Tubular Hacienda Atalaya	
Mezcla Carga diaria: 27,2 litros	
Tiempo de retención: 30 días	
Temperatura ambiente: 23°C aprox	
Temperatura de trabajo: 25°C aprox	
Volumen líquido	816 litros
Volumen gaseoso	272 litros
Volumen total	1088 litros
Ancho de rollo	1 metros
Longitud del biodigestor	3,40 metros
Longitud del plástico por capa (+1 metro para amarre)	4,40 metros
Plástico total	13,20 metros
Ancho inferior de la zanja	0,3 metros
Ancho superior de la zanja	0,5 metros
Profundidad de la zanja	0,6 metros

Los pasos para la construcción de la manga del biodigestor se describen a continuación:

- Cortar tres capas de 4, 40 metros cada una, de plástico tubular.
- Pasar cada una de las capas dentro de la manga, procurando que evitar que el plástico sufra alguna rotura y estirar totalmente para que no queden dobleces entre cada capa.
- Estirar la manga sobre una superficie plana para comprobar que no quedo ningún doblez entre capa y capa.



- Una vez que se tenga la manga de plástico se debe realizar la salida para el biogás. Para la salida de biogás se utilizan las válvulas hembra – macho de $\frac{1}{2}$ ". Para evitar que exista alguna fuga de gas se debe adicionar cuatro discos, dos discos blandos y dos discos de plástico duro. Estos discos se colocan de manera alterna entre la válvula hembra y macho, de tal forma que se logre un sello hermético.
- La salida de biogás se debe hacer aproximadamente en la mitad del biodigestor, pero más cercana a la entrada del biodigestor. La válvula se colocó a 1.70 metros de la entrada del biodigestor.



Figura 26. Salida de biogás

- Una vez hecha la salida de biogás, hay que cerrar los extremos de la manga de plástico, amarrando cada extremo a los tubos de pvc 4". Es importante limar cualquier aspereza de los filos del tubo, para evitar que el plástico se rompa al momento del amarre.
- Antes del amarre, es necesario medir 50 cm de cada extremo, sección que corresponde al amarre. Se introduce el tubo de forma que queda 20 cm de tubo a la vista, 50 cm para el amarre y 30 cm dentro del biodigestor.
- El tubo se coloca en el interior del plástico, se coge el lateral del plástico y se lo va haciendo pliegues como un acordeón, lo mismo se realiza con el otro lado del plástico. Una vez hecho esto, se realiza el amarre con las ligas del neumático, procurando ajustar bien en cada vuelta y solapando cada vuelta por encima de la anterior, de esta manera se va ascendiendo hasta completar los 50 cm de amarre. Este procedimiento se realiza de igual forma en el otro extremo de la manga.
- Para evitar que haya fuga por el amarre del plástico, se utiliza la cinta gris de tela para envolver la sección previamente amarrada con la liga de neumático.



Figura 27. Tubos de entrada y salida del biodigestor

3.5.2.2 Instalación del Biodigestor

Durante la instalación del biodigestor es importante protegerlo de cualquier rozadura que pueda lastimar el plástico.

Preparación del área de instalación

El área de instalación del biodigestor tiene que estar limpio, es decir, que no existan árboles o ramas cercas que puedan caer sobre el biodigestor. Es importante que el nivel del suelo donde se va a excavar la zanga este nivelado.

Una vez realizado la limpieza, se procede a la excavación de la zanga según las medidas obtenidas en la tabla 18. La zanga debe estar nivelada, se permite una inclinación de máximo del 5%. Se debe tener cuidado que las paredes

estén lisas y no contengas piedras o raíces que puedan perforar el plástico. Las paredes deben estar inclinadas, como formando una V.

En el fondo de la zanja, se la rellena con fundas plásticas provenientes de las plantas del invernadero, el propósito de hacer esto es que el biodigestor se acomode bien en esta área y también se mantenga la temperatura dentro del biodigestor.

En los extremos de la zanja se debe hacer una pequeña excavación del diámetro del tubo PVC, donde se van a alojar estos para que no se muevan.

Una vez que se coloca el biodigestor dentro de la zanja, se deben asegurar los extremos al suelo, el tubo de entrada se coloca de forma que la parte media de este coincida con el extremo del tubo de salida.

Cavar una pequeña zanja alrededor del biodigestor, la cual tiene como función evitar que la zanja del biodigestor se inunde.

Para el almacenamiento del biol se cava un hueco a la salida del biodigestor donde se coloca un tanque para la recolección del bioabono. Como se calculó en el numeral 3.3.7, el valor que se obtiene de biol es de 20,80 litros diarios, la aplicación de este biol se la realizará semanal, por lo que el tanque almacenará un volumen de 104 litros. Por lo tanto se excavó un hueco en el que quepa un tanque de 30 galones.



Figura 28. Instalación del biodigestor

3.5.3 Instalación Sistema de Conducción de Biogás

Los materiales para la instalación de la conducción de biogás son los siguientes:

- 6 metros de tubo PVC ½"
- Dos tee ½"
- Codo ½"
- Dos válvulas bola ½"

- Cinta teflón
- Manguera para gas
- Antorcha de gas corta

La conducción del gas se hace de forma directa desde el biodigestor, mediante la instalación de tubos, válvulas, codos y tee de forma que sea necesario.

A partir del biodigestor se conecta un tubo pvc ½" de un metro de largo, este tubo se amarra a una estructura encima del biodigestor de manera que quede firme, a continuación se conecta otro tubo mediante un codo, al final de este tubo se coloca la válvula de seguridad.

La válvula de seguridad es una botella de plástico con agua, la cual permite que en caso de que no se utilice el biogás, este tenga por donde salir, y a la vez se evita que entre aire del exterior, además este sirve de filtro para retener el ácido sulfhídrico al insertar un estropajo de lana de acero dentro de la botella. (Martí, 2008, p.63)

La instalación de la válvula de seguridad se la realiza empleando una tee, donde uno de sus extremos está conectado a la tubería que sale del biodigestor, el otro extremo se conecta a la tubería que se dirige a la cocina y el extremo inferior se coloca un tubo que se inserta en la botella de agua previamente llena de agua. El nivel del agua de la botella se debe mantener a 13 cm. Cada día se debe revisar el nivel de agua de la botella.



Figura 29. Válvula de seguridad

Continuando con la conexión se conecta un tubo en el otro extremo de la tee que va dirigido hacia la cocina. El largo del tubo es de 1,50 metros, al extremo de este tubo se coloca un válvula bola, la cual se permite realizar el mantenimiento del sistema de tuberías al momento que esta se encuentra cerrada.

Del extremo de la válvula bola se continúa con la conexión hasta llegar a una tee en la cual se conecta el reservorio de biogás y por el otro extremo se lo conecta a la cocineta.



Figura 30. Instalación de la conducción de biogás

3.5.3.1 Almacenamiento de Biogás

Para el almacenamiento de biogás se construye un reservorio que tendrá la misma forma que el biodigestor y cuyo procedimiento de construcción es igual. Las materiales que se utilizan para la construcción del reservorio son:

- 2,5 metros de plástico tubular
- Válvula hembra – macho ½"
- Liga de neumático

- Cinta gris de tela
- 50 cm de tubo pvc ½"

Para determinar el tamaño del biodigestor se toma en cuenta el procedimiento que se realizó para la construcción del biodigestor. Se estima que la producción de biogás es de 0,642 m³/diarios (cálculos de producción de biogás, numeral 3.3.6). Los resultados de los cálculos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 20. Dimensionamiento del reservorio de biogás

DIMENSIONAMIENTO DEL RESERVORIO DE BIOGÁS				
ANCHO (m)	RADIO (m)	DIÁMETRO (m)	SECCIÓN EFICAZ ($\pi \cdot r^2$) (m³)	LONGITUD (m)
1	0,32	0,64	0,32	2,0

Para la sección de amarre se adiciona 50 cm de plástico, es decir, 25 cm para el amarre de cada extremo. La manga del reservorio se la realiza de una sola capa de plástico tubular. Como se mencionó el procedimiento para su construcción es igual al del biodigestor.

Una vez terminada la construcción del reservorio, este se lo conecta al sistema de conducción de biogás mediante un tubo PVC de ½", antes de conectar el reservorio a la tubería se coloca una válvula bola entre estos. La válvula permite mantener el biogás en el reservorio al en caso de que no se esté utilizando.

El reservorio de biogás se debe colocar bajo techo de forma que se lo proteja del viento y a lluvia. Se instaló un techo para el reservorio hecho se hojas de palma africana para protegerlo.



3.6 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

3.6.1 Arranque del Sistema

Llenar el biodigestor con 816 litros de mezcla estiércol – agua, correspondiente al volumen líquido del biodigestor.

La primera carga se la realiza con una mezcla de estiércol vacuno y excreta humana en relación 2:1, respectivamente. El llenado con estiércol vacuno se la realiza de forma manual, realizando la mezcla con agua en un tanque aparte.

La relación de estiércol con agua proveniente del ganado vacuno se la hace en una relación 1:1. Mientras que la porción de excretas humanas se mezcla con tres litros de agua, para llenar la porción restante del volumen líquido, se realiza la conexión del biodigestor al tubo de salida del inodoro, realizando las descargas de según se use el baño.



Figura 32. Llenado del biodigestor

El sistema fue instalado en el mes de abril, el cual según el análisis de precipitación de la zona es una época lluviosa. Para evitar que el agua lluvia altere la temperatura de trabajo del biodigestor se decidió tapar el biodigestor con plástico de invernadero transparente, manteniendo de esta forma la temperatura del sistema y también evita que este se inunde. Para el techado se utiliza 5m metros de plástico, cuyo ancho es de cuatro metros.



Figura 33. Techado del biodigestor

3.6.1.1 Monitoreo de Temperatura

Se realizó el monitoreo de la temperatura ambiente y la de trabajo del biodigestor, durante 15 días, en tres horarios distintos.

El monitoreo de la temperatura de trabajo se lo realizó en tres diferentes puntos del biodigestor, de forma que se pueda controlar el proceso de las bacterias anaeróbicas y tomar medidas de emergencia en caso de que no se mantenga una temperatura promedio de 25°. (Anexo 3)

Los puntos de medición se lo realizó en la parte inicial, media y final del biodigestor, teniendo como resultado tres valores de temperatura por hora de medición.

3.6.1.2 Verificación de la Producción de Biogás

Para la verificación de la producción de biogás se realizó el monitoreo del sistema durante los 30 días del tiempo de retención.

Se realizaron pruebas diarias de la salida de biogás, encendiendo un papel a la salida de la tubería de conducción de biogás.

3.6.2 Mantenimiento del Sistema

- Biodigestor

Revisar diariamente que no se encuentre agua dentro de la zanja del biodigestor.

Revisar que no haya rotura en el plástico.

Retirar cualquier tipo de maleza que pueda estar creciendo cerca al biodigestor, de manera que no se ocasione alguna rotura en el plástico.

Limpiar la zanja que se encuentra alrededor del biodigestor, para evitar que entre agua en la zanja donde se aloja el biodigestor.

- Agitación

La agitación se la debe realizar de forma manual diariamente, aplastando el biodigestor, teniendo cuidado de no forzar el plástico. De esta manera se evita la formación de costras en la superficie de la mezcla. Al formarse costras en la superficie de la mezcla, no se permite que el biogás salga y ocupe el volumen destinado para este.

- Válvula de seguridad

Verificar diariamente que el nivel de agua de la botella, en caso de haber bajado llenarlo hasta el nivel indicado.

Si se observa que el agua de la botella está muy turbia por el óxido cambiarla según se requiera.

El estropajo de acero se lo debe cambiar cada tres meses. En caso de ver mucho desgaste de este antes del tiempo recomendado de cambio, sustituirlo por otro. Para este proyecto el cambio del estropajo de acero se la realizo mensualmente, debido al desgaste de este.

- Almacenamiento de bioabono

Verificar que el nivel de bioabono del tanque no se desborde del mismo para evitar desperdicios. Una vez que el tanque este el 75% del tanque lleno aplicar al vivero.

- Inodoro

Verificar que el tanque de agua del inodoro se llene después de cada descarga. En caso de que no se llene verificar si el tanque de almacenamiento de agua se encuentra lleno.

4 CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 REGISTRO DE TEMPERATURA

Como se mencionó en el subcapítulo de arranque del sistema, se realizó el monitoreo de la temperatura de trabajo del biodigestor, de forma que se pueda verificar que la temperatura del interior del sistema sea la óptima para la actividad bacteriana.

Para que el crecimiento bacteriano y por ende la producción de biogás se mantenga constante, es necesario mantener un rango de temperatura mesófilo, de 25° a 40°C.

La actividad bacteriana se potencia en la parte media del biodigestor, debido a que en esta parte la mezcla ya no se encuentra en mayor movimiento permitiendo de esta forma que se realice la actividad metabólica de las bacterias anaeróbicas; en este punto se encuentra la salida de biogás, por esta razón se tomará mayor interés en el promedio de temperatura que de este punto.

Como resultado del monitoreo de la temperatura de trabajo del biodigestor se obtuvo un promedio de 25.7°C en el punto inicial, 30.9°C en el punto medio y 25,9°C en el final del biodigestor; en un horario de 7 a 8 am, 1 a 2 pm y 6 a 7 pm, respectivamente.

La temperatura óptima de trabajo es de aproximadamente 30°C, de esta manera se mantiene una temperatura mesófila, la cual es óptima para la actividad bacteriana.

4.2 ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Se realizó el monitoreo del sistema de producción de biogás durante 30 días desde la primera carga del biodigestor. Al día 20 se obtuvo el primer resultado

de biogás, al hacer la prueba encendiendo un papel cerca de la tubería de salida. Desde ese momento la producción fue constante e iba aumentando hasta llegar al día 30 cuando esta cantidad se mantuvo constante, esto se pudo constatar debido a que el biodigestor para este día se encontraba totalmente lleno.



Debido a la dificultad para la medición de biogás, por no poder encontrar un dispositivo que midiera este tipo de gas, debido a que la presión a la que sale del biodigestor no es constante, por lo que se decidió optar por una medición empírica. Esta mediación se basa en la cuantificación del biogás empleando el reservorio que se instala en el sistema. El procedimiento que se siguió fue el siguiente:

- Una vez que la cantidad de biogás que sale es constante, se abre la válvula bola que conecta al reservorio. Se dice que se mantiene constante ya que la llama no se apagó enseguida, se mantuvo prendida durante cinco minutos.
- El llenado del reservorio se hizo en aproximadamente 15 minutos.

- Una vez lleno el reservorio se cierra la válvula y se realizan pruebas con la antorcha de gas y se verificó que ya no salía más gas debido a que este no prendía.
- Este procedimiento se realizó durante una semana, teniendo todos los días el mismo resultado.

En base a este método de medición se concluye que la producción de biogás diaria coincide con el valor calculado mediante la bibliografía siendo este de $0,642\text{m}^3$ biogás/diarios. Como se mencionó este tipo de medición de biogás es empírica, el objetivo es que se pueda utilizar los medios que se encuentren en la zona. En el caso del dispositivo para la medición de biogás no se pudo conseguir un dispositivo que midiera la cantidad de biogás que se obtiene del sistema.

En lo referente al uso de biogás se optó por su aplicación en una cocineta para la cocción de alimentos. Es necesario realizar una modificación en el mecanismo de la cocina ya que la presión con la que sale el gas no es suficiente como para que se prenda.

En la cocina se debe retirar el prendido automático y aumentar el tamaño de los orificios de la hornilla. Una vez realizados estos cambios se procedió a la experimentación y se logró utilizar una hornilla durante 20 minutos aproximadamente.

El uso de biogás no se lo puede considerar del todo rentable por el momento, debido a que todavía existe el subsidio de gas en nuestro país, lo que hace que el gasto para adquirir este bien no sea mayor y no se lo aprecie como se debería si no existiera el subsidio.

Con el biogás que se obtuvo del sistema se puede cocinar durante unos 40 minutos, pasado este tiempo la llama baja hasta apagarse.



Figura 35. Producción de biogás

4.3 ANÁLISIS DEL BIOABONO

La palma africana es una planta con un elevado potencial de producción y debido a su alta productividad la extracción y uso de los nutrientes en este cultivo es alto. Los nutrientes pueden ser procedentes de las reservas minerales que existen en el suelo, productos del reciclaje de partes de la planta, por efecto de la fijación de los cultivos de cobertura y por último, por productos abonados de un programa de fertilización.

Una serie de ensayos sobre fertilización en palma africana, han permitido establecer una relación entre la producción y los porcentajes de elementos minerales, estableciéndose así los niveles críticos, aunque para cada

plantación deberán establecerse los mismos. A continuación se presenta un programa orientativo de fertilización para cultivos jóvenes:

Tabla 21. Recomendaciones de fertilizante para palma

Fuente	Plantas jóvenes Kg/palma			
	0 – 1 Año	1 – 2 Años	2 – 3 Años	3 – 4 Años
Urea	0,5	1	1,5	2
Triple super fosfato	0,2	0,5	0,75	0,75
Sulfato de Potasio	0,75	0,75	1,5	1
Cloruro de Potasio	0	0	0	1
Borax	0	0,06	0,006	0,06
Sulfato de Magnesio	0,25	0,25	0,25	0,25

Nota: se muestran los tipos de nutrientes que necesita una plantación de palma africana desde que es una plántula hasta los 4 años de crecimiento.

Tomado de Sáenz, 2006, p.14.

En la tabla 21, se puede observar que los nutrientes básicos que necesita una planta de palma africana son, fósforo, magnesio, potasio, magnesio, nitrógeno. Actualmente para la fertilización de la plantación de palma en la Hacienda Atalaya se utiliza un fertilizante llamado Seaweed Extract.

Seaweed Extract Fertilizer, es un extracto de algas marinas líquido utilizado como fertilizante suplemento orgánico que se aplica a las plantas a través de las aplicaciones foliares. Este fertilizante mejora la capacidad de la planta de captación de nutrientes disponibles crecientes rendimientos de los cultivos y la calidad de las frutas y reducir el impacto medioambiental de los fertilizantes y fungicidas.

Su contenido nutricional se basa en los siguientes compuestos:

- 0,3% N,
- 0,1% P,
- 1.0% K,
- aminoácidos.

Al analizar el biol que se obtiene del proceso de digestión anaeróbica, pasados los 30 días del tiempo de retención, se puede observar que su contenido nutricional no es muy alto, como para poder reemplazar los abonos comerciales que se utilizan actualmente. En la Tabla 22, se presentan los resultados del análisis realizado en el laboratorio de suelos del INIAP de Santa Catalina, Quito, de una muestra de biol.

Tabla 22. Resultados de análisis del biol

Estación experimental Santa Catalina de suelos, plantas y aguas	
Nombre de la granja:	Las Golondrinas
Localización:	Provincia Esmeraldas
	Cantón Quinindé
	Parroquia Malimpia
Fecha de muestreo:	30/06/2013
Muestra:	Biol
Fecha de ingreso al laboratorio	01/07/2013
Fecha de entrega	12/07/2013

Informe de resultados de muestras de biol		
pH	6,56	
C.E.	1,33	dS/m
N TOTAL	0,16	g/100ml (%)
P	0,01	
K	0,03	
Ca	0,06	
Mg	0,02	
S	0,01	
M.O	3,5	
B	0,1		mg/l (ppm)
Zn	2,1	
Cu	1,8	
Fe	90	
Mn	14	

C.E = Conductividad eléctrica

dS/m = decisiems/metro

Nota: Informe de resultados muestra de biol. (Anexo 4)

En esta tabla se puede observar que el contenido nutricional del biol no es el óptimo como para reemplazar los abonos comerciales que actualmente se utilizan en estas plantaciones, pero a pesar de esto no se descarta su aplicación, por lo que se decidió utilizar el biol como complemento a la fertilización que se está realizando actualmente al cultivo, con una aplicación foliar mensual al cultivo de palma africana.

Debido a su alto contenido de hierro, este bioabono se lo puede utilizar para trata carencias de hierro existentes en el cultivo. La carencia de hierro se da principalmente por el pH, se da una disminución de este compuesto en suelos ácidos con un pH de 7,5. La forma de aplicación se la realiza de forma directa en el suelo.

En lo referente al manganeso, se observa que su valor también es significativo, por lo que este biol también puede ser utilizado en suelos con carencia de manganeso.

De forma global este bioabono se lo puede aplicar de forma foliar en plantas cuyas exigencias de micronutrientes como el hierro, cobre, manganeso y boro son necesarias en pequeñas cantidades. En caso de que la exigencia sea mayor para macronutrientes como fósforo, potasio, calcio, magnesio, nitrógeno y azufre, la aplicación se la debe realizar directamente en el suelo ya que estos nutrientes son los responsables del fortalecimiento de las raíces.

Como se mencionó en el subcapítulo referente a las restricciones de aplicación del biol, la aplicación de este se limita a plantas en donde el fruto no se encuentre expuesto de forma directa al biol, esto debido a la cantidad de coliformes fecales presentes en el biol. Para verificar el número más probable de coliformes fecales y de *Escherichia coli*, se realizó el análisis de una muestra de bioabono en el Laboratorio de Microbiología de Aguas y Alimentos de la Universidad Católica del Ecuador (Anexo 5).

Los resultados de los análisis de la muestra fueron:

- N.M.P de Coliformes fecales: 1600/100 mL de la muestra analizada
- N.M.P de Escherichia coli: 1600/100 mL de la muestra analizada

En el Libro VI, Anexo 1, referente a Norma de Calidad Ambiental y de Descarga De Efluentes: Recurso Agua, del TULAS (Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ecuador), se describen los criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola. El límite máximo permisible de coliformes totales es de 1000 NMP/100 MI.

Al comprar los resultados obtenidos de la muestra con lo que se permite en la ley se observa que el valor de es mayor al admisible, reafirmando lo antes dicho sobre la restricción del biol en ciertos cultivos. Restringiendo su uso principalmente en frutales y cultivos cuyo fruto se encuentren bajo tierra; permitiendo su aplicación foliar o directa en plantaciones forestales; para frutales la aplicación se la realiza a la tierra evitando el contacto con el fruto.

4.4 EFICIENCIA DEL SISTEMA

Al realizar un análisis comparativo del sistema sanitario domesticó con recuperación de energía propuesto y un sistema sanitario con un inodoro convencional se obtiene la siguiente tabla.

Tabla 23. Análisis comparativo del sistema sanitario domesticó

	SSD con recuperación de energía	Sanitario Convencional
Consumo de Agua	2,5 a 3 litros por descarga	6 litros por descarga
Fuente obtención del Agua	Recuperación de agua lluvia	Red de agua potable
Productos	0,642 m ³ Biogás y 20,80 litros de bioabono	Agua residual sin tratamiento
Recuperación de Energía	<ul style="list-style-type: none"> • 40 minutos para la cocción de alimentos • 4kw de electricidad • Funcionamiento de un lámpara de mantilla durante 4 horas • Funcionamiento de un motor de 1 HP por una hora 	No se recupera energía

Para demostrar la eficiencia del sistema, se basó principalmente en la recuperación de diferentes tipos de energía al aprovechar el biogás, producto del proceso anaeróbico por el que paso el agua residual descargada del inodoro.

El aprovechamiento del biogás no está limitado a la producción de un solo tipo de energía, por el contrario, se puede producir energía eléctrica, calórica, iluminación y cogeneración. Para este proyecto se decidió el aprovechamiento del biogás como energía calórica para la cocción de alimentos; si se lo compara con un sanitario convencional, es evidente que de un inodoro solo se obtiene un efluente de agua residual la cual va directo al sistema de alcantarillado sin un previo tratamiento.

5 CAPÍTULO V: ANÁLISIS COSTO/BENEFICIO

5.1 OBJETIVO DE LA ESTRUCTURA

Determinar los valores económicos del proyecto, ingresos que genera, su costo de implementación, sus gastos operativos y verificar si es factible la implementación de esta inversión en otros sectores agrícolas.

5.2 OBJETIVO FINANCIERO

Determinar los valores económicos del proyecto, ingresos que genera, su costo de implementación, sus gastos operativos y verificar si es factible la implementación de esta inversión en otros sectores agrícolas.

5.3 INVERSIÓN TOTAL

Para determinar la inversión que se utilizó en este proyecto se debe establecer los parámetros que se utilizaron para la elaboración y construcción del biodigestor ubicado en la Hacienda Atalaya.

Tabla 24. Materiales y presupuesto para la construcción

Materiales y Presupuesto para la Construcción Sistema Sanitario			
SANITARIO			
Cantidad	Producto	P. Unitario	P. Total
80	Tablones	0.93	\$ 74.00
5 lb	Clavos 2 1/2"	1.00	\$ 5.00
1	Lámina de Zinc	12.00	\$ 12.00
1	Juego 3 Bisagras	4.49	\$ 4.49
1	Picaporte	1.79	\$ 1.79
1	Inodoro	60.00	\$ 60.00
1	Anillo de Cera Inodoro	2.52	\$ 2.52
2	Tubo PVC 4", 1m	4.00	\$ 8.00
1	Codo 4"	3.15	\$ 3.15
1	Unión PVC 1/2"	1.00	\$ 1.00
1	Tanque Plástico 60 gl	45.00	\$ 45.00
2	Válvula hembra - macho 1"	2.24	\$ 4.48
1	Neplo 1"	0.39	\$ 0.39
1	Reducción 1" a 1/2"	0.50	\$ 0.50
1	Codo 1/2"	0.43	\$ 0.43
2 m	Tubo PVC 1/2"	2.67	\$ 5.33
1	Pega Tubo PVC 500 cc	7.71	\$ 7.71
sub-TOTAL 1			\$ 235.79
BIODIGESTOR			
2	Tubo PVC 4", 1m	4.00	\$ 8.00
14 m	Polietileno Tubular	1.46	\$ 20.38
1	Válvula hembra - macho 1/2"	2.12	\$ 2.12
2	Tapa plástica PVC	0.30	\$ 0.60
	Liga de Neumático	5.00	\$ 5.00
1	Cinta para Ductos	8.99	\$ 8.99
5 m	Plástico Invernadero	5.30	\$ 26.50
sub-TOTAL 2			\$ 71.60
CONDUCCIÓN DE BIOGAS			
6 m	Tubo PVC 1/2"	2.67	\$ 16.00
2	Tee pvc 1/2"	0.53	\$ 1.05
1	Codo 1/2"	0.43	\$ 0.43
2	Válvula Bola 1/2"	3.17	\$ 6.34
1	Cinta Teflón	0.30	\$ 0.30
1	Manguera para gas 2mt	3.68	\$ 3.68
1	Pitón de gas 1/2"	1.27	\$ 1.27
1	Antorcha de gas corta	12.05	\$ 12.05
sub-TOTAL 3			\$ 41.12
RESERVORIO DE BIOGAS			
1	Válvula hembra - macho 1/2"	2.12	\$ 2.12
2 m	Polietileno Tubular	1.50	\$ 3.00
sub-TOTAL 4			\$ 63.54
TOTAL			\$ 353.63

Nota: En esta tabla podemos observar los distintos materiales que se utilizaron para la elaboración del sistema sanitario, biodigestor y reservorio de gas.

Tabla 25. Costo de mano de obra.

Concepto	Valor Mensual	Valor Anual
Pago de Dia de Jornada	\$ 318.00	\$ 3,816.00
Decimo Tercero	\$ 26.50	\$ 318.00
Decimo Cuarto	\$ 26.50	\$ 318.00
Fondo de Reserva	\$ 26.50	\$ 318.00
Aporte Patronal (12.15%)	\$ 38.64	\$ 463.64
Vacaciones	\$ 26.50	\$ 318.00
TOTAL REMUNERACION	\$ 462.64	\$ 5,551.64

Nota: En esta tabla se especifica los diferentes tipos de beneficios que tiene un trabajador al estar afiliado. El Salario basado está en la Comisión Sectorial No. 1 "Agricultura y Plantaciones" Estructura ocupacional E2.

Para determinar la verdadera utilización de la mano de obra para la construcción y mantenimiento del sistema se debió tomar tiempos para así determinar cuánto se utilizó en tiempo porcentual al trabajador mensualmente en el mantenimiento del biodigestor y para la construcción del mismo.

Tabla 26. Mano de obra para construcción y mantenimiento

Horas Trabajadas Diarias	8
Horas Trabajadas Año	2112
Costo de Hora Trabajador	\$ 2.63
Uso proporcional de horas para la Construcción del Biodigestor	25
Costo Mano de Obra para la Construcción	\$ 65.72
Uso proporcional de horas para Mantenimiento al Mes	4
Costo Mano de Obra mensual	\$ 10.51
Costo Mano de Obra anual	\$ 126.17
Mano de obra construcción Baño	\$ 120.00

Nota: En esta tabla se especifica datos que se deberán utilizar en el flujo de fondos.

El proyecto deberá producir biogás y biol suficiente para determinar su eficiencia al reemplazar productos similares a estos generando un ahorro en la adquisición y beneficiando su flujo de efectivo ya que evita gastos necesarios para el cultivo de la palma africana en la Hacienda Atalaya.

Para determinar los precios de los bio-abonos, se utiliza los precios actuales de los fertilizantes utilizados para la fertilización orgánica de la palma africana.

Los productos que se utilizan en la fertilización mensual de estas tierras son 0,05 litros de Seaweed Extract, el cual tiene un costo mensual de 40 dólares para el tratamiento de las planta. Se sustituirá este producto por el biol generado en el biodigestor que actualmente se tiene una producción de 21,76 litros diarios. Esto generara un ahorro anual de 440 dólares el primer año ya que este año se instala y se debe esperar un mínimo de 30 días para que comience las producción de biol, este dato también se tomará en el Cuarto año ya que se deberá sustituir el plástico a finales del tercer año. Los años 2, 3, 5 y 6 del proyecto tendrán un ahorro en fertilizantes de 480 dólares ya que en estos años si se podrá adquirir biol los 12 meses del año.

Para calcular el precio del biogás se tomara como referencia el precio de la bombona de gas en la parroquia Malimpia – Ecuador. En estos sectores el costo en el que se adquiere es de 2,50 dólares por cuestiones de transporte. Se debe considerar que el gas de uso doméstico actualmente se encuentra subsidiado por el estado.

Tabla 27. Producción mensual de biogás

Estado del Equipo	Mes	GAS (Kg/m3) diario	GAS (Kg/m3) mensual	Precio estimado (Kg/m3) Biogas	Ingreso Gas
Arranque	1	0	0	\$ 0.17	\$ -
Funcionando	2	0.642	19.26	\$ 0.17	\$ 3.21
Funcionando	3	0.642	19.26	\$ 0.17	\$ 3.21
Funcionando	4	0.642	19.26	\$ 0.17	\$ 3.21
Funcionando	5	0.642	19.26	\$ 0.17	\$ 3.21
Funcionando	6	0.642	19.26	\$ 0.17	\$ 3.21
Funcionando	7	0.642	19.26	\$ 0.17	\$ 3.21
Funcionando	8	0.642	19.26	\$ 0.17	\$ 3.21
Funcionando	9	0.642	19.26	\$ 0.17	\$ 3.21
Funcionando	10	0.642	19.26	\$ 0.17	\$ 3.21
Funcionando	11	0.642	19.26	\$ 0.17	\$ 3.21
Funcionando	12	0.642	19.26	\$ 0.17	\$ 3.21

Nota: En esta tabla se muestra el ahorro que se produce mensualmente en la adquisición de GLP al usar el biogás como alternativa.

Tabla 28. Resumen del flujo de fondo del proyecto

	0	1	....	6
INGRESOS				
Reduccion de Uso de fertilisantes Comerciales en la hacienda BIOL		\$ 440.00	....	\$ 480.00
Reduccion del uso de gas domestico		\$ 35.31	....	\$ 38.52
TOTAL		\$ 475.31	....	\$ 518.52
EGRESOS				
Costo de Operaciones y Mantenimiento		\$ 126.17	....	\$ 126.17
Uso de materiales para Mantenimiento		\$ -	....
Depreciacion (6 años) Sanitario		\$ 39.30	....	\$ 39.30
TOTAL		\$ 165.47	....	\$ 165.47
UTILIDAD NETA		\$ 309.84	....	\$ 353.05
DEPRECIACION		\$ 39.30	....	\$ 39.30
INVERSION INICIAL	\$ 539.34			
FLUJO DE FONDOS NETO	\$ (539.34)	\$ 349.14	....	\$ 392.35

Nota: Nos ayuda a analizar la viabilidad de proyectos de inversión, los flujos de fondos son la base de cálculo del Valor actual neto y de la Tasa interna de retorno.

Se adjunta en el Anexo 6 la tabla detallada.

Se estima una vida útil del proyecto de 6 años, por lo que su depreciación se basará tomando en cuenta este tiempo. Se debe tomar en cuenta que a principios del cuarto año se debe sustituir los materiales del biodigestor, el cual tiene un precio de 71,60 dólares los cuales se toman como egreso de uso de materiales de mantenimiento en el cuarto año.

Este conjunto de supuestos financieros dan como resultado que el proyecto es viable lo cual se deberá explicar con el VAN (Valor actual Neto), que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. El VAN consiste en determinar la equivalencia en el tiempo 0 de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial. Cuando dicha equivalencia es mayor que el desembolso inicial, entonces, es recomendable que el proyecto sea aceptado. El TIR (Tasa Interna de Retorno) se utiliza como uno de los criterios para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. Para ello, la TIR se compara con una tasa mínima o tasa de corte, el coste de oportunidad de la inversión. Si la tasa de rendimiento del proyecto expresada por la TIR supera la tasa de corte, se acepta la inversión; en caso contrario, se rechaza. PRI (Periodo de Recuperación de la Inversión) indica el

plazo en que la inversión original se recupera con las utilidades futuras. (Gitman, 2007, p.52)

Tabla 29. Indicadores financieros

VAN	\$ 1,005.94
TIR	64.00%
PRI	1 año 6 Meses
Tasa de Interes Banco Nacional de Fomento	11%

Nota: La tasa de interés del 11% se fijó de acuerdo al préstamo que se adquirió en el Banco Nacional de Fomento al realizar un préstamo como microcrédito de producción

Como se puede observar este proyecto es rentable, pues el VAN y el TIR es superior al costo de capital en el Banco Nacional de Fomento donde se realizó el préstamo por 62,33 puntos porcentuales a esta tasa.

Además podemos observar mediante el PRI que se recuperara la inversión en 1 año 6 meses lo cual representa una excelente inversión por parte de la Hacienda Atalaya que esta permitirá incluso a futuro ser utilizada en toda la finca para el cuidado de su tierra incluso pensando en un posible futuro proyecto la comercialización de este producto que es el biol incrementando su línea de producción.

6 CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Tanto el déficit como los inadecuados sistemas de eliminación de descargas de aguas domésticas a nivel rural, representan una gran contaminación a las fuentes hídricas de estas zonas, afectando tanto medio ambiente como de igual forma a la salud de las personas que utilizan el agua de estos lugares para el consumo.

El sistema sanitario doméstico propuesto, cumplió con el objetivo de ser un sistema eficiente, eficaz y por ende sustentable. La digestión anaeróbica de estos compuestos permite la depuración de estos desechos, llegando al punto en que una vez que se cumple el proceso de degradación, estos ya no son peligrosos para los humanos y mucho menos para el ambiente.

De los análisis realizados al biol que se concluye que a pesar de obtener un número alto de coliformes totales, 1600/ML, mayor al límite permisible para agua de uso agrícola, este no es impedimento para la utilización del bioabono en la plantación de palma africana que se tiene en la Hacienda Atalaya. La aplicación del biol se la puede realizar de manera foliar o directamente en el suelo; los frutos de este cultivo no se ven afectados por los coliformes totales, ya que este no es consumido directamente por el humano, el fruto de la palma africana es aprovechado por las industrias extractoras de aceite y se lo utiliza de base para la fabricación de otros productos.

- El bioabono que se obtiene del proceso, contiene tanto micronutrientes como macronutrientes, los cuales pueden ser aprovechados por la planta según la forma de aplicación del abono, este no tiene limitantes ya que para el cultivo de palma africana se la puede realizar como abono foliar o

aplicarlo directamente al suelo. El alto contenido tanto de Hierro como de Manganeso nos permite utilizar el bioabono para cultivos que presenten carencias de este tipo de nutrientes, sin necesidad de estar aplicando productos químicos para poder resolver este problema de deficiencia de nutrientes.

- Con este proyecto, además de abarcar el tema social- ambiental, existe un factor económico el cual demuestra lo factible que es la instalación de este sistema y la facilidad de replica que tiene, al utilizar materiales para su construcción que existen en la zona y son de fácil acceso.

La construcción de este sistema involucro no tan solo a las personas de la hacienda, sino también a las personas que tienen negocios en la zona, como es el caso de la carpintería en la cual se construyó el baño. Este permite que la gente también sepa acerca de los proyectos que se están realizando en la zona y quieran involucrarse y en el mejor de los casos que puedan replicarlos en otros lugares que presenten la misma problemática.

- Las condiciones climáticas de la zona son las óptimas para la implementación del sistema sanitario propuesto, las condiciones de precipitación, temperatura y por ende humedad permiten que el funcionamiento global del sistema, tanto del baño como del biodigestor funcione sin mayor dificultad.

La implementación de un biodigestor tubular para este proyecto, permite que el control y monitoreo de los parámetros de funcionamiento del sistema no requiera mayor conocimiento técnico o inversión de tiempo. El funcionamiento óptimo del sistema de biodigestión se basa en mantener una temperatura de trabajo entre 25°C y 40°C, realizar la agitación del biodigestor diariamente para evitar la formación de costras, mantenimiento del sistema de conducción de biogás, principalmente de la

válvula de seguridad, cuyo nivel de agua debe ser de 20 cm y el estropajo para la depuración de ácido sulfúrico estar limpio.

- En lo referente a la recuperación de energía, para este proyecto tan solo se aprovechó al energía calórica que se puede producir en una cocineta mediante el uso del biogás, esta decisión se basó en las necesidades de las personas que viven en la Hacienda. Pero como se manifiesta en esta investigación, la energía calórica no es la única que se puede producir mediante el aprovechamiento del biogás, además de esta se tiene iluminación, electricidad, cogeneración y potencia mecánica.

En caso de que se desee replicar este sistema se deja a elección de la persona el tipo de energía que se desee aprovechar, tomando en cuenta las necesidades de las personas que se van a beneficiar de este proyecto.

- Para este proyecto se hizo un préstamo con la tasa de interés del 11% que se fijó de acuerdo al préstamo que se adquirió en el Banco Nacional de Fomento, al realizar un préstamo como microcrédito de producción se debe tomar en cuenta indicadores financieros como el TIR y el VAN, indicadores importantes para la medición económica del proyecto. En este caso el valor del VAN positivo indica que la rentabilidad es superior al 11% del costo de oportunidades del capital. Esto es, el inversionista recibirá 1218.17 dólares por sobre el 11% que cobra el banco de fomento por tasa de interés, después de recuperar la inversión.

El TIR también es conocida como tasa crítica de rentabilidad cuando se compara con la tasa mínima de rendimiento requerida en este caso el 11% realizado por el préstamo para el que genero el proyecto que es de 62.33% por lo que adjudica que este proyecto que es rentable y viable.

La parte financiera del proyecto va direccionado a una reducción de costos en el mantenimiento de la finca y el cuidado de su principal

producto la palma africana al complementar el biol con su fertilizante foliar. Además se utilizara el biogás que es otro producto que genera el biodigestor el cual se puede utilizar como complemento con GLP.

Se puede observar que su periodo de recuperación de la inversión se realiza en 1 año 6 meses. Y cabe recalcar que en este proyecto no se incluye un supuesto precio de venta del exceso de biol que genera el biodigestor y podría ser una futura fuente de ingreso para la hacienda.

- Uno de los beneficios que tal vez no son muy tangibles por el momento es la utilización de biogás en sustitución del gas licuado de petróleo. Por el momento el gas en nuestro país es subsidiado, lo que no representa un gran gasto para las familias, en caso de que se retirara este subsidio habría un aumento del precio del cilindro de gas a \$15 usd. Cuando este subsidio se retire este tipo de proyectos de generación de biogás serán más rentables y aceptados por la población.

6.2 RECOMENDACIONES

- Como se presentó en este proyecto, no se cuenta con una red de agua potable, por lo que se recoge aguas de ríos o esteros cercanos. Uno de los puntos determinantes en la elección de un baño convencional para el proyecto es el agua que alimenta el inodoro. Se recomienda que no solo en proyectos donde no existe una red de agua potable, se instalen los reservorios de agua lluvia, este es un recurso que no se está explotando y que puede beneficiar tanto ambiental como económicamente estos sistemas.
- Debido a las condiciones climáticas de la zona, se recomienda que en la época lluviosa, la cual se presenta en los meses de enero a mayo se cubra el biodigestor con plástico de invernadero, tal como se lo realizó para este sistema. Esto debido a que si se inunda la zanja, afecta a la

temperatura del interior del biodigestor, disminuyendo la temperatura de trabajo, lo que retarda la actividad bacteriana y por ende la generación de biogás.

- Se recomienda que la socialización del proyecto se realice desde el inicio. De manera que la comunidad se apropie de la tecnología y no existan después inconvenientes al momento de la utilización del biogás, pues se cree que por ser proveniente de la degradación del estiércol no es factible su uso para cocinar o usarlo en cualquier artefacto que funcione a gas.

REFERENCIAS

- Ansola, G. (2008). *Análisis de la situación del sistema de depuración de agua residual de los municipios de León con menos de 20.000 habitantes*. Recuperado el 12 de Mayo de 2012, de <http://www.unileon.es/grupos-investigacion/inf-especifica.php?id=0&idd=7&grp=8>
- Arce, J. (2011). *Diseño de un Biodigestor para generar biogás y abono a partir de desechos orgánicos de animales aplicable en las zonas agrarias del Litoral*. Recuperado el 06 de Febrero de 2013, de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1593>
- Bautista, A. (2010). *Sistema Biodigestor para el tratamiento de desechos orgánicos (Estelí, Nicaragua)*. Recuperado el 05 de Noviembre de 2012, de <http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/10807/1/PFC%20Alejandro%20Bautista%20Buhigas.pdf>
- Castellanos, J. (2011). *Caracterización y estudio económico del proceso de bio-digestión de excrementos de ganado vacuno como alternativa para obtener biogás y abonos en una hacienda de producción lechera de la sierra ecuatoriana*. Obtenido de <http://dspace.udla.edu.ec/handle/3300>
- Corbitt, R. (2003). *Manual de referencia de la Ingeniería Medioambiental*. Madrid, España: Mc Graw Hill.
- ECOSUR. (2011). *Inodoros Secos en América Latina*. Recuperado el 12 de Julio de 2012, de <http://www.ecosur.org/index.php/component/content/article/108-novedades/610-inodoros-secos-en-america-latina>
- ECOSUR. (2011). *Sistema sanitario seco "Otji"*. Recuperado el 11 de Julio de 2012, de http://www.ecosur.org/images/stories/documents/indoro_seco.pdf
- Fernández, J. (2010). *Guía Completa de la Biomasa y los Biocombustibles*. Madrid, España: Vicente Ediciones.
- Flores, J. (2010). *Plan piloto de biodigestores para el aprovechamiento de las heces de porcino obteniendo biogás y biofertilizante*. Quito, Ecuador.
- Gitman, L. (2007). *Principios de Administración Financiera*. México: Pearson Educación.
- Hilbert, J. (2003). *Manual para la producción de Biogás, Instituto de Ingeniería Rural I.N.T.A - Castelar*. Recuperado el 20 de Mayo de 2013, de <http://inta.gob.ar/documentos/manual-para-la-produccion-de-biogas>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos,. (2010). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2010, Variables Viviendas*. Recuperado el 12 de

Julio de 2012, de <http://redatam.inec.gob.ec/cgi-bin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CPV2010&MAIN=WebServerMain.inl>

- Kiely, G. (1999). *Ingeniería Ambiental: Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión (Vol.II)*. Madrid, España: McGraw-Hill.
- Martí, J. (2008). *Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares*. Recuperado el 01 de Marzo de 2013, de http://grecdh.upc.edu/publicacions/lilibres/do67ycuments/2008_jmh_guia_biodigestores.pdf
- Martí, N. (2006). *Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process*. Recuperado el 27 de Febrero de 2013, de <http://www.bookpump.com/dps/pdf-b/1123329b.pdf>
- Martínez, C. (2007). Volúmen de digestores. *Energía y tú. Conciencia Energética y Respeto Ambiental (39)*.
- Ortega, G. (12 de Mayo de 2012). *Cuánto tenemos vs cuánto consumimos*. Recuperado el 16 de Mayo de 2012, de Vistazo: <http://www.vistazo.com/ea/especiales/imprimir.php?Vistazo.com&id=5041>
- Pérez, J. (2010). *Estudio y Diseño de un Biodigestor para la aplicación en pequeños ganaderos y lecheros*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2012, de http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-perez_jm/pdfAmont/cf-perez_jm.pdf
- Plitt, L. (2009). *Ecoinodoros para todos los gustos*. Recuperado el 17 de Junio de 2012, de http://www.bbc.co.uk/mundo/ciencia_tecnologia/2009/09/090909_1526_inodoros_lp.shtml
- Rizzardini, M. (s.f.). *Baños secos: Gestión y aprovechamiento de residuos*. Recuperado el 16 de Enero de 2012, de http://mastersuniversitaris.upc.edu/aem/archivos/2009-10-tesinas-pres/22-maria-fernanda-rizzardini-villa-banos-secos.-gestion-y-aprovechamiento-de-residuos_completo.pdf
- Sáenz, L. (2006). *Cultivo de Palma Africana. Guía Técnica*. Recuperado el 5 de Julio de 2013, de <http://www.galeon.com/subproductospalma/guiapalma.pdf>
- Salamanca, J. (2009). *Diseño, Construcción y Puesta en Marcha de un Biodigestor a Escala Piloto*. Quito Ecuador: Universidad San Francisco de Quito.
- Samayoa, S., Bueso, C., & Viquez, J. (2012). *Implementación de sistemas de biodigestión en ecoempresas*. Recuperado el 13 de Mayo de 2013, de

http://www.snvworld.org/sites/www.snvworld.org/files/publications/guia_sistema_de_biodigestion_web.pdf

Silva, J. P.(2009). *Tecnología del Biogás, Universidad Valle, Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*. Recuperado el 18 de Enero de 2013, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/biogas.pdf>

Sistema Nacional de Información. (2010). *Indicadores de vivienda y hogar*. Recuperado el 10 de Julio de 2012, de <http://app.sni.gob.ec/sni>

Técnica, E. (12 de Diciembre de 2004). *Plantas de Biogás*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2012, de *Plantas de Biogás*: http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/GCBA/444/BIO/bio_015.htm

Torres, P., Cajigas, Á., González, M., Pérez, A., & Otero, A. (2008). Selección de acondicionadores químicos para el tratamiento anaerobio de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca. *EIDENAR, VII*. Obtenido de EIDENAR: <http://eidenar.univalle.edu.co/revista/ejemplares/7/i.htm>

Yáñez, F. (s.f). *Digestión Anaeróbica de Lodos*. Recuperado el 06 de Febrero de 2013, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/05862/05862-16.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1

Precipitación total mensual (mm)

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Temperatura Máxima Absoluta (°C)

S E R I E S M E N S U A L E S D E D A T O S M E T E O R O L O G I C O S

NOMBRE: PACHIJAL MASHPI

CODIGO: M0046

PERIODO: 1900 - 2012 LATITUD: 06 11' 22" N

LONGITUD: 78G 57' 0" W

ELEVACION: 560.00

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1982	29.4		30.2	31.0	30.9	29.9	29.4	30.4	31.1	30.0	30.5	30.4		
1983	32.0	32.0	34.0	32.5	32.5	32.0	32.4					30.5		
1984	30.5	30.6	31.6		31.0	30.4	29.0	29.5	30.6	29.2	30.5	28.6		
1985	30.0	29.5	31.2	31.5	30.0	29.6	29.6	28.4	29.2	29.1	30.5	30.2	358.8	29.9
1986	30.4	30.5	30.4	29.2	28.6	29.2	29.5	31.4	29.5	31.0	29.0	29.0	357.7	29.8
1987	30.0	31.4	31.5				30.5	31.0						
1989		29.6	30.6				28.6	29.5	29.5					
1990							29.5			28.5	28.9	28.2		
1991					30.1	30.5	29.7	28.9	30.0			29.2		
1992						29.5		28.5						
media	30.3	30.6	31.3	31.0	30.5	30.1	29.8	29.7	29.9	29.5	29.8	29.4	362.4	30.2
minima	29.4	29.5	30.2	29.2	28.6	29.2	28.6	28.4	29.2	28.5	28.9	28.2		28.2
maxima	32.0	32.0	34.0	32.5	32.5	32.0	32.4	31.4	31.1	31.0	30.5	30.5		34.0

Heliofanía efectiva mensual (horas)

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Precipitación Total Mensual (mm)

SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS

NOMBRE: PACHIJAL MASHPI

CODIGO: M0046

PERIODO: 1900 - 2012 LATITUD: 0G 11' 22" N

LONGITUD: 78G 57' 0" W

ELEVACION: 560.00

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1977	520.2	485.3	439.2	627.5	339.4	197.5	96.3	115.5	99.6	126.0	68.1	243.0	3357.6	279.8
1978	466.2	423.7	462.0	611.2	229.6	87.8	91.6			0.0	0.0	0.0		
1979	399.6	378.8						0.0		0.0	0.0	0.0		
1980							28.6	71.7	27.1	147.4	103.4	194.7		
1981	292.2	406.7	690.2	524.4	108.0	54.8	137.5	118.2	195.1	60.7	96.3	203.5	2887.6	240.6
1982	494.8	466.3	597.8	682.9	416.0	77.5	189.1	33.8	148.8	534.6	748.1	722.1	5111.8	425.9
1983	710.1	493.6		605.9	775.7	349.9	312.5					430.3		
1984	372.7	724.8	514.3	552.1	196.6	200.0	50.2	81.6	206.7	174.3	152.3	436.9	3662.5	305.2
1985	344.6	355.1	535.6	517.3	288.9	312.8	42.2	80.9	65.6	30.7	108.2	391.1	3073.0	256.0
1986	507.4	447.9	503.5	586.2	298.4	94.3	35.9	81.9	76.1	105.7	131.2	257.4	3125.9	260.4
1987	578.3	545.4	809.7	346.7		103.5	60.9	194.8	78.1	114.9	21.8	209.1		
1989		400.8	483.8	508.3			145.1	41.6	92.5	245.7				
1990	246.7			707.9	382.5	223.7	62.3	53.9			55.0	272.8		
1991	339.6			411.4			98.8	56.9	60.1	129.0		302.1		
1992					269.1	210.4	88.7	51.5	88.9					
suma	5272.4	5128.4	5036.1	6681.8	3304.2	1912.2	1439.7	982.3	1138.6	1669.0	1484.4	3663.0	37712.1	3142.6
media	439.3	466.2	559.5	556.8	330.4	173.8	102.8	75.5	103.5	139.0	148.4	281.7	3377.4	281.4
minima	246.7	355.1	439.2	346.7	108.0	54.8	28.6	0.0	27.1	0.0	0.0	0.0		0.0
maxima	710.1	724.8	809.7	707.9	775.7	349.9	312.5	194.8	206.7	534.6	748.1	722.1		809.7

Temperatu máxima absoluta

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Heliofanía Efectiva Mensual (horas)

SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS

NOMBRE: PACHIJAL MASHPI

CODIGO: M0046

PERIODO: 1900 - 2012 LATITUD: 0G 11' 22" N

LONGITUD: 78G 57' 0" W

ELEVACION: 560.00

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1981	30.5	26.2	59.6	57.2	78.7	79.0	70.2	60.0	53.0	40.0	34.9	26.4	615.7	51.3
1982	45.7	40.0	41.0	39.9	57.5	77.6	46.3	128.6	78.7	32.9	63.9	58.5	710.6	59.2
1983	79.3	89.9	111.7	108.2	102.1	120.1	139.5	114.6	82.9	36.5	40.4			
1984	39.9	68.7	88.8	68.0	94.2	69.1	112.1	72.7	38.8	55.1	70.1	28.3	805.8	67.1
1985	34.9	55.3	55.5	74.1	53.7	63.4	68.7	56.4	30.7	66.7	87.6	17.5	664.5	55.3
1986	31.9	67.6	92.1		48.8	73.2	97.7	121.2	63.0	46.5	40.8	14.3		
1987			108.7	96.9	70.2	124.7	111.2	87.1	97.5	53.6	64.8			
media	43.7	57.9	79.6	74.0	72.1	86.7	92.2	91.5	63.5	47.3	57.5	29.0	795.3	66.2
minima	30.5	26.2	41.0	39.9	48.8	63.4	46.3	56.4	30.7	32.9	34.9	14.3		14.3
maxima	79.3	89.9	111.7	108.2	102.1	124.7	139.5	128.6	97.5	66.7	87.6	58.5		139.5

Temperatura mínima absoluta (°C)

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Temperatura Mínima Absoluta (°C)

 S E R I E S M E N S U A L E S D E D A T O S M E T E O R O L O G I C O S

NOMBRE: PACHIJAL MASHPI

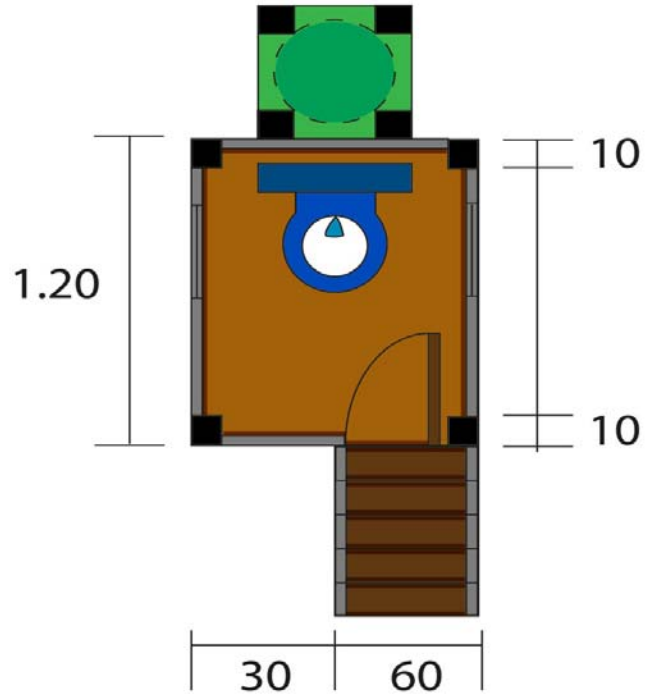
CODIGO: M0046

PERIODO: 1900 - 2012 LATITUD: 0G 11' 22" N LONGITUD: 78G 57' 0" W ELEVACION: 560.00

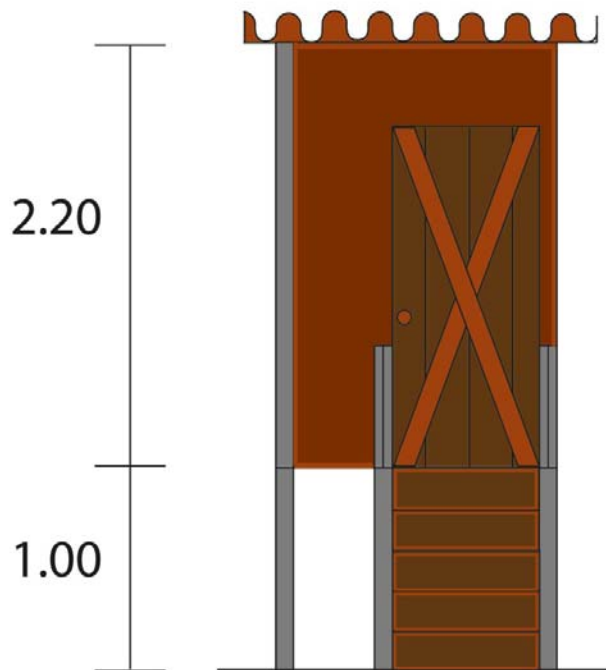
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1982	18.5	19.2	19.2	18.6	18.6	18.6	17.4	16.5	17.8	18.5	19.0	19.9	221.8	18.4
1983	19.5	19.4	19.0	19.2	19.0	18.4	17.5					18.0		
1984	17.5	18.6	19.0	16.7	18.4	18.3	17.2	17.2	17.2	18.2	16.6	19.5	214.4	17.8
1985	18.6	18.5	17.3	19.0	18.6	19.0	15.0	16.0	16.6	14.5	14.5	17.6	205.2	17.1
1986	18.9	19.0	17.9	19.4	19.6	18.0	16.0	15.6	17.5	16.0	17.2	18.0	213.1	17.7
1987	19.5	18.0	18.9	17.5	18.0	17.3	16.5	16.5						
1989		18.5	19.0	19.5	18.2	17.4	17.6	16.4	19.0	17.8				
1990	18.5		19.9	19.5	19.5		16.4	16.6	15.9	17.9	17.3	17.0		
1991	19.5	20.0		18.9	19.5	18.4	18.2	17.0	16.5	18.0	20.0	19.5		
1992					19.0	18.0	17.0	17.5	17.5					
media	18.8	18.9	18.7	18.7	18.8	18.1	16.8	16.5	17.2	17.2	17.4	18.5	216.1	18.0
minima	17.5	18.0	17.3	16.7	18.0	17.3	15.0	15.6	15.9	14.5	14.5	17.0		14.5
maxima	19.5	20.0	19.9	19.5	19.6	19.0	18.2	17.5	19.0	18.5	20.0	19.9		20.0

ANEXO 2

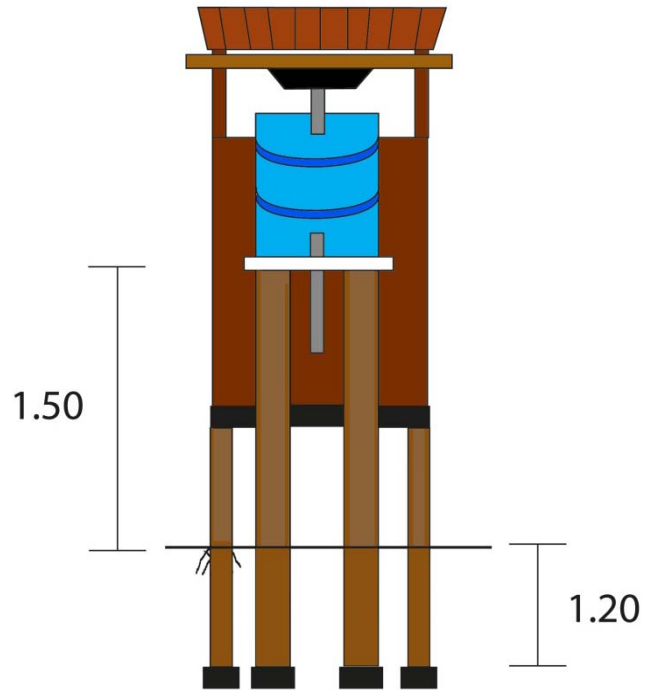
Baño Vista Superior



Vista Frontal



Vista Trasera



ANEXO 3

Monitoreo de Temperatura Ambiente y de Trabajo del biodigestor

		Hora de Toma Temperaturas		
		7am-8am	1pm-2pm	6pm-7pm
Día 1	Ambiental	22	24,5	21
	Biodigestor	24,6	27	24
		26,6	29,3	24,7
		25,6	28	25,3
Día 2	Ambiental	23	25	21
	Biodigestor	25,8	31,2	26,5
		26,9	32,5	27
		25,9	32,1	28
Día 3	Ambiental	21	21	19,5
	Biodigestor	26,5	24,8	23,2
		27,3	26,3	23,5
		26,1	27,5	23,9
Día 4	Ambiental	21,5	24,5	26
	Biodigestor	26,8	31,6	31
		28,2	34,4	32,7
		28,8	34	32,6
Día 5	Ambiental	23,5	26	23
	Biodigestor	29,7	31,7	25,1
		31,7	33,4	25,5
		28,7	32,6	26,1
Día 6	Ambiental	25,5	24	21
	Biodigestor	29	25,8	24,8
		30,2	26,3	25
		28,2	26,7	25,3
Día 7	Ambiental	21	26	21
	Biodigestor	26,2	33,6	25,2
		26,2	35,5	25,7
		26	33,4	26,2

Día 8	Ambiental	22	22	23
	Biodigestor	27,5	25,8	26,8
		28,4	26	27,3
		27,7	26,2	27,7
Día 9	Ambiental	23	24	22
	Biodigestor	35,3	31,3	26,8
		37,8	33,4	27,2
		34,5	34	27,1
Día 10	Ambiental	22	25	22
	Biodigestor	25	31,5	23,5
		25,2	33,2	24,1
		26,6	32,4	25
Día 11	Ambiental	22	24	21
	Biodigestor	26,3	26,1	24,8
		27,7	27,6	25,5
		27,1	27,1	24,2
Día 12	Ambiental	21,5	26	22
	Biodigestor	24,7	33,1	24,1
		25,6	33,6	25,2
		25,1	33,2	24,8
Día 13	Ambiental	21	25,5	22
	Biodigestor	25,3	32,2	24,5
		26,2	35	25,2
		25,9	34,8	25
Día 14	Ambiental	21	24,5	21
	Biodigestor	25,9	31,4	25,1
		26,4	34,1	26
		26,1	33,9	25,9
Día 15	Ambiental	23	26	21,5
	Biodigestor	26,6	31,3	24,8
		27,7	32,7	26,1
		27,1	32,1	26,3

ANEXO 4

Análisis del Biol



ESTACIÓN EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
DE SUELOS, PLANTAS Y AGUAS
Km 141/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340
Telf -Fax 690694
QUITO - ECUADOR

Nombre del propietario:	<u>VERÓNICA CORDOVA</u>	Fecha de muestreo:	<u>30/06/2013</u>
Nombre del remitente:	<u>LAS GOLONDRINAS</u>	Muestra:	<u>Biol</u>
Nombre de la Granja:	<u>MALIMPIA QUININDÉ ESMERALDAS</u>	Fecha ingreso Laboratorio:	<u>01/07/2013</u>
Localización:	Parroquia <u> </u> Cantón <u> </u> Provincia <u> </u>	Fecha de entrega:	<u>12/07/2013</u>

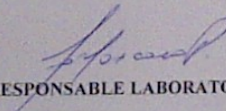
INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE BIOL

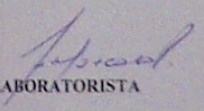
No. Laborat.	Identificación	pH	R		g/100 ml (%)							mg/L (ppm)				
			C/N	C.E.	N TOTAL	P	K	Ca	Mg	S	M.O	B	Zn	Cu	Fe	Mn
663	Muestra de biol	6.56		1.33	0.16	0.01	0.03	0.06	0.02	0.01	3.5	0.1	2.1	1.8	90.0	14.0

METODOLOGÍA USADA:

pH y Conductividad eléctrica directamente en la muestra
Materia Orgánica por oxidación en frío - Método volumétrico

C.E = Conductividad eléctrica dS/m = decisiems/metro
M.O = Materia orgánica


RESPONSABLE LABORATORIO


LABORATORISTA

ANEXO 5

Análisis de Coliformes totales y E. Coli del Biol



ENSAYOS
No OAE LE C 10-011

LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA DE AGUAS Y ALIMENTOS

INFORME DEL ENSAYO

N° MAA-679- 13

NOMBRE DEL CLIENTE: Srta. Verónica Córdova
DIRECCIÓN DEL CLIENTE: San Rafael, Quito-Ecuador.
ENSAYO SOLICITADO: - Número Más Probable de Coliformes Totales y *Escherichia coli*.
Procedimiento Interno: PT-DIS-MAA-06.
Método Referencial: APHA 9221 B.
FECHA DE RECEPCIÓN: 2013-10-14
FECHA DE EJECUCIÓN: 2013-10-14
FECHA DEL REPORTE: 2013-10-16

CONDICIONES AMBIENTALES:

Temperatura: 18.7 °C RANGO: 15 – 25 °C
Humedad: 45 % RANGO: 15 – 75 %

MUESTRA N°: MAA-679-13: Agua residual.
Características: café, turbia con sedimento.

Etiqueta: "MUESTRA # 1
LAS GOLONDRINAS
VERÓNICA CÓRDOVA
HORA: 16:00
FECHA: 13/OCT/2013"

TRANSCRITO POR: T.M. María L. Almeida
VISTO BUENO: Mgtr. Elena Granda M.

La información que consta en la etiqueta es enviada por el cliente y por tanto es de su exclusiva responsabilidad.

RESULTADOS DE LA MUESTRA N°: MAA-679-13:

- N.M.P. de Coliformes Totales: N.M.P. Mayor a 1600 / 100 mL de la muestra analizada
- N.M.P. de *Escherichia coli*: N.M.P. Mayor a 1600 / 100 mL de la muestra analizada

Resultado válido sólo para la muestra analizada
S&F



Av. 12 de Octubre 1076 y Roca
E-mail: diserlab@puce.edu.ec
RUC: 1790105601001
Telef: 2991727 Fax: 2991726
Quito - Ecuador



ENSAYOS
No OAE LE C 10-011

ABREVIACIONES:

N°: Léase Número
PUCE: Léase Pontificia Universidad Católica del Ecuador
PT: Léase Procedimiento Técnico
DIS: Léase DISerLAB
MAA: Léase Microbiología de Aguas y Alimentos
°C: Léase Grados Centígrados
%: Léase Por Ciento
APHA: Léase American Public Health Association
N.M.P.: Léase Número Más Probable
mL: Léase mililitro

INFORMACIÓN:

La muestra analizada, N°: **MAA-679-13**, llega al Laboratorio DISerLAB-PUCE en 1 recipiente plástico estéril, en una cantidad aproximada de 100 mililitros de muestra. El cliente informa que fue mantenida en cadena de frío.


Magister Elena Granda M.

RESPONSABLE
ÁREA DE MICROBIOLOGÍA APLICADA.



SELLO DEL LABORATORIO

NOTA IMPORTANTE:

La incertidumbre del ensayo está a disposición del cliente en el Laboratorio de Microbiología de Aguas y Alimentos del DISerLAB-PUCE.

DISerLAB-PUCE se responsabiliza exclusivamente de los análisis realizados a la muestra recibida por el Laboratorio.

Prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito del Laboratorio.

El certificado se invalida si tiene alteraciones de su resultado original.

El resultado impreso con firma de la persona responsable del Laboratorio y sello del Laboratorio es el único documento válido.

ANEXO 6

Flujo de Fondo del Proyecto

	0	1	2	3	4	5	6
INGRESOS							
Reduccion de Uso de fertilisantes Comerciales en la hacienda BIOL	\$ 440.00	\$ 480.00	\$ 480.00	\$ 440.00	\$ 480.00	\$ 480.00	\$ 480.00
Reduccion del uso de gas domestico	\$ 35.31	\$ 38.52	\$ 38.52	\$ 35.31	\$ 38.52	\$ 38.52	\$ 38.52
TOTAL	\$ 475.31	\$ 518.52	\$ 518.52	\$ 475.31	\$ 518.52	\$ 518.52	\$ 518.52
EGRESOS							
Costo de Operaciones y Mantenimiento	\$ 126.17	\$ 126.17	\$ 126.17	\$ 126.17	\$ 126.17	\$ 126.17	\$ 126.17
Uso de materiales para Mantenimiento	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 71.60	\$ -	\$ -	\$ -
Depreciacion (6 años) Sanitario	\$ 39.30	\$ 39.30	\$ 39.30	\$ 39.30	\$ 39.30	\$ 39.30	\$ 39.30
TOTAL	\$ 165.47	\$ 165.47	\$ 165.47	\$ 237.07	\$ 165.47	\$ 165.47	\$ 165.47
UTILIDAD NETA	\$ 309.84	\$ 353.05	\$ 353.05	\$ 238.24	\$ 353.05	\$ 353.05	\$ 353.05
DEPRECIACION	\$ 39.30	\$ 39.30	\$ 39.30	\$ 39.30	\$ 39.30	\$ 39.30	\$ 39.30
INVERSION INICIAL	539.34						
FLUJO DE FONDOS NETO	-539.34	\$ 349.14	\$ 392.35	\$ 392.35	\$ 277.54	\$ 392.35	\$ 392.35