



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

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA  
PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE ESTIÉRCOL VACUNO  
EN LA FINCA ISABEL DE LA PARROQUIA TARACOA,  
PROVINCIA DE ORELLANA”**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTORES: SALAZAR ABAD JOSÉ BALENTIN**

**ARIAS BONILLA JANETH LIZETH**

**TUTORA: DRA. YOLANDA DOLORES DÍAZ HEREDIA**

**Riobamba-Ecuador**

**2016**

©2016, José Balentin Salazar Abad y Janeth Lizeth Arias Bonilla

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

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

El tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE ESTIÉRCOL VACUNO EN LA FINCA ISABEL DE LA PARROQUIA TARACOA, PROVINCIA DE ORELLANA”, de responsabilidad de los señores: José Balentin Salazar Abad y Janeth Lizeth Arias Bonilla, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

DRA. YOLANDA DÍAZ HEREDIA  
**DIRECTORA DEL TRABAJO DE** \_\_\_\_\_  
**TITULACIÓN** \_\_\_\_\_

ING. JUAN GONZALEZ GARCÍA  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

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

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

Riobamba 30 de mayo de 2016.

José Balentin Salazar Abad

220014297-0

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

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

Riobamba 30 de mayo de 2016.

Janeth Lizeth Arias Bonilla

220000193-7

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo en especial a Dios todo poderoso por haberme dado la vida, amor, virtudes y fortalezas necesarias para salir siempre adelante, iluminado cada paso de mi vida, sin su apoyo no lo habría logrado.

A mis padres José Salazar y Rosa Abad quienes verdaderamente son los dueños de lo que hasta hoy he logrado, por los valores que me han inculcado, ser para mí un excelente ejemplo de vida a seguir, por el apoyo incondicional en todo momento.

A mis hermanos/as por representar la unidad familiar, estar siempre a mi lado apoyándome en los buenos y malos momentos de mi vida.

También dedico este trabajo a todos mis amigos y compañeros de aula; Janeth, Adriana, Edith, Eliana, Sonia, Mayra, Lisbeth, Erika, Johnny, Guido, Carlos, por compartir buenos y malos momentos inolvidables.

**José**

Dedico este trabajo principalmente a Dios que me ha bendecido con el apoyo de mi familia. A mi padre Edgar Arias por ser la muestra de amor más grande y puro a mi madre Mónica Bonilla que es la mujer de quien me siento orgullosa porque es mi inspiración por haberme motivado con sus logros y demostrarme que si se puede salir adelante con esfuerzo y dedicación

A mi hermano David que sin dudar lo es mi ángel guardián, por seguirme bendiciendo, guiando mis pasos y aunque le faltó tiempo aquí en la tierra para verme cumplir esta meta estoy segura que desde el cielo se siente muy orgulloso.

A mi esposo Bladimir por su comprensión, de manera muy especial dedico a mis hijos Valentina y Brayden que sea un ejemplo a seguir en sus vidas

A mis amigos que fueron cómplices en cada paso de esta carrera pasando momentos de felicidad que siempre perdurara en nuestros corazones a Balentin, Adriana, Fernanda, Nathaly, Carlos, Eliana y Edith.

**Janeth**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por bendecirnos y acompañarnos a lo largo de nuestra carrera, fortalecer los momentos de debilidad, brindándonos una vida llena de aprendizaje, experiencias, sobre todo felicidad y permitir que lleguemos alcanzar nuestro sueño anhelado.

Con infinita gratitud a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Extensión Norte Amazónica, Facultad de Ciencias, especialmente a la Carrera de Ing. Biotecnología Ambiental, donde recibimos los conocimientos que nos permitirán realizarnos como profesionales.

En especial a la Dra. Yolanda Díaz Heredia Directora del Trabajo de Titulación, al Ing. Juan Gonzales Miembro del Trabajo de Titulación, a los Colaboradores de Proyecto de Titulación, quienes con sus conocimientos se encargaron de guiarnos en el desarrollo de nuestro Proyecto.

A nuestros profesores y amigos de la carrera de Ing. En Biotecnología Ambiental, con quienes hemos compartido una etapa muy importante en nuestras vidas llena de esfuerzo y dedicación.

También coincidimos en agradecer a nuestras familias que han sido un pilar de apoyo para iniciar y culminar con éxito este proyecto.

Quedamos infinitamente agradecidos:

**José y Janeth**

## TABLA DE CONTENIDO

PORTADA	
DERECHOS DE AUTOR .....	ii
CERTIFICADO DEL TRIBUNAL .....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS .....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xviii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS .....	xix
RESUMEN.....	xx
SUMMARY.....	xxi
INTRODUCCIÓN .....	1
JUSTIFICACIÓN. ....	2
OBJETIVOS .....	3
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO I	
1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....	4
1.1 Biodigestor. ....	4
1.1.1 Clasificación de digestores.....	4
1.1.1.1 Discontinuo o Bacth. ....	4
1.1.1.2 Semi-continuo.....	4
1.1.1.3 Continuo. ....	5
1.1.2 Tipos de biodigestores. ....	5
1.1.2.1 Campana flotante (Hindú). ....	5
1.1.2.2 Biodigestor de domo fijo (Chino).....	5
1.1.2.3 Biodigestor de estructura flexible.....	6
1.1.3 Componentes de un biodigestor. ....	7
1.1.3.1 Sistema de carga. ....	7
1.1.3.2 Reactor.....	7
1.1.3.3 Sistema de descarga.....	7

1.1.3.4	Sistema de gas. ....	8
1.1.3.5	Extracción de lodos .....	8
1.2	Biogás.....	8
1.2.1	<i>Composición del Biogás.</i> .....	8
1.2.2	<i>Materias primas que sirven para producir biogás.</i> .....	9
1.3	Metano.....	11
1.3.1	<i>Potencial de producción de metano.</i> .....	11
1.3.2	<i>Bacterias productoras de metano.</i> .....	12
1.3.3	<i>Fundamentos de la fermentación metanogénica.</i> .....	13
1.3.3.1	Etapas de la fermentación metanogénica.....	14
1.3.4	<i>Factores a considerar en el proceso metanogénico.</i> .....	16
1.3.4.1	Material de carga para la fermentación metanogénica. ....	16
1.3.4.2	Relación Carbono-Nitrógeno (C/N). ....	16
1.3.4.3	Niveles de sólidos totales y sólidos volátiles.....	18
1.3.4.4	Temperatura.....	20
1.3.4.5	Tiempo de retención (TR) y velocidad de carga orgánica.....	21
1.3.4.6	Agitación. ....	23
1.3.4.7	Valor de pH. ....	23
1.3.4.8	Nutrientes (niveles de sales).....	24
1.3.4.9	Inhibidores de la fermentación. ....	25
1.4	Estiércol.....	26
1.4.1	<i>Composición del estiércol.</i> .....	26
1.5	Rumen.....	26
1.6	Biol.....	27
1.7	Biosol.....	28
1.8	Parte Legal.....	28

## CAPÍTULO II

2	MARCO METODOLÓGICO .....	31
2.1	Área de estudio.....	31
2.1.1	<i>Ubicación geográfica</i> .....	31
2.1.1.1	Macrolocalización .....	31
2.1.1.2	Microlocalización.....	32
2.2	Metodología.....	33
2.2.1	<i>Levantamiento de la línea base ambiental.</i> .....	33
2.2.1.1	Características del Entorno Físico .....	33
2.2.1.2	Características del entorno biótico .....	34



2.2.2	<i>Muestreo y caracterización de estiércol de ganado vacuno.....</i>	34
2.2.2.1	Metodología para el muestreo de estiércol .....	34
2.2.3	<i>Metodología para la caracterización del estiércol .....</i>	35
2.2.3.1	Determinación de parámetros in-situ.....	35
2.2.3.2	Determinación exsitu.....	36
2.2.4	<i>Cuantificación de la carga diaria de materia prima.....</i>	37
2.2.4.1	Cuantificación de la carga diaria de estiércol.....	37
2.2.4.2	Cuantificación de la carga diaria de residuos producidos en la cocina.....	38
2.2.5	<i>Localización del área de estudio.....</i>	38
2.2.6	<i>Selección del modelo del biodigestor.....</i>	39
2.2.6.1	Definición de los aspectos considerados en la matriz de preselección.....	39
2.2.6.2	Preselección del biodigestor a construir.....	40
2.2.6.3	Matrices para la selección del modelo de biodigestor.....	41
2.2.7	<i>Dimensionamiento del biodigestor.....</i>	43
2.2.8	<i>Elaboración de planos en AutoCAD .....</i>	45
2.2.9	<i>Evaluación de Impacto Ambiental.....</i>	45
2.2.9.1	Cuantificación de los impactos mediante matriz de Leopold modificado.....	45
2.2.10	<i>Construcción e instalación del biodigestor .....</i>	47
2.2.10.1	Construcción de la base del biodigestor.....	51
2.2.10.2	Construcción de la cámara de digestión del biodigestor.....	52
2.2.10.3	Construcción de la caja de carga .....	53
2.2.10.4	Construcción de la caja de salida de biol.....	54
2.2.10.5	Construcción e instalación de la caja de limpieza.....	55
2.2.10.6	Construcción de la cúpula del biodigestor.....	55
2.2.10.7	Construcción de la válvula de escape de gas .....	56
2.2.10.8	Construcción de la trampa de agua.....	57
2.2.10.9	Construcción del filtro para ácido sulfhídrico .....	58
2.2.10.10	Construcción del gasómetro .....	58
2.2.10.11	Instalación de tubería que conducirá el biogás.....	60
2.2.10.12	Mantenimiento y cuidado del biodigestor.....	60
2.2.11	<i>Carga de la mezcla homogénea al biodigestor .....</i>	61
2.2.12	<i>Funcionamiento del biodigestor.....</i>	64
2.2.12.1	Medición del pH.....	64
2.2.12.2	Medición de temperatura.....	64
2.2.12.3	Medición de biogás.....	65
2.2.12.4	Quema del biogás.....	66
2.2.12.5	Extracción de biol para análisis de post-tratamiento.....	66

### CAPÍTULO III

3	CÁLCULOS, RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	67
3.1	Cálculos. ....	67
3.1.1	<i>Determinación de materia prima disponible (kg /día).</i> ....	67
3.1.2	<i>Determinación de biogás en m<sup>3</sup>/día, en base a la materia prima disponible.</i> ....	71
3.1.3	<i>Cálculo de la carga diaria al biodigestor (materia prima disponible+ agua)</i> ....	72
3.1.4	<i>Dimensionamiento de la cámara de digestión.</i> .....	73
3.1.5	<i>Cálculo de la curvatura de la cúpula superior.</i> .....	77
3.1.6	<i>Cálculo de la curvatura de la cúpula inferior.</i> .....	78
3.1.7	<i>Altura final del biodigestor.</i> .....	79
3.1.8	<i>Volumen final del biodigestor.</i> .....	80
3.1.9	<i>Volumen del biodigestor para la parte líquida (materia prima + agua)</i> ....	80
3.1.10	<i>Cálculo de la caja de entrada. Ce</i> .....	82
3.1.11	<i>Cálculo de la caja de salida. Cs</i> .....	83
3.1.12	<i>Dimensionamiento de la caja de lodos.</i> .....	84
3.1.13	<i>Tubería que conducir la carga diaria y salida al biodigestor.</i> .....	84
3.1.14	<i>Capacidad de almacenamiento de biogás.</i> .....	86
3.1.15	<i>Determinación del gasómetro.</i> .....	86
3.1.16	<i>Cálculos del Gasómetro</i> .....	87
3.2	Resultados.....	90
3.2.1	<i>Resultados de las muestras de estiércol</i> .....	90
3.2.2	<i>Resultados del biol</i> .....	97
3.2.3	<i>Medición del biogás.</i> .....	98
3.2.4	<i>Costo/beneficio del proyecto.-</i> .....	99
3.3	Análisis .....	101
3.3.1	<i>Evaluación de los Impactos Ambientales</i> .....	101
3.3.1.1	<i>Interpretación de los impactos positivos y negativos</i> .....	104
3.3.1.2	<i>Análisis ambiental del proyecto.</i> .....	105
3.3.2	<i>Comparación del estiércol y biol.</i> .....	106
3.3.3	<i>Análisis del pH dentro del biodigestor.</i> .....	114
3.3.4	<i>Análisis de temperatura.</i> .....	115
3.3.4.1	<i>Temperatura dentro del Biodigestor</i> .....	115
3.3.4.2	<i>Temperatura ambiente</i> .....	116
3.3.4.3	<i>Comparación de la temperatura dentro del biodigestor y temperatura ambiente.</i> .....	116
3.3.5	<i>Registro de presión en el biodigestor</i> .....	118
3.4	Discusión de resultados. ....	118

3.4.1	<i>Biogás</i> .....	118
3.4.2	<i>Quema del biogás</i> .....	120
3.4.3	<i>Método para evaluar la inversión con VAN Y TIR</i> .....	120
	CONCLUSIONES .....	123
	RECOMENDACIONES .....	124
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Características generales del biogás .....	9
Tabla 2-1: Residuos orgánicos de diversos orígenes .....	10
Tabla 3-1: Producción de biogás con distintas materias primas. ....	10
Tabla 4-1: Rendimiento de la materia prima empleada .....	11
Tabla 5-1: Potencial de la producción del gas metano de algunos residuos. ....	12
Tabla 6-1: Bacterias que participan en el proceso de fermentación durante las cuatro fases ...	13
Tabla 7-1: Valores promedios aproximados de la relación carbono/nitrógeno de algunos residuos disponibles en el medio rural. ....	18
Tabla 8-1: Datos promedios sobre el contenido de sólidos totales de diversos residuos. ....	19
Tabla 9-1: Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica. ....	20
Tabla 10-1: Tiempo de retención hidráulico de estiércol de ganado en distintas regiones .....	22
Tabla 11-1: Tiempo de retención según la temperatura. ....	23
Tabla 12-1: Concentración de inhibidores más comunes.....	25
Tabla 13-1: Composición media de estiércol frescos de diferentes animales domésticos (% materia seca). ....	26
Tabla 1-2: Ubicación Político Administrativo del proyecto. ....	31
Tabla 2-2: Coordenadas del lugar de estudio .....	32
Tabla 3-2: Parámetros analizados pre-tratamiento.....	36
Tabla 4-2: Ponderación de los factores a evaluar.....	40
Tabla 5-2: Matriz de Preselección del digestor de campana flotante “Hindú. ....	41
Tabla 6-2: Matriz de Preselección de Digestor de “Bolsa Flexible”.....	42
Tabla 7-2: Matriz de Preselección del digestor de domo fijo “Chino”. ....	42
Tabla 8-2: Actividades que se efectuaron durante la construcción y operación del proyecto .	46
Tabla 9-2: Materiales utilizados en la construcción del biodigestor. ....	49
Tabla: 1-3: Producción de estiércol.....	67
Tabla 2-3: Valores calculados para la determinación de estiércol disponible .....	69
Tabla 3-3: Muestreo de los residuos de cocina que tienen mayor facilidad en descomposición. ....	70
Tabla 4-3: Valores y Características de algunos desechos vegetales.....	70
Tabla 5-3: Datos básicos de diseño de biodigestores para producción de biogás a partir de estiércol vacuno.....	72
Tabla 6-3: Relación estiércol – agua.....	73
Tabla 7-3: Relación óptima entre longitud y diámetro del biodigestor.....	87
Tabla 8-3: Parámetros para el dimensionamiento del biodigestor .....	88

Tabla 9-3: Medidas de la cámara del biodigestor .....	88
Tabla 10-3: Medidas de la caja de entrada de mezcla al biodigestor .....	89
Tabla 11-3: Medidas de la caja de salida de biol del biodigestor.....	89
Tabla 12-3: Medidas del gasómetro que se instalará adicionalmente al biodigestor. ....	90
Tabla 13-3: Análisis de laboratorio de las dos muestras de estiércol fresco.....	90
Tabla 14-3: Análisis de laboratorio del biol.....	98
Tabla 15-3: Medición de biogás en ml, L, m <sup>3</sup> a una sola medición de acuerdo al método de desplazamiento de líquido.....	98
Tabla 16-3: Precios de materiales utilizados en la Construcción del biodigestor .....	99
Tabla 17-3: Análisis de precios de mano de obra en la Construcción del biodigestor.....	100
Tabla 18-3: Total de costo.....	101
Tabla 19-3: Matriz de Leopold .....	102
Tabla 20-3: Rango de valores según el tipo de Impacto .....	103
Tabla 21- 3: valoración de impactos ambientales para construcción del Biodigestor .....	103
Tabla 22-3: Determinación del pH Pre y Post tratamiento .....	106
Tabla 23-3: Determinación de sólidos totales pre y post tratamiento .....	107
Tabla 24-3: Determinación de sólidos totales volátiles pre y post tratamiento.....	108
Tabla 25-3: Determinación de materia orgánica pre y post tratamiento .....	109
Tabla 26-3: Determinación de Nitrógeno total pre y post tratamiento.....	110
Tabla 27-3: Determinación del fósforo a pre y post tratamiento .....	111
Tabla 28-3: Determinación del Potasio pre y post tratamiento .....	111
Tabla 29-3: Determinación de coliformes totales pre y post tratamiento .....	112
Tabla 30-3: Determinación del coliformes Fecales pre y post tratamiento.....	113
Tabla 31-3: Promedio de temperatura dentro y fuera del biodigestor.....	117
Tabla 32-3: Resultados de producción de biogás.....	118

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Biodigestor de campana flotante.....	5
Figura 2-1: Biodigestor de domo fijo.....	6
Figura 3-1: Biodigestor de estructura flexible.....	7
Figura 4-1 : Síntesis de las etapas presentes en la digestión anaeróbica.....	15
Figura 5-1: Tasa de crecimiento relativo de microorganismos psicrófilos, mesófilos y termófilos.....	21
Figura 6-1: Producción de biogás en función de la temperatura.....	21
Figura 7-1: Dependencia del pH de la actividad metanogénica.....	24
Figura 8-1: Biol obtenido de la descomposición anaeróbica.....	28
Figura 1-2: Localización de la Provincia de Orellana.....	31
Figura 2-2: Mapa de ubicación de la finca “Isabel”.....	32

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1-1: Estiércol vacuno de la Finca Isabel en Taracoa. ....	26
Fotografía 2-1: Rumen obtenido del Camal Municipal de Fco. Orellana.....	27
Fotografía 1-2: Selección del área donde se construyó el biodigestor.....	48
Fotografía 2-2: Limpieza y preparación del área donde se construyó el biodigestor.....	48
Fotografía 3-2: Marcación del lugar donde se realizó la excavación.....	50
Fotografía 4-2: Excavación del agujero, zanjas de entrada y salida. ....	51
Fotografía 5-2: Construcción de la base del biodigestor.....	52
Fotografía 6-2: Construcción de la cámara del biodigestor.....	52
Fotografía 7-2: Enlucido de la cámara del biodigestor.....	53
Fotografía 8-2: Construcción de la caja de entrada de estiércol.....	54
Fotografía 9-2: Construcción de la caja de salida de biol. ....	54
Fotografía 10-2: Construcción de la caja para la limpieza.....	55
Fotografía 11-2: Construcción de la cúpula del biodigestor.....	56
Fotografía 12-2: Construcción de la válvula de seguridad.....	57
Fotografía 13-2: Construcción de la trampa de agua.....	57
Fotografía 14-2: Construcción del filtro para ácido sulfhídrico.....	58
Fotografía 15-2: Construcción del gasómetro.....	59
Fotografía 16-2: Elaboración del gasómetro.....	59
Fotografía 17-2: Mantenimiento y cuidado del biodigestor.....	60

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Análisis de las muestras de Potencial Hidrógeno.....	91
Gráfico 2-3: Análisis de la muestra de Sólidos Totales en estiércol fresco .....	92
Gráfico 3-3: Análisis de la muestra de Sólidos Totales Volátiles .....	92
Gráfico 4-3: Análisis de la muestra de Materia Orgánica .....	93
Gráfico 5-3: Análisis de la muestra de Carbono Orgánico .....	93
Gráfico 6-3: Análisis de la muestra de Nitrógeno Total .....	94
Gráfico 7-3: Análisis de la muestra de Fósforo.....	94
Gráfico 8-3: Análisis de la muestra de humedad .....	95
Gráfico 9-3: Análisis de la muestra de potasio .....	95
Gráfico 10-3: Análisis de la muestra de Zinc.....	96
Gráfico 11-3: Análisis de la muestra de Cobre .....	96
Gráfico 12-3: Análisis de la muestra de Hierro.....	97
Gráfico 13-3: Análisis de la muestra de Recuento de Microorganismos. ....	97
Gráfico 14-3: Comparación de potencial hidrógeno en la muestra de estiércol y biol. ....	106
Gráfico 15-3: Comparación de Sólidos Totales pre y post tratamiento .....	107
Gráfico 16-3: Comparación de Sólidos Totales Volátiles pre y post tratamiento.....	108
Gráfico 17-3: Comparación de Materia Orgánica en pre y post tratamiento .....	109
Gráfico 18-3: Comparación de Nitrógeno Total en pre y post tratamiento.....	110
Gráfico 19-3: Comparación del Fósforo en pre y post tratamiento.....	111
Gráfico 20-3: Comparación de potasio pre y post tratamiento. ....	112
Gráfico 21-3: Comparación de coliformes totales pre y post tratamiento. ....	113
Gráfico 22-3: Comparación de coliformes fecales pre y post tratamiento.....	113
Gráfico 23-3: Monitoreo de pH.....	114
Gráfico 24-3: Monitoreo de Temperatura dentro del Biodigestor .....	115
Gráfico 25-3: Monitoreo de temperatura ambiente.....	116
Gráfico 26-3: Comparación de temperatura promedio dentro y fuera del biodigestor. ....	118
Gráfico 27-3: Producción de Biogás en la Finca Isabel .....	119



## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: C/N de la mezcla de materias primas .....	17
Ecuación 2: Kilogramo de estiércol fresco día.....	70
Ecuación 3: Residuos de Materia prima disponible .....	71
Ecuación 4: Materia prima disponible (estiércol vacuno, residuos orgánicos de cocina).....	71
Ecuación 5: Cálculo de la cantidad de GLP a m <sup>3</sup> de biogás .....	72
Ecuación 6: Cálculo de la carga diaria al biodigestor .....	73
Ecuación 7: Volumen del tanque del biodigestor.....	74
Ecuación 8: Sobredimensionamiento para almacenamiento de biogás.....	74
Ecuación 9: Cantidad de rumen de ganado vacuno.....	74
Ecuación 10: Cálculo del volumen total del tanque del biodigestor .....	75
Ecuación 11: Diámetro interno del biodigestor.....	75
Ecuación 12: Diámetro externo del biodigestor .....	76
Ecuación 13: Radio interno del biodigestor .....	76
Ecuación 14: Cálculo de la curvatura de la cúpula superior .....	77
Ecuación 15: Radio de la curvatura superior .....	78
Ecuación 16: Radio de la curvatura superior aplicada .....	78
Ecuación 17: Volumen de la cúpula superior (Vcs).....	78
Ecuación 18: Cálculo de la curvatura de la cúpula inferior .....	78
Ecuación 19: Cálculo de la curvatura de la cúpula inferior aplicada .....	79
Ecuación 20: Volumen de la cúpula inferior.....	79
Ecuación 21: Altura final del biodigestor .....	79
Ecuación 22: Volumen final del biodigestor .....	80
Ecuación 23: Volumen del biodigestor para la parte líquida (materia prima + agua) .....	80
Ecuación 24: Volumen de nivel de llenado de mezcla desde la base del tanque del biodigestor .....	80
Ecuación 25: Altura de nivel de llenado desde la base del tanque del biodigestor .....	81
Ecuación 26: Volumen de inoculante .....	81
Ecuación 27: Dimensionamiento de la caja de entrada.....	82
Ecuación 28: Cálculo de la caja de salida. Cs.....	83
Ecuación 29: Cantidad de Estiércol fresco con relación a los sólidos totales .....	85
Ecuación 30: Capacidad de almacenamiento de biogás.....	86
Ecuación 31: Determinación del gasómetro.....	87
Ecuación 32: Cálculos del Gasómetro .....	87

## ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A: Flora presente en la finca Isabel de la Parroquia Taracoa.
- Anexo B: Fauna registrada en el área del proyecto en la Finca Isabel.
- Anexo C: Características del suelo de la finca Isabel.
- Anexo D: Registro de la temperatura en el levantamiento de línea base.
- Anexo E: Registro de la presión en el biodigestor.
- Anexo F: Muestreo para la caracterización del estiércol de ganado vacuno.
- Anexo G: Resultados de laboratorio, muestras de estiércol pre-tratamiento.
- Anexo H: Cuantificación de la carga diaria de estiércol.
- Anexo I: Altura del extremo interno de la tubería para conducir el biol desde el biodigestor a la caja de salida.
- Anexo J: Temperatura en la finca Isabel durante el funcionamiento del biodigestor.
- Anexo K: Registro del pH en el biodigestor.
- Anexo L: Temperatura dentro del biodigestor.
- Anexo M: Construcción e instalación del biodigestor.
- Anexo N: Carga diaria de la materia prima.
- Anexo O: Toma de muestra post-tratamiento (biol).
- Anexo P: Medición de la producción de biogás.
- Anexo Q: Quema del biogás.
- Anexo R: Resultados de laboratorio, muestras de biol post-tratamiento.
- Anexo S: Planos del biodigestor chino
- Anexo T: Diagrama esquemático de metodología en el trabajo de titulación.

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>NaOH</b>	Hidróxido de Sodio
<b>CaO</b>	Monóxido de Calcio
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano.
<b>Kg</b>	Kilogramo.
<b>GLP</b>	Gas licuado de petróleo.
<b>m<sup>3</sup></b>	Metros cúbicos.
<b>L</b>	Litros.
<b>°C</b>	Grados centígrados.
<b>Ppm</b>	Partes por millón.
<b>Ph</b>	Potencial de hidrógeno.
<b>C/N</b>	Relación carbono – nitrógeno.
<b>SV</b>	Sólidos volátiles.
<b>K</b>	Potasio.
<b>P</b>	Fósforo.
<b>LABSU</b>	Laboratorio de suelos, aguas y plantas.
<b>PVC</b>	Policloruro de vinilo.
<b>Km</b>	Kilómetros.
<b>%</b>	Porcentaje.
<b>C</b>	Carbono.
<b>Cu</b>	Cobre.
<b>Fe</b>	Hierro.
<b>Mn</b>	Manganeso.
<b>Zn</b>	Zinc.
<b>°</b>	Grados.
<b>Cm</b>	Centímetros.
<b>Mm</b>	Milímetros.
<b>Pulg</b>	Pulgadas.
<b>°T</b>	Temperatura.
<b>ST</b>	Sólidos totales.
<b>VCH<sub>4</sub></b>	Volumen de metano.
<b>TR</b>	Tiempo de retención.
<b>N</b>	Nitrógeno.

## RESUMEN.

Se diseñó y construyó un biodigestor tipo chino anaerobio para producción de biogás a partir de estiércol vacuno en la finca “Isabel”, de la parroquia Taracoa, provincia de Orellana. Este proyecto se lo realizó en principio, con la revisión de varias fuentes de investigación relacionadas con el tema que ya han sido aplicadas bajo condiciones similares a las encontradas en la finca. Se estimó la cantidad de estiércol de 123 kg/día, mediante el muestreo aleatorio simple se tomaron las muestras de estiércol para realizar los análisis físicos-químicos y microbiológicos en el laboratorio LABSU, obteniendo los valores de; sólidos totales 14%, relación carbono/nitrógeno 17:1, los cuales permitieron realizar ecuaciones y fórmulas ingenieriles para determinar las dimensiones del biodigestor y la planimetría fue diseñada en el software AutoCAD. Para la construcción del biodigestor chino se empleó: material pétreo (4 m<sup>3</sup>), cemento (30 qq), malla electrosoldada de 10x10 mm, tubo de PVC de 8 y 6 pulg, hierro de 8 mm (qq), tablas triplex (3), tablas de madera (25). En la finca “Isabel” se utilizaba 2 cilindros de Gas Licuado de Petróleo (GLP) al mes, pero se construyó el biodigestor tipo "chino" de hormigón armado en base a la materia prima disponible, con las siguientes dimensiones: altura total 3,32 m; diámetro 2,24 m; la cámara de biodigestión tiene un volumen 8,82 m<sup>3</sup>, el volumen de la cúpula superior 0,935 m<sup>3</sup> y de la cúpula inferior 0,563 m<sup>3</sup>, en consecuencia tiene un volumen total 10,318 m<sup>3</sup>, obteniendo una producción estimada de 2.16 m<sup>3</sup> de biogás por día, un medio de energía amigable con el medio ambiente que sustituye un 98% al GLP.

**Palabras Clave:** <BIODIGESTOR CHINO>, <BIOGÁS>, <BIOL>, <GASÓMETRO>, <PRE-TRATAMIENTO>, <POST-TRATAMIENTO>, <SÓLIDOS TOTALES>, <MATERIA PRIMA> <TARACOA [Parroquia]> <FRANCISCO DE ORELLANA [Cantón]>

## SUMMARY.

A bio-manager type Chinese anaerobic was designed to produce biogas from cattle manure in the farm “Isabel”, in Taracoa, in the province of Orellana. This project was carried out considering researching literature review related to the topic and which have been applied under similar conditions with the ones found at the farm. 123kg/day of manure were estimated through simple random sampling in order to carry out a physical-chemical and microbiological analysis in the laboratory LABSU, getting the following results: total solids 14%, relation carbon/nitrogen 17:1, which were designed in the software AutoCAD and allowed performing engineering equations and formulas in order to determine dimensions of bio-manager and planimetry. The following materials were used for creating the bio-manager type Chinese: stone ( $4\text{m}^3$ ), cement (30qq), electrowelded mesh of 10x10 mm, PVC tube of 8 and 6 inches, iron of 8mm (quintals), triplex tables (3), wood tables (25). In the farm “Isabel” 2 gas cylinders were used a month. The bio-manager type Chinese of reinforced concrete was built from prima material available considering the following dimensions: total height 3,32m; diameter 2,24m; the bio-manager chamber is  $8,82\text{m}^3$ , upper dome  $0,935\text{m}^3$  and the lower dome  $0,563\text{m}^3$ , so it is  $10,318\text{m}^3$  totally, obtaining an estimated production of  $2,16\text{ m}^3$  of biogas a day, it is a friendly means of energy with the environment which is 98% to liquid petroleum gas.

**Key words:** <Chinese Bio-manager>, <Biogas>, <Biol>, <Gasometer>, <pre-treatment>, <post-treatment>, <total solids>, <primary matter> <Taracoa [Parroquia]> <Francisco de Orellana province]>

## INTRODUCCIÓN

El deterioro del ambiente ocurre diariamente por la ejecución de actividades antropogénicas, donde se ha visto afectado el suelo, agua, flora y fauna. El informe de la (FAO- 2008) señala que la producción pecuaria es una de las causas principales de los problemas ambientales más apremiantes del mundo, como la degradación de terrenos, la contaminación atmosférica, del agua y la pérdida de biodiversidad. El informe estima que el ganado es responsable del 18% de las emisiones de gases que produce el efecto invernadero.

El vertido de las excretas de ganado vacuno a los distintos cuerpos receptores sin un tratamiento adecuado, afecta la calidad del suelo, cuerpos de agua y aire. El tratamiento de las excretas del ganado vacuno, por medio de biodigestores se presenta como una alternativa innovadora para un adecuado proceso de descomposición de las excretas con fines ambientales y humanos, tal situación enfoca la necesidad de diseñar y construir modelos guiándose en las tecnologías de biodigestores ya construidos, valorando la calidad de estos residuos debido a la condición ambiental en la que se encuentran los sectores rurales.

Como se sabe el problema de la contaminación es algo que nos compete a todos, reducir los impactos ambientales es indispensable para la conservación de todo tipo de vida. El trabajo de titulación se basa en, diseñar y construir un biodigestor anaerobio en la finca “Isabel” de la parroquia Taracoa, cantón Fco. de Orellana, provincia Orellana, con la finalidad de obtener una producción de biogás que sustituya al (GLP) para la cocción de alimentos y calentamiento de agua en el desplumado de pollos. Así mismo obteniendo la generación de abonos orgánicos como biol y biosol ricos en nutrientes para la fertilización del suelo y mejora de los cultivos.

Para la realización del proyecto se analizaron varios tipos de biodigestores que actualmente han sido acogidos por varios ganaderos y agricultores en Ecuador, entre los cuales están el modelo Chino, Hindú y el de Bolsa flexible, para elegir el tipo de biodigestor a construir se consideran matrices de decisión en las cuales se valora factores operacionales, económicos y la posibilidad de construcción, tiempo de vida útil, lo cual permitió seleccionar al biodigestor tipo Chino como el más eficaz para la Familia de la Finca Isabel.

## **JUSTIFICACIÓN.**

En la Provincia de Orellana, la contaminación ambiental es notable por las industrias petroleras, sin embargo la ganadería es una de las principales actividades del sector rural, sus residuos orgánicos se vierten hacia el suelo y debido a las escorrentías de las fuertes lluvias también se afecta fuentes hídricas, de tal forma que afecta a las familias dedicadas a esta actividad, al consumir el agua contaminada, acumulación de residuos en el suelo, la presencia de malos olores, aumento de insectos, e impacto visual. Además se produce en las familias aledañas malestares y daños a la salud, debido a que se abastecen y consumen las aguas de riachuelos contaminados.

Por cuanto hemos planteado el diseño y construcción de un biodigestor en la finca “Isabel” ubicado en la parroquia Taracoa, el mismo que tendrá como fin principal la reducción de la contaminación producida en las áreas que albergan los animales y por ende la contaminación que sus excretas producen en las corrientes acuáticas que desembocan a riachuelos donde utilizan el agua familias vecinas.

Es importante indicar que con la construcción del biodigestor además de reducir la contaminación del aire, suelo y cuerpos de agua existentes en la zona, se aprovecha la degradación del estiércol vacuno, para producir biogás y biol, lo cual es beneficioso porque permite reducir la inversión en la compra de combustibles.

La tecnología del biodigestor se convertirá en un referente motivador a implementar para los demás habitantes de la parroquia Taracoa, demostrando que se puede minimizar impactos ambientales y generar energías alternativas a través de un adecuado tratamiento de los residuos sólidos.

Hay que tener en cuenta que esta tecnología es de bajo costo y brinda grandes beneficios para las zonas rurales, siendo de fácil instalación y mantenimiento, y se puede requerir sólo materiales locales para su construcción. Por ello se considera una “tecnología apropiada”, aunque en nuestro país se está innovando con la alternativa de utilizar las cocinas de inducción, pero en la zona rural de la Parroquia Taracoa el servicio de energía eléctrica es insuficiente.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General.**

Diseñar y construir un biodigestor para producción de biogás a partir de estiércol vacuno en la finca “Isabel” de la parroquia Taracoa, provincia de Orellana.

### **Objetivos Específicos**

- Caracterizar el estiércol de ganado vacuno mediante análisis físico-químico y microbiológico y cuantificarlo.
- Determinar las principales variables que intervienen en el proceso de fermentación para el diseño adecuado del biodigestor.
- Construir el Biodigestor.
- Obtener Biogás y caracterizarlo.



# CAPÍTULO I

## 1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

### 1.1 Biodigestor.

Es el recinto donde el material permanece el tiempo necesario para producir la degradación de la materia orgánica. En sus comienzos los biodigestores chinos e hindúes eran fabricados con mampostería, actualmente pueden ser construidos con tanques de plástico, tanques de polietileno reforzado en fibra de vidrio, ferrocemento, acero o bolsas de polietileno. (Huerga et al., 2014: pp.16)

Son conocidos también como plantas (productoras o de producción) de biogás, son tanques cerrados donde la materia orgánica y el agua residual permanecen un periodo de tiempo para lograr su descomposición produciendo biogás y bioabono. (Yank et al., sf; Pedraza et al. 2002; Ramón et al. 2006)

#### *1.1.1 Clasificación de digestores.*

##### *1.1.1.1 Discontinuo o Batch.*

Se caracterizan por una carga y vaciado total de la cámara de digestión. De uso en laboratorios y en el tratamiento de materias vegetales. Con o sin agitación. Requieren para acelerar su arranque de una proporción de inóculo 20%. Su curva de producción de gas sigue la característica (arranque – estabilización - agotamiento). (Hilbert, 1993, p.15).

##### *1.1.1.2 Semi-continuo.*

Cuando la primera carga que se introduce al digestor consta de una gran cantidad de materias primas. Posteriormente, se agregan volúmenes de nuevas cargas de materias primas (afluente), calculados en función del tiempo de retención (TR) y del volumen total del digestor. (Varnero, 2011, p.97)

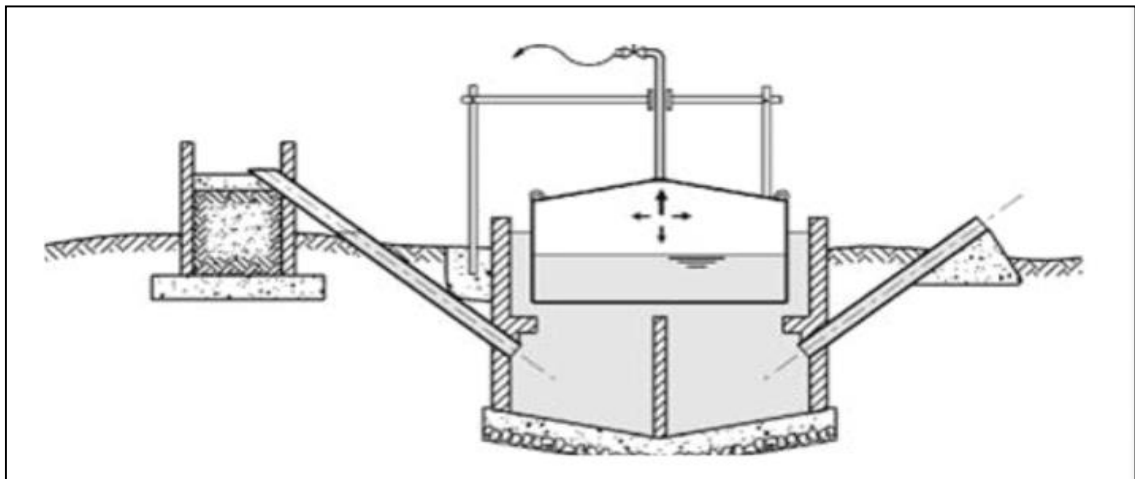
### 1.1.1.3 Continuo.

En este tipo de digestores el volumen que ingresa desplaza una cantidad equivalente de efluente que se evacua por la salida. De este modo el volumen del substrato en la cámara de digestión se mantiene constante. (Hilbert, 1993, p.16).

## 1.1.2 Tipos de biodigestores.

### 1.1.2.1 Campana flotante (Hindú).

Es originario de la India y se ha difundido mucho porque mantiene una presión de trabajo constante, generalmente son verticales, con el gasómetro incorporado (por lo que se llama digestor de cúpula móvil), la estructura se construye de bloques y concreto, y el gasómetro es de acero, lo que lo hace costoso. (Guevara, 1996, p.33)

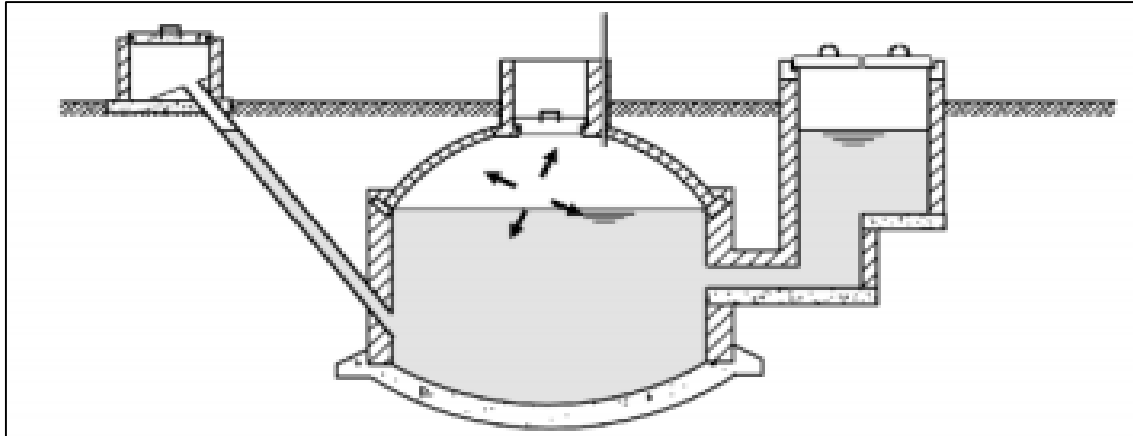


**Figura 1 - 1:** Biodigestor de campana flotante.

Fuente: Chacón, 2007, pp. 14

### 1.1.2.2 Biodigestor de domo fijo (Chino).

Este modelo está muy difundido en la China, es un digestor de cúpula fija en forma cilíndrica, enterrados con cámara de hidropresión. En su estructura presenta una cámara cerrada con sus respectivas cámaras de carga y de salida, se la puede construir de concreto armado, ladrillos, piedra u hormigón, con una larga vida útil con un buen mantenimiento y limpieza sistemática. (Guevara, 1996, p.33)



**Figura 2 – 1:** Biodigestor de domo fijo.

Fuente: Chacón, 2007, pp.14

### 1.1.2.3 Biodigestor de estructura flexible.

Los ingenieros Taiwaneses en los años sesenta fueron los primeros en diseñar biodigestores con materiales flexibles más baratos, locales y accesibles. En este digestor, el gas se va acumulando en la parte superior de la bolsa, parcialmente se llena con materia orgánica en fermentación, la bolsa se va inflando lentamente con el gas metano a una presión baja debido al biogás que se va obteniendo. Este biodigestor presenta los siguientes componentes: tubo de entrada, tubo del afluyente, tubo de metano, dispositivo de seguridad, tubo de limpieza. (Benzing, 2001, p.256-265)

Entre sus ventajas, están (Botero & Preston 1987; Pedraza et al. 2002; Aguilar & Botero 2006): sus materiales de construcción son de fácil transporte; su instalación y adecuación del sitio son sencillas; es apropiado en sitios con nivel freático alto, por su construcción horizontal; y entre los tipos de biodigestores, es el menor costo de construcción y operación; pueden ser instalados por la comunidad beneficiada, sin que ésta tenga conocimientos sobre construcción.

Son desventajas, la baja presión de gas; una vida útil corta, entre 3 y 8 años, 16 dependiendo del material que se seleccione; debe protegerse contra los rayos solares; y el material plástico está sujeto a daños, siendo necesario en lo posible encerrarse el área adyacente al biodigestor (Botero & Preston 1987; Pedraza et al. 2002; Aguilar & Botero 2006).



**Figura 3 – 1:** Biodigestor de estructura flexible

**Fuente:** Biodigestores Económicos, 2009.

### **1.1.3**      *Componentes de un biodigestor.*

Los principales componentes de un digestor anaeróbico lo constituyen un reactor o contenedor de las materias primas a digerir; un contenedor de gas, con los accesorios para salida de biogás, entrada o carga de materias orgánicas primas y salida o descarga de materias orgánicas estabilizadas. (Varnero, 2011, p. 79)

#### **1.1.3.1**      *Sistema de carga.*

Normalmente, el afluente se introduce por la parte superior del digestor y el sobrenadante se extrae por el lado contrario. (Varnero, 2011, p. 79)

#### **1.1.3.2**      *Reactor.*

El reactor corresponde al dispositivo principal donde ocurre el proceso bioquímico de degradación de la materia orgánica. Los reactores de digestión pueden tener forma cilíndrica, cúbica, ovoide o rectangular, aunque la mayor parte de los tanques que se construyen en la actualidad son cilíndricos. (Varnero, 2011, p. 79)

#### **1.1.3.3**      *Sistema de descarga.*

En un digestor de cubierta fija puede haber de 3 a 5 tubos de sobrenadante colocados a distintos niveles, o un único tubo con válvulas a distintos niveles, para la extracción del mismo. Por regla general, se elige aquel nivel que extraiga un efluente de mejor calidad (con la menor cantidad posible de sólidos). (Varnero, 2011, p. 79)

#### *1.1.3.4 Sistema de gas.*

El proceso de digestión anaerobia produce de 400 a 700 litros de gas por cada kilogramo de materia orgánica degradada, según las características del influente. El gas se compone fundamentalmente de metano y anhídrido carbónico. El contenido en metano del gas de un digestor que funcione adecuadamente variará del 65% al 70% en volumen, con una oscilación en el anhídrido carbónico del 30% al 35%. Uno o dos por ciento del gas del digestor se compone de otros gases. (Varnero, 2011, p. 79)

#### *1.1.3.5 Extracción de lodos*

Las tuberías de extracción de lodos suelen estar colocadas sobre bloques a lo largo del suelo inclinado del digestor. El lodo se extrae por el centro del reactor. Estas tuberías tienen, por lo general, 15 cm de diámetro o van equipadas con válvulas tapón para evitar obstrucciones, y se utilizan para llevar periódicamente el lodo del digestor a un sistema de evacuación de lodos. (Varnero, 2011, p. 79)

### **1.2 Biogás.**

El término biogás incluye una mezcla de gases producidos a lo largo de las múltiples etapas del proceso de descomposición de la materia orgánica y en las que intervienen una población heterogénea de microorganismos. Fundamentalmente el biogás está compuesto por metano y dióxido de carbono, mezclado en menor proporción con distintas gases. (Altercexa, 2010, p. 3)

El biogás como cualquier otro combustible gaseoso, puede ser usado para fines domésticos e industriales (Lutz, sf). Diversos dispositivos son utilizados para aprovechar el biogás (Lutz, sf) como estufas, lámparas, calentadores radiantes y como combustible para motores diesel o a gasolina.

#### *1.2.1 Composición del Biogás.*

El biogás procedente de la digestión anaeróbica contiene además de metano también dióxido de Carbono y otros gases que se puede apreciar los porcentajes en la tabla 1-1. La eficiencia energética del biogás es 3,5 veces más alta que la de la leña y similar al Gas Licuado de Petróleo (GLP) gas comercial. (Benzing, 2001, p.256-265)

**Tabla 1 – 1:** Características generales del biogás

Composición	55 – 70% metano (CH <sub>4</sub> ) 30 – 45% dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 – 6.5 kW h m <sup>-3</sup>
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 L petróleo/m <sup>3</sup> biogás
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750°C (con el contenido de CH <sub>4</sub> mencionado)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 kg m <sup>-3</sup>
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg kmol <sup>-1</sup>

**Fuente:** María Varnero, 2011 citado por DEUBLEIN Y STEINHAUSER, 2008. Manual de Biogás

El biogás es un combustible formado sustancialmente por los siguientes gases: Metano (CH<sub>4</sub>) 50-75%, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) 25-45%, vapor de agua (H<sub>2</sub>O) 1-2%, monóxido de carbono (CO) 0 - 0,3%, nitrógeno (N<sub>2</sub>) 1-5%, hidrógeno, (H<sub>2</sub>) 0-3%, sulfuro de hidrógeno, (H<sub>2</sub>S) 0,1-0,5%, oxígeno, (O<sub>2</sub>) 0,1-1,0%. (Coombs, 1990)

### **1.2.2 Materias primas que sirven para producir biogás.**

Las diversas materias primas que se pueden utilizar en la fermentación metanogénica, pueden ser residuos orgánicos de origen vegetal, animal, agroindustrial, forestal, doméstico u otros. Las características bioquímicas que presenten estos residuos deben permitir el desarrollo y la actividad microbiana del sistema anaeróbico.

El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores). (Varnero, 2011, p. 29)

**Tabla 2 – 1:** Residuos orgánicos de diversos orígenes

Residuos de origen animal	Estiércol, orina, guano, camas, residuos de mataderos (sangre y otros), residuos de pescados
Residuos de origen vegetal	Malezas, rastrojos de cosechas, pajas, forraje en mal estado.
Residuos de origen humano	Heces, basura, orina
Residuos agroindustriales	Salvado de arroz, orujos, coquetas, melazas, residuos de semillas.
Residuos forestales	Hojas, vástagos, ramas y cortezas.
Residuos de cultivos acuáticos	Algas marinas, jacintos y malezas acuáticas.

Fuente: VARNERO Y ARELLANO, 2011, Manual de biogás.

Las sustancias con alto contenido de lignina no son directamente aprovechables y por lo tanto deben someterse a tratamientos previos (cortado, macerado, compostaje) a fin de liberar las sustancias factibles de ser transformadas de las incrustaciones de lignina. En el caso de estiércoles animales, la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que hayan recibido los mismos.

Los valores tanto de producción como de rendimiento en gas de los estiércoles presentan grandes diferencias. Esto es debido al sinnúmero de factores que pueden intervenir en el proceso, que hacen difícil la comparación de resultados. (Huerga et al., 2014: pp.16)

**Tabla 3 – 1:** Producción de biogás con distintas materias primas.

Material	Litros de biogás por kg de residuo fresco
Restos vegetales de maíz	833,0
Pasto seco	625,0
Sorgo granífero	550,0
Cáscara de arroz seca	350,0
Paja de trigo seca	350,0
Cáscara de cítricos	110,0
Estiércol ovino	100,0
Pasto verde	98,4
Residuos de comida	97,5
Estiércol caprino	80,0
Estiércol de cerdos	77,0
Estiércol de gallina	62,5

Continuará

Continúa

Desechos de huerta	51,0
Estiércol vacuno	50,0
Estiércol equino	45,0

Fuente: Huerga, Butti, Venturelli, 2014, Biodigestores de pequeña escala

**Tabla 4 – 1:** Rendimiento de la materia prima empleada

Componente	Desechos agrícolas	Lodos cloacales	Desechos industriales	Relleno sanitario
Metano	50-80 %	50-80 %	50-70 %	45-65 %
Dióxido de carbono	20-50%	20-50%	30-50%	34-55 %
Agua	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado
Hidrógeno	0-2 %	0-5 %	0-2 %	0-1 %
Sulfuro de hidrógeno	100-700 ppm	0-1 %	0-8 %	0,5-100 ppm

Fuente: Carrillo, 2003, Biogás: una alternativa ecológica para la producción de energía.

### 1.3 Metano.

El metano es el componente energético útil y de su contenido depende el valor combustible del biogás, es decir su capacidad calorífica. El gas que se genera en el proceso tiene múltiples aplicaciones, como por ejemplo, cocción, calefacción, combustibles de motores, iluminación entre otros. (Huerga et al., 2014, pp. 9)

Es el hidrocarburo saturado de cadena corta, cuya composición se basa en un carbono y cuatro hidrógenos, con fórmula CH<sub>4</sub>, en donde cada uno de los átomos de hidrógeno se encuentra unido al átomo de carbono a través de un enlace de tipo covalente. Se trata de un gas inodoro y sin color, además es de baja solubilidad en el agua. Es un compuesto no polar, el cual se presenta en forma de gas, a una temperatura y presión normales. Existen enormes cantidades de este gas, conocido por lo común como gas natural, en los depósitos subterráneos y bajo el lecho marino, en concreto, bajo el lecho marino ártico. (Méndez, 2010)

#### 1.3.1 *Potencial de producción de metano.*

Hace referencia al volumen de metano producido por kilogramo de sólidos volátiles presentes en la materia orgánica (m<sup>3</sup>/Kg SV). A continuación se presenta una tabla con valores de potencial de producción de metano de algunos residuos.



**Tabla 5 – 1:** Potencial de la producción del gas metano de algunos residuos.

Residuo Orgánico	$P_{CH_4} \left( \frac{m^3}{Kg SV} \right)$
Vaca	0,2
Res	0,35
Desecho municipal	0,2
Cerdo	0,45
Gallina	0,39
Aguas negras	0,406

Fuente: Sanchez Miño, Energías renovables conceptos y aplicaciones.

### 1.3.2 *Bacterias productoras de metano.*

Las bacterias involucradas en el proceso varían dependiendo de los materiales que serán degradados. Los alcoholes, ácidos grasos, y los enlaces aromáticos pueden ser degradados por la respiración anaeróbica de los microorganismos.

Estos utilizan, entre otros nutrientes, el nitrato (*Paracoccus denitrificans*, *Pseudomonas stutzerii*), azufre (*Desulfuromonas acetoxidans*, *Pyrodictium occultum*), sulfato (*Desulfovibrio desulfuricans*, *Desulfonema limicola*), carbonato (*Acetobacterium woodi*, *Clostridium aceticum*, *Methanobacterium thermoautotrophicum*), fumarato (*Escherichia coli*, *Wolinella succinogenes*) o Fe(III) (*Alteromonas putrefaciens*) como aceptores de electrones, por lo que pueden denominarse reductores de nitrato, reductores de sulfato, etc. Las bacterias que intervienen para producir el metano se encuentra distribuido en cada etapa metanogénica:

- Bacterias que participan de la hidrólisis son: *Bacteroides*, *Lactobacillus*, *Propionibacterium*, *Sphingomonas*, *Sporobacterium*, *Megasphaera*, *Bifidobacterium*.
- Bacterias que participan de la acidogénesis son: *Clostridium*, *Paenibacillus* y *Ruminococcus* están presentes en todas las fases del proceso de fermentación, pero son dominantes en la fase acidogénica.
- Bacterias que participan de la acetogénesis son: *Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolini*. Todos los microorganismos acetogénicos tienen un período de regeneración de hasta 84 h.

- Bacterias que participan de la metanogénesis el número de Arqueas metanogénicas aumenta en la fase metanogénica. Las principales especies están representadas por *Methanobacterium*, *Methanospirillum hungatii*, y *Methanosarcina*.

**Tabla 6 – 1:** Bacterias que participan en el proceso de fermentación durante las cuatro fases

<b>Taxonomía</b>	<b>Especies</b>	<b>Descripción</b>	<b>Metabolismo</b>
<b>Género:</b> <i>Acetobacteriu</i>	<i>A. woodii</i> <i>A.</i> <i>paludosum</i>	El género <i>Acetobacter</i> comprenden un grupo de bacilos Gram negativos, móviles que realizan una oxidación incompleta de alcoholes, produciendo una acumulación de ácidos orgánicos como productos finales.	Reducen autotróficamente compuestos poliméricos, oligómeros, monómeros y CO <sub>2</sub> , utilizando el hidrógeno como fuente de electrones. Estos microorganismos hacen posible la descomposición de los ácidos grasos y compuestos aromáticos.
<b>Género:</b> <i>Eubacterium</i>	<i>E. rectale</i> <i>E. siraeum</i> <i>E. plautii</i> <i>E.</i> <i>cylindroides</i> <i>E. brachy</i> <i>E.</i> <i>desmolans</i> <i>E.</i> <i>callandrei</i> <i>E. limosu</i>	El género <i>Eubacterium</i> consiste en un grupo de bacterias anaeróbicas obligadas Gram – positivas.	La mayoría de las <i>Eubacteria</i> <i>sacrolíticas</i> producen butirato como el principal producto de su metabolismo. Muchas especies son capaces de descomponer sustratos complejos a través de mecanismos especiales. Algunas especies se desarrollan autotróficamente, por lo tanto son capaces de cumplir funciones específicas en la descomposición anaeróbica.

Fuente: Insam, et al, 2009, Manual de biogás.

### 1.3.3 Fundamentos de la fermentación metanogénica.

El proceso anaerobio es un paso microbiológico en ausencia de oxígeno, en el que la materia orgánica se transforma por acción de microorganismos en biogás y bioabono (Yank et al., sf); en él se implica la realización de una serie de reacciones bioquímicas donde participan microorganismos, de los cuales una parte son oxidados completamente por el carbono formando anhídrido carbónico, mientras otra es reducida en alto grado para formar 9 metano (Guevara, 1996).

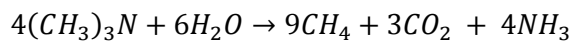
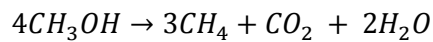
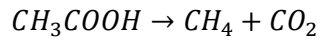
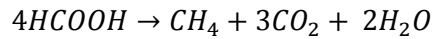
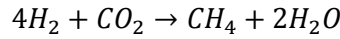
El proceso anaeróbico ocurre en cuatro etapas (Vargas 1992; Guevara 1996; Hilbert 1993), hidrólisis, acidogénesis, acetanogénesis, y metanogénesis, las cuales son descritas a continuación.

#### 1.3.3.1 *Etapas de la fermentación metanogénica.*

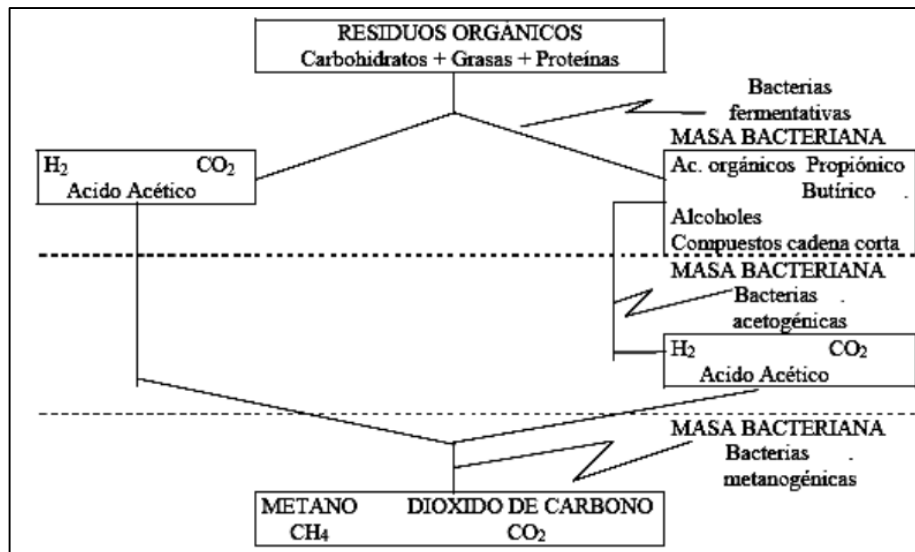
- **Hidrólisis:** En esta etapa, los substratos complejos (celulosa, proteína, lípidos) son hidrolizados en compuestos solubles (azúcares, aminoácidos y grasas) por la acción de enzimas extracelulares de las bacterias.
- **Acidogénesis:** En esta etapa se conoce también como la fermentativa, los compuestos solubles son fermentados a ácidos grasos volátiles (acético, propiónico, butírico), alcoholes hidrogeno y CO<sub>2</sub>. Es decir, es un periodo de producción intensiva de ácidos, que se inicia con los alimentos y compuestos de más fácil descomposición, como las grasas, donde hay una alta producción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), ácidos orgánicos y bicarbonatos; su pH se encuentra en la zona ácida, con valores entre 5.1 y 6.8 (Guevara 1996).
- **Acetanogénesis:** Esta etapa ocurre cuando las bacterias acetogénicas oxidan el ácido propiónico y el butírico hasta acético e hidrógeno, que son los verdaderos substratos metanogénicos. Es decir, es un periodo donde se producen ataques a los ácidos orgánicos y compuestos nitrosos, en pequeñas cantidades hay producción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), nitrógeno e hidrógeno, bicarbonatos y de compuestos amoniacales; se caracteriza por presentar mal olor debido a la presencia de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), flotación de gran parte de sus sólidos, y un pH aún en la zona ácida con valores entre 6.6 y 6.8 (Guevara 1996).
- **Metanogénesis:** En esta etapa, los últimos compuestos son tomados dentro de las células bacteriales metanogénicas convirtiéndolos en metano y excretándolo fuera de la célula. Este es un periodo de digestión intensiva, de carácter de fermentación alcalina, en el cual hay una digestión de las materias resistentes, de las proteínas, de los aminoácidos, y de la celulosa; se caracteriza por la producción de sales de ácidos orgánicos y volúmenes de gas, en una mezcla donde hay un alto porcentaje de metano, y el resto corresponde a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y nitrógeno (Guevara 1996).

Como características del material digerido, están el olor a alquitrán, hay pequeñas cantidades de sólidos flotantes, y el pH se ubica en la zona alcalina, con valores entre 6.9 y

7.4 (Guevara 1996). Las bacterias metanogénicas sólo pueden usar un número limitado de de sustratos para la formación de metano, éstos son CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, acetato, metanol, metilamina, y monóxido de carbono; las reacciones de conversión más usuales en la producción de energía que involucran estos compuestos son (Márquez 2005):

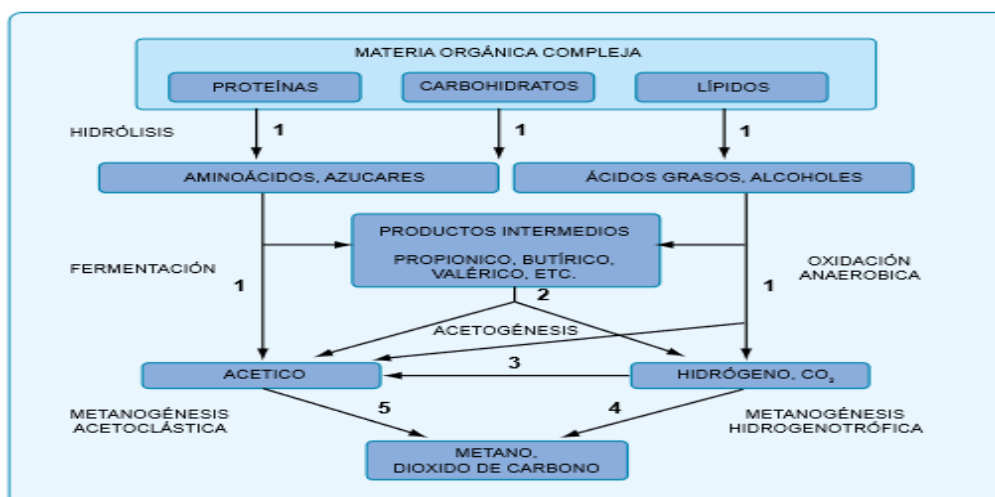


En la Figura 4-1, se presenta un resumen de las etapas de la fermentación metanogénica y se muestran los principales compuestos químicos que en ellos intervienen. (Olaya & Salcedo, 2009, p. 10)



**Figura 4 – 1 :** Síntesis de las etapas presentes en la digestión anaeróbica.

Fuente: Hilbert 2003, pp. 10



**Figura 5 – 1:** Esquema de la digestión anaeróbica de materiales poliméricos.

Fuente: Pavlostathis & Giraldo-Gómez, 1991.

### 1.3.4 Factores a considerar en el proceso metanogénico.

Los microorganismos metanogénicos son tolerantes a los cambios en las situaciones ambientales. Se han realizado investigaciones en las que se evalúan el proceso de un sistema anaeróbico con relación a la producción de metano. Por lo tanto la biotecnología anaeróbica requiere de un cuidadoso monitoreo de las condiciones ambientales.

Algunas de estas condiciones ambientales son: temperatura (mesofílica o termofílica), tipo de materias primas, nutrientes y concentración de minerales traza, pH (generalmente cercano a la neutralidad), toxicidad y condiciones redox óptimas. (Varnero, 2011, p.29).

#### 1.3.4.1 Material de carga para la fermentación metanogénica.

El material de carga se denomina a todos los desechos orgánicos que se introducen dentro de un biodigestor para su degradación, los microorganismos metanogénicos necesitan nutrientes para producir biogás por lo consiguiente es necesario tener suficiente material de carga para que el proceso no se interrumpa, se considera como material de carga a los residuos de cultivos, excretas de animales y humanos. (Guevara, 1996, p.15)

#### 1.3.4.2 Relación Carbono-Nitrógeno (C/N).

La materia orgánica después del proceso de fermentación sabemos que puede producir biogás al tenerla en una fermentación anaeróbica, la calidad y la cantidad del biogás producido dependerán de la composición y la naturaleza del residuo utilizado, en todo residuo orgánico

encontramos como principales componentes al carbono y al nitrógeno que constituye la fuente de alimentación de las bacterias metanogénicas. (Varnero, 2011, p. 79)

Los materiales de fermentación están compuestos en su mayor parte por carbono (C) y también contienen nitrógeno (N), entonces se establece la relación entre ellos (C/N), la cual influye sobre la producción de gas (Alcayaga et al. 1999). Una relación de 20:1 hasta 30:1 es aceptable (Alcayaga et al. 1999), aunque el valor ideal es de 16 (Corace et al. 2006); mezclas de materiales de fermentación con alto contenido de nitrógeno (como por ejemplo, el estiércol de gallina) con material de fermentación con alto contenido de carbono (como el tamo de arroz) generan una elevada producción de gas (Alcayaga et al. 1999).

Para la descomposición de residuos orgánicos con mayor contenido de carbono se requiere que la relación sea superior a 35:1, en cambio que una relación de carbono / nitrógeno de menor contenido 8:1 se inhibe la actividad bacteriana por un excesivo contenido de amonio.

La relación C/N óptima que debe tener el material fresco que se utilice para iniciar la digestión anaeróbica, es de 30 unidades de carbono por una unidad de nitrógeno, es decir, C/N = 30/1. Cuando no se tiene un residuo orgánico con una relación C/N inicial apropiada, es preciso realizar mezclas de materias orgánicas en cantidades adecuadas para obtener la relación C/N óptimas. (Varnero, 2011, p. 35)

Sobre la base del contenido de carbono y de nitrógeno de cada una de las materias primas como indica la (Tabla 7 - 1) puede calcularse la relación C/N de la mezcla aplicando la siguiente fórmula.

#### **Ecuación 1**

$$K = \frac{C1 * Q1 + C2 * Q2 + \dots + Cn * Qn}{N1 * Q1 + N2 * Q2 + \dots + Nn * Qn}$$

K = C/N de la mezcla de materias primas.

C = % de carbono orgánico contenido en cada materia prima.

N = % de nitrógeno orgánico contenido en cada materia prima.

Q = Peso fresco de cada materia, expresado en kilos o toneladas. (Varnero, 2011, p. 35)

En los niveles de amoníaco este parámetro es importante cuando se utilizan determinados materiales que contienen un alto porcentaje, como es el caso de los estiércoles de aves (Álvarez et al., sf).

**Tabla 7 – 1:** Valores promedios aproximados de la relación carbono/nitrógeno de algunos residuos disponibles en el medio rural.

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

Fuente: Varnero y Arellano, 1991. Manual De Biogás.

#### 1.3.4.3 Niveles de sólidos totales y sólidos volátiles.

La materia orgánica está compuesta de agua y una fracción sólida llamada sólidos totales (ST). El porcentaje de sólidos totales contenidos en la mezcla con que se carga el digester es un factor importante a considerar para asegurar que el proceso se efectúe satisfactoriamente. La movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a

medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y producción de gas.

Experimentalmente se ha demostrado que una carga en digestores semicontinuos no debe tener más de un 8% a 12 % de sólidos totales para asegurar el buen funcionamiento del proceso, a diferencia de los digestores discontinuos, que tienen entre un 40 a 60% de sólidos totales. (Varnero, 2011, p. 36)

Para calcular el volumen de agua que se debe mezclar con la materia prima para dar la proporción adecuada de sólidos totales, es necesario conocer el porcentaje de sólidos totales de la materia prima fresca como indica la siguiente (Tabla 8 - 1).

**Tabla 8 – 1 : Datos promedios sobre el contenido de sólidos totales**

<b>Materias Primas</b>	<b>% C</b>
<b>Residuos animales</b>	
Bovinos	13.4 – 56.2
Porcinos	15.0 – 49.0
Aves	26.0 – 92.0
Caprinos	83.0 – 92.0
Ovejas	32.0 – 45.0
Conejos	34.7 – 90.8
Equinos	19.0 – 42.9
Excretas humanas	17.0
<b>Residuos vegetales</b>	
Hojas secas	50.0
Rastrojos maíz	77.0
Paja de Trigo	88.0 – 90.0
Paja de arroz	88.8 – 92.6
Leguminosas (paja)	60.0 – 80.0
Hortalizas (hojas)	10.0 – 15.0
Tubérculos (hojas)	10.0 – 20.0
Aserrín	74.0 – 80.0

**Fuente:** Varnero y Arellano, 1991, Manual De Biogás.

Por ejemplo, en el caso del estiércol de bovino fresco, suponiendo que tiene un 20% de sólidos totales y se quiere diluir esta carga a un 5% de sólidos totales, para saber cuánta agua se debe agregar por kilo de excretas frescas, se realiza el siguiente cálculo:



$$\% \text{ S. T. (carga diluida)} = \frac{1 \text{ kg excreta} * \% \text{ S. T. excreta fresca}}{1 \text{ kg excreta fresca} + \text{agua agregada}}$$

$$0.05 = \frac{1 * 0.20}{1 + W \text{ agua}}$$

$$0.05 + 0.05 W \text{ agua} = 0.20$$

$$W \text{ agua} = \frac{0.15}{0.05} = 3 \text{ L/kg excretas fresca}$$

Sólidos Volátiles (S.V.). Es aquella porción de sólidos totales que se libera de una muestra, volatilizándose cuando se calienta durante dos horas a 600°C. Los SV contienen componentes orgánicos, los que teóricamente deben ser convertidos a metano. (Varnero, 2011, p. 35)

#### 1.3.4.4 Temperatura.

Los procesos anaeróbicos, al igual que muchos otros sistemas biológicos, son fuertemente dependientes de la temperatura. La velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados que a su vez, dependen de la temperatura. A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión, dando lugar a mayores producciones de biogás.

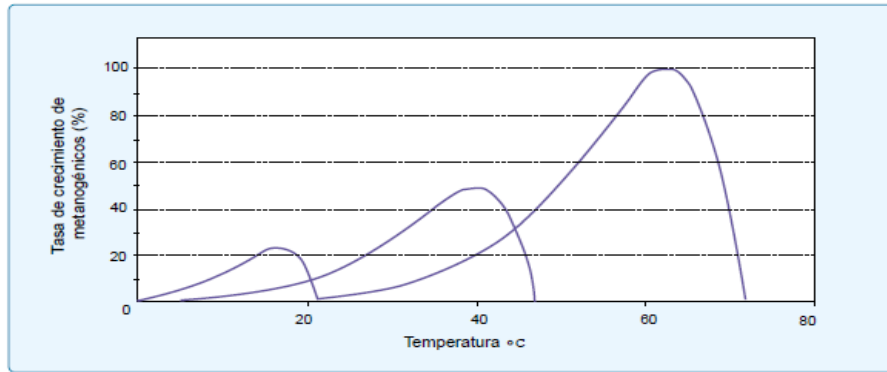
La temperatura de operación del digestor, es considerada uno de los principales parámetros de diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de digestión anaeróbica. Las variaciones bruscas de temperatura en el digestor pueden gatillar la desestabilización del proceso. Por ello, para garantizar una temperatura homogénea en el digestor, es imprescindible un sistema adecuado de agitación y un controlador de temperatura. (Varnero, 2011, p. 38)

Esta variación de temperatura afecta el tiempo de retención, el cual varía de acuerdo con el factor de corrección que puede ser determinado. (Vargas, 1992)

**Tabla 9 – 1:** Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica.

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

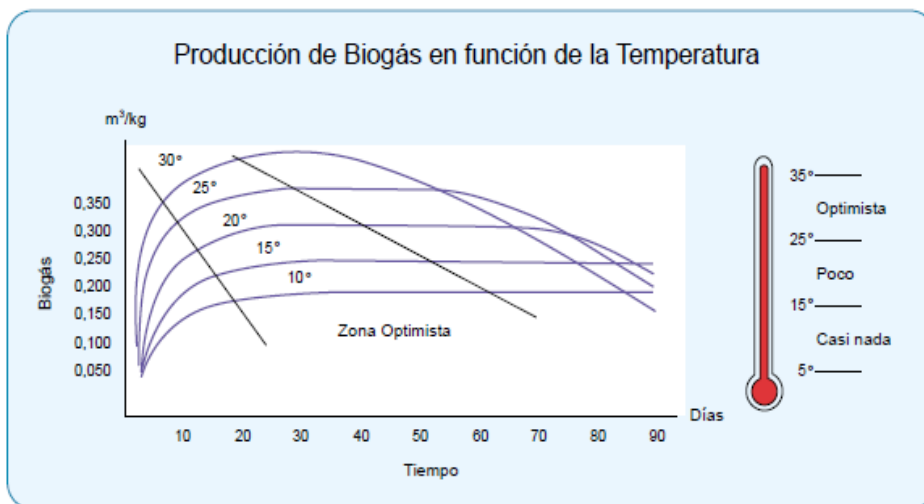
Fuente: Lagrange, 1979, Biodigestores Familiares



**Figura 6 – 1:** Tasa de crecimiento relativo de microorganismos

**Fuente:** Speece, 1996. (Manual, de Biogás).

Como regla general, la actividad biológica se duplica cada incremento en 10°C dentro del rango de temperatura óptima (Figura 6-1). Para un óptimo funcionamiento del digestor, se recomienda que el tratamiento anaeróbico se diseñe para que opere con variaciones de temperatura que no excedan los 0.6 – 1.2 °C /día.



**Figura 7 – 1:** Producción de biogás en función de la temperatura

**Fuente:** Varnero, 1991 (Manual de Biogás).

#### 1.3.4.5 *Tiempo de retención (TR) y velocidad de carga orgánica*

Con este término se designa al volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor. Este valor tiene una relación de tipo inversa con el tiempo de retención, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención. El tiempo de retención, junto con la velocidad de carga orgánica determinada por el tipo de sustrato, son los principales parámetros de diseño, definiendo el volumen del digestor.

La materia orgánica o sólidos volátiles (SV) se refiere a la parte de la materia seca (MS) o sólidos totales (ST), que se volatilizan durante la incineración a temperaturas superiores a 550°C. Los residuales de animales pueden tener un contenido de MS mayor del 10 % de la mezcla agua estiércol. Según los requerimientos operacionales para un reactor anaerobio, el contenido de MS no debe exceder el 10 % de la mezcla agua estiércol en la mayoría de los casos. Por eso, los residuales de granjas se deben diluir antes de ser tratados.

Las bacterias requieren de un cierto tiempo para degradar la materia orgánica. La velocidad de degradación depende en gran parte de la temperatura; mientras mayor sea la temperatura, menor es el tiempo de retención o fermentación para obtener una buena producción de biogás. (Varnero, 2011, p. 41)

Si se toma como ejemplo típico el uso de estiércol de ganado, los TRH varían con la temperatura media de cada región, con la variación diaria estacional (Tabla 10 - 1).

**Tabla 10 – 1:** Tiempo de retención hidráulico de estiércol de ganado en distintas regiones

Tiempo de retención hidráulico	Características
30 – 40 días	Clima tropical con regiones planas. Ej. Indonesia, Venezuela, América Central.
40 – 60 días	Regiones cálidas con inviernos fríos cortos. Ej. India, Filipinas, Etiopía.
60 – 90 días	Clima temperado con inviernos fríos. Ej. China, Corea, Turquía.

Fuente: Varnero, 1991, Manual de biogás.

La velocidad de carga orgánica (VCO) es la cantidad de materia orgánica introducida diariamente en el reactor por unidad de volumen, siendo directamente dependiente de la concentración de sustrato y del tiempo de retención fijado.

En ausencia de inhibidores, altas cargas orgánicas proporcionan altas producciones volumétricas de biogás aunque también aumenta el riesgo de sobrecargas puntuales que conllevan a la acidificación del reactor. El tiempo de retención del sustrato depende de la temperatura y del tipo de región. (Varnero, 2011, p. 42)

**Tabla 11 – 1:** Tiempo de retención según la temperatura.

Región característica	Temperatura (°C)	Tiempo de retención (días)
Trópico	30	25
Valle	20	37
Altiplano	10	75

Fuente: Martí J., 2008, Biodigestores Familiares.

A mayor tiempo de retención implica mayor volumen del biodigestor y por lo tanto un mayor coste de materiales.

#### 1.3.4.6 *Agitación.*

Es esencial mantener un grado de agitación adecuado dentro del biodigestor para tener un mezclado y homogenización del sustrato, distribución uniforme de calor, favorece la transferencia de gases y evita la formación de espumas o la sedimentación. La agitación puede ser mecánica o manual, por ningún motivo debe ser brusca ya que puede destruir las agrupaciones de bacterias. (Altercexa, 2010, p. 19)

#### 1.3.4.7 *Valor de pH.*

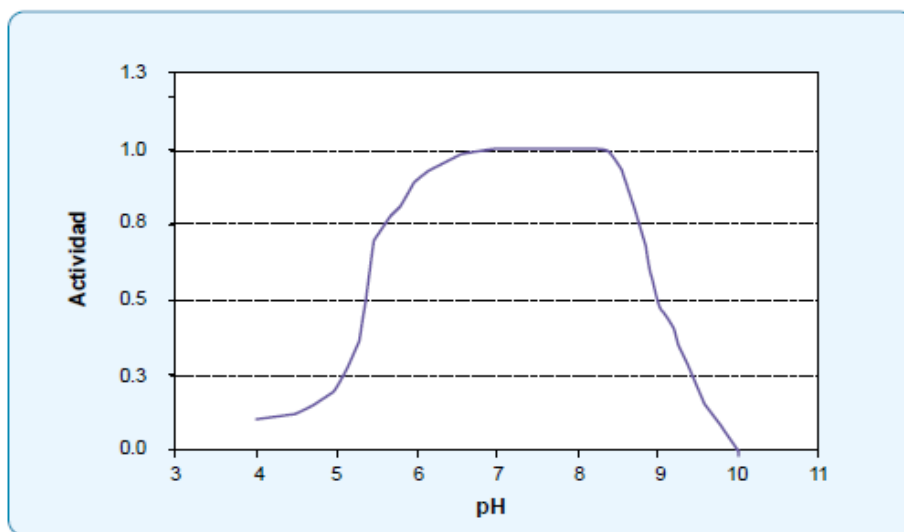
El proceso anaeróbico es afectado adversamente con pequeños cambios en los niveles de pH (que se encuentran fuera del rango óptimo). Los microorganismos metanogénicos son más susceptibles a las variaciones de pH que los otros microorganismos de la comunidad microbiana anaeróbica. Los diferentes grupos bacterianos presentes en el proceso de digestión anaeróbica presentan unos niveles de actividad óptimos en torno a la neutralidad. El óptimo es entre 5.5 y 6.5 para acidogénicos y entre 7.8 y 8.2 para metanogénicos. (Varnero, 2011, p. 43)

Las bacterias responsables del mecanismo de producción de biogás son altamente sensibles a cambios en el pH, oscilando entre 6 y 8 es deseable un valor entre 7 y 7.2 (GTZ-CVC-OEKOTOP 1987).

Una de las consecuencias de que se produzca un descenso del pH a valores inferiores a 6 es que el biogás generado es muy pobre en metano y, por tanto, tiene menores cualidades energéticas. Debido a que la metanogénesis se considera la etapa limitante del proceso, es necesario

mantener el pH del sistema cercano a la neutralidad. Los acidogénicos son significativamente menos sensibles a valores más extremos de pH.

Los equilibrios ácido-base del amoníaco y del ácido acético: Al aumentar el pH se favorece la formación de amoníaco que, en elevadas concentraciones, es inhibidor del crecimiento microbiano y a valores de pH bajos se genera mayoritariamente la forma no ionizada del ácido acético, que inhibe el mecanismo de degradación del propionato. La actividad metanogénica (tasa de utilización de acetato) versus pH se muestra en la Figura 7-1. La drástica caída de la actividad metanogénica sobre el pH 8.0 se puede deber a cambios de  $\text{NH}_4^+$  a formas más tóxicas no iónicas de  $\text{NH}_3$ . (Varnero, 2011, p. 42)



**Figura 8 – 1:** Dependencia del pH de la actividad metanogénica

Fuente: Speece, 1996, Manual, de Biogás.

#### 1.3.4.8 Nutrientes (niveles de sales)

Al igual que en todas las operaciones bioquímicas, se requieren macronutrientes (nitrógeno y fósforo) y micronutrientes (minerales traza) en el proceso anaeróbico para la síntesis de nueva biomasa. Sin embargo, una de las ventajas de los procesos de digestión anaeróbica, frente a los procesos aeróbicos, es su baja necesidad de nutrientes derivada de los bajos índices de producción de biomasa que presentan los microorganismos anaeróbicos.

La cantidad de nitrógeno y fósforo requerido para la síntesis de biomasa puede calcularse asumiendo la fórmula empírica de una célula bacteriana anaeróbica como  $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$ . La masa celular consiste de aproximadamente 12% de nitrógeno, lo cual significa que unos 12 gr de nitrógeno se requieren por cada 100 gr de biomasa anaeróbica producida. (Varnero, 2011, p. 46)

#### 1.3.4.9 Inhibidores de la fermentación.

El proceso de digestión anaeróbica es inhibido por la presencia de sustancias tóxicas en el sistema. Estas sustancias pueden formar parte de las materias primas que entran al digestor o pueden ser subproductos de la actividad metabólica de los microorganismos anaeróbicos.

Sustancias tales como amoníaco, metales pesados, compuestos halogenados, cianuro y fenoles, forman parte del primer grupo, en tanto que, sulfuro, amoníaco y ácidos grasos de cadena larga, forman parte del último grupo mencionado. Es interesante destacar que muchas de las bacterias anaeróbicas son capaces de degradar compuestos orgánicos refractarios.

En algunos casos, la magnitud del efecto tóxico de una sustancia puede ser reducida significativamente mediante la aclimatación de la población de microorganismos al tóxico. Por otra parte, muchas de estas sustancias a bajas concentraciones pueden ser estimuladoras del proceso. (Varnero, 2011, p. 46)

**Tabla 12 – 1:** Concentración de inhibidores más comunes.

Inhibidores	Concentración Inhibidora
SO <sub>4</sub>	5000 ppm
NaCl	40000 ppm
Nitrato(según contenido de nitrógeno)	0,5 mg/l
Cu	100 mg/l
Cr	200 mg/l
Ni	200 – 500 mg/l
CN	25 mg/l
Detergente sintético	20 – 40 mg/l
Na	3500 – 5500 mg/l
K	2500 – 4500 mg/l
Ca	2500 – 4500 mg/l

Fuente: FAO, 1986

## 1.4 Estiércol.

Materia orgánica en descomposición, principalmente excrementos animales, que se destina para fertilizar suelos de cultivo, compuesto generalmente por heces y orina de ganado doméstico, con o sin material vegetal como paja, heno o material de cama de los animales.



**Fotografía 1-1:** Estiércol vacuno de la Finca Isabel en Taracoa.

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

### 1.4.1 Composición del estiércol.

**Tabla 13 – 1:** Composición media de estiércol frescos de diferentes animales domésticos (% materia seca).

Nutrientes	Vacunos	Porcinos	Caprinos	Conejos	Gallinas
Materia orgánica (%)	48,9	45,3	52,8	63,9	54,1
Nitrógeno total (%)	1,27	1,36	1,55	1,94	2,38
Fósforo asimilable (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %)	0,81	1,98	2,92	1,82	3,86
Potasio (K <sub>2</sub> O %)	0,84	0,66	0,74	0,95	1,39
Calcio (CaO %)	2,03	2,72	3,2	2,36	3,63
Magnesio (MgO %)	0,51	0,65	0,57	0,45	0,77

Fuente: Aso., Bustos, 1991

## 1.5 Rumen

Rumen se encuentra dentro del estómago del ganado es un gran saco anóxico, los rumiantes son mamíferos que se alimentan de material vegetal fibroso que contienen celulosa, almidón,

pectina y hemicelulosa, estos animales no poseen enzimas que puedan digerirlos y son los microorganismos presentes en el rumen, tales como bacterias, protozoarios y hongos, los que al fermentar el alimento permiten al rumiante la obtención del alimento. Los rumiantes se encuentra constituido por cuatro compartimientos, rumen, retículo, omasum y abomasum; sólo el último produce enzimas digestivos capaces de degradar alimentos (Aurojo y Vergara, 2007; citados Phillipson, 1981).

En el interior del rumen poblaciones de bacterias y de arqueas convierten estos complejos materiales vegetales en ácidos grasos de bajo peso molecular, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>). El dióxido de carbono y el metano se eliminan como productos residuales. (Aurojo y Vergara, 2007; citados Phillipson, 1981).



**Fotografía 2-1:** Rumen obtenido del Camal Municipal de Fco. Orellana

**Realizado por:** SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.

## **1.6 Biol**

Es un fertilizante líquido que se utiliza principalmente en los cultivos, es muy útil para ser aplicado en los cultivos de riego, contiene nutrientes que son asimilados fácilmente por las plantas haciéndolas más vigorosas y resistentes. El biol se obtiene del biodigestor y es lo que se utiliza como abono foliar es una fuente orgánica de fitoreguladores que permite promover actividades fisiológicas y estimular el desarrollo de las plantas. (Jiménez, 2011, p. 5)

El efluente tratado que sale de las plantas es un gran fertilizante orgánico, puesto que la mayoría de sus nutrientes principales como nitrógeno, fósforo y potasio se conservan, y es conocido como bioabono (Gómez & Viniegra 1979; Guevara 1996; Ramón et al. 2006); su composición por lo general incluye un 8.5% de materia orgánica, 2.6% de fósforo, y 1% de potasio, con un pH de 7.5 (Soria et al. 2001). El uso adecuado de los nutrientes reciclados proporciona mejoramiento en la calidad del suelo y en las siembras representando un beneficio para el agricultor (McGarry &



Stainforth 1978; Guevara 1996); se ha comprobado que un metro cúbico de bioabono producido y aplicado diariamente, puede fertilizar más de dos hectáreas de suelo (Soria et al. 2001). El bioabono o efluente líquido puede ser aplicado en forma normal mediante la utilización de recipientes, por gravedad o por bombeo (Vargas 1992; Guevara 1996).



**Figura 9 – 1:** Biol obtenido de la descomposición anaeróbica

**Fuente:** Alfredoen J., 2015, Cunicultura desde el Perú.

## **1.7 Biosol**

Es un fertilizante sólido (sólidos en suspensión) es parecido al compost. El Biosol permite que los cultivos sean fortalecidos y ocurra un mejor rendimiento, mejorando la estructura del suelo y la capacidad de retención de la humedad del mismo favoreciendo la actividad biológica, el biosol inhibe el crecimiento de hongos y bacterias que afecten a las plantas. (Vargas, 2014, p. 11)

## **1.8 Parte Legal.**

**De acuerdo a la Constitución de la República del Ecuador (R.O. No. 449 del 20 de Octubre de 2008) se define:**

**- Título I. Elementos Constitutivos del Estado. Capítulo primero: Principios fundamentales**

Art.3. Deberes primordiales del Estado, numeral 7.-“Proteger el patrimonio natural y cultural del país”.

**- Título II. de los Derechos. Capítulo segundo: Derechos del Buen Vivir. Sección II Ambiente Sano.**

**Art. 14.-** Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

### **Capítulo séptimo Derechos de la naturaleza**

**Art. 71.-** La naturaleza o *Pacha Mama*, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

**Art. 73.-** El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales. Se prohíbe la introducción de organismos y material orgánico e inorgánico que puedan alterar de manera definitiva el patrimonio genético nacional.

### **- Título VII: Régimen del Buen Vivir Capítulo segundo Biodiversidad y recursos naturales. Sección quinta: Suelo**

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

### **Sección séptima: Biosfera, ecología urbana y energías alternativas**

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

**De acuerdo al Texto Unificado De La Legislación Ambiental Secundaria. (R.O. No. 725 del 16 de diciembre de 2002, ratificación Suplemento R.O. del 31 de marzo de 2003), se define:**

La presente norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la

Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional. Normas de descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor: Agua dulce y agua marina.

Los puertos deberán contar con un sistema de recolección y manejo para los residuos sólidos y líquidos provenientes de embarcaciones, buques, naves y otros medios de transporte, aprobados por la Dirección General de la Marina Mercante y la Entidad Ambiental de Control. Dichos sistemas deberán ajustarse a lo establecido en la presente Norma, sin embargo los municipios podrán establecer regulaciones más restrictivas de existir las justificaciones técnicas. Se prohíbe todo tipo de descarga en:

- a) Las cabeceras de las fuentes de agua.
- b) Aguas arriba de la captación para agua potable de empresas o juntas administradoras, en la extensión que determinará el CNRH, Consejo Provincial o Municipio Local y,
- c) Todos aquellos cuerpos de agua que el Municipio Local, Ministerio del Ambiente, CNRH o Consejo Provincial declaren total o parcialmente protegidos.

Toda descarga a un cuerpo de agua dulce, deberá cumplir con los valores establecidos en el TULAS Libro VI – Anexo I: Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1 Área de estudio

##### 2.1.1 Ubicación geográfica

El trabajo de titulación se realizó en la finca “Isabel” de la comunidad la Florida, ubicada a 40 Km vía al Yuca desde la ciudad Puerto Francisco de Orellana (El Coca).

##### 2.1.1.1 Macrolocalización

**Tabla 14 - 2:** Ubicación Político Administrativo del proyecto.

Localización Geográfica	
<b>País</b>	Ecuador
<b>Región</b>	Amazonía
<b>Provincia</b>	Orellana
<b>Cantón</b>	Francisco de Orellana
<b>Parroquia</b>	Taracoa

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS Janeth, 2015.



**Figura 10 – 2:** Localización de la Provincia de Orellana.

Fuente: Google Maps, 2015.

Límites:

- Norte: Provincia de Sucumbíos
- Sur: Provincia de Pastaza,
- Este: Límite Internacional con el Perú -
- Oeste: Provincia de Napo

2.1.1.2 Microlocalización.

La Finca Isabel consta de 36,45 hectáreas, Pre-Cooperativa UNIÓN Y PATRA, dentro de los siguientes linderos y dimensiones:

- Norte: Con el lote No. 23 en 1350 metros.
- Sur: Con el lote No. 25 en 1350 metros.
- Este: Con la comuna Paratuyacu en 270 metros.
- Oeste: Con el lote del señor Sandro Quevedo en 270 metros.

**Tabla 15 - 2:** Coordenadas del lugar de estudio

Longitud (18 S)	Latitud (UTM)
302739	9940664
302740	9940665

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS Janeth, 2015.



**Figura 11 – 2:** Mapa de ubicación de la finca “Isabel”.

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS Janeth, 2015.

## 2.2 Metodología

Para el diseño y construcción del biodigestor se ejecutó los siguientes pasos:

- Levantamiento de la Línea Base.
- Muestreo y caracterización de estiércol de ganado vacuno.
- Cuantificación de la carga diaria de estiércol
- Localización del lugar (GPS).
- Selección del modelo del biodigestor
- Dimensionamiento del biodigestor
- Elaboración de planos en AutoCAD.
- Evaluación de Impacto Ambiental.
- Construcción e instalación del biodigestor.
- Carga de la mezcla homogénea al biodigestor.
- Funcionamiento del biodigestor.

### 2.2.1 *Levantamiento de la línea base ambiental.*

El levantamiento de la línea base ambiental se realizó para la obtención de información del lugar donde se ejecutó el proyecto:

#### 2.2.1.1 *Características del Entorno Físico*

Mediante una observación in situ se determinó los siguientes aspectos:

- a) Suelo para la agricultura.-** Seleccionamos tres puntos al azar y observamos la coloración del suelo como también se midió el grosor del horizonte orgánico. (ver anexo C).

#### **Materiales:**

- Regla.
- Cuaderno de apuntes.
- Esfero.

- b) Temperatura del lugar.-** En la finca Isabel se realizó un muestreo de temperatura en el lugar durante 10 días consecutivos desde el 12 al 21 de octubre (ver anexo D).

**Equipos:**

- Higrotermómetro

c) **Red Hidrográfica y Vial.-** Mediante un recorrido de 200 metros a la redonda del área destinada para la construcción del biodigestor se verificó la presencia de fuentes hídricas y desde la ciudad del Coca nos transportamos al área de ejecución del proyecto para describir las condiciones de acceso.

### 2.2.1.2 *Características del entorno biótico*

- Se emplea el método de observación in situ, que consistió en realizar un recorrido por el área de influencia directa previamente establecido de aproximadamente 50 m<sup>2</sup> de área destinada para construcción del biodigestor, la misma que se encontraba intervenida en su totalidad: donde se verificó las diferentes especies de flora y fauna existentes en la zona (ver anexo A y B).
- Se determinó el tipo de alimento que consume el ganado bovino, (pasto marandú y dalis).

Se estudió la línea base, para la valoración e identificación de impactos ambientales los mismos que se evaluaron mediante la matriz de Leopold modificada.

### 2.2.2 *Muestreo y caracterización de estiércol de ganado vacuno.*

#### 2.2.2.1 *Metodología para el muestreo de estiércol*

Se realizó la toma de muestras mediante un muestreo aleatorio simple, el cual consistió en recolectar distintas muestras al azar, depositándolas en un balde y después homogenizar para obtener muestras compuestas, seguidamente se procedió a pesar dos muestras de un Kilogramo en diferentes fundas ziploc respectivamente.

Las muestras fueron tomadas en la finca “Isabel”, el 26 de octubre a las 10:30 de la mañana, ingresadas al Laboratorio Labsu para sus respectivos análisis físicos-químicos y bacteriológicos (ver anexo F).

#### a) **Materiales para el muestreo.**

- Botas de caucho.
- 2 Palas para la recolección de muestras.
- 2 Fundas de plástico ziploc.

- Guantes de latex.
- Balanza de 20 Kg.
- Balde de plástico de 18,93 Litros.

**b) Equipo.**

- Cámara fotográfica.

**2.2.3 Metodología para la caracterización del estiércol**

**2.2.3.1 Determinación de parámetros in-situ**

- a) Determinación de la temperatura.-** Determinar la temperatura de la materia prima al momento de la toma de muestra del estiércol, es de gran importancia ya que nos permite conocer si entró en un proceso de descomposición, en vista de que los microorganismos descomponedores y productores de gases tienen relación de crecimiento directamente proporcional a la temperatura. A mayor temperatura mayor será el crecimiento de las bacterias (ver tabla 9 – 1).

**Materiales:**

- Libreta de apuntes
- Esfero

**Equipo:**

- Cámara fotográfica
- Termómetro.

**Procedimiento.**

La medición de la temperatura in situ de las excretas de bovino, se realizó con termómetros de mercurio de estructura redonda.

Donde se procedió a coger el termómetro por la punta opuesta al bulbo y lo agitamos varias veces para asegurarnos que cualquier resto de mercurio vuelva a su posición original. Se procedió a introducir directamente el termómetro por el bulbo en la mezcla homogénea de estiércol por un lapso de dos minutos.



### 2.2.3.2 Determinación exsitu

Los análisis físicos, químicos y microbiológicos del estiércol bovino se realizó en el laboratorio de suelos, aguas y plantas (LABSU) en la ciudad del Coca Provincia de Orellana (ver anexo G).

Los parámetros que se analizaron se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 16 - 2:** Parámetros analizados pre-tratamiento.

Parámetros	Unidad	Método/Norma/Referencia	Incertidumbre (K = 2)
Potencial de hidrógeno	-	EPA 9045 C	± 0,05
Sólidos totales	%	SM 2540 B	± 10%
Sólidos totales volátiles	%	Gravimetría	
Materia orgánica	%	Gravimétrico	-
Carbono orgánico total	%	EPA 9060	-
Nitrógeno total	%	KJELDAHL,EPA351.2	-
Cationes intercambiables(P,K)	mg/Kg	Booker Tropical Soil Manual	-
Micro elementos ( Cu, Fe, Mn, Zn)	mg/Kg	Booker Tropical Soil Manual	-
Humedad	%	Gravimetrico	-
Coliformes fecales	Col/g	SM 9222B	± 12%
Coliformes totales	Col/g	SM 9222D	± 5%
Recuento de microorganismos	Col/g	Methods in applied soil	-

**Realizado por:** SALAZAR, José; ARIAS Janeth, 2015.

## **2.2.4 Cuantificación de la carga diaria de materia prima.**

### **2.2.4.1 Cuantificación de la carga diaria de estiércol.**

#### **a) Metodología.**

Para determinar la carga diaria de estiércol generada en la finca "Isabel", se seleccionó un potrero de una hectárea, al cual el día 26 de octubre se trasladó 10 vacas con un promedio de 4 años de edad, siendo alimentadas a base de pasto saboya (*Panicum maximum* Jacq), marandú o brizantha (*Brachiaria brizantha*). Realizando el muestreo durante un período de cinco días consecutivos desde el (27 al 31 de octubre) en horas de la mañana (7:30 a 10:00) de la siguiente manera:

- Se registró el peso de estiércol, se lo trasladó a un lugar determinado, después se lo cubrió en capas con pequeñas porciones de tierra para su degradación y que sea aprovechado como abono, de esta forma reducir la contaminación ambiental. Se repite el proceso hasta terminar la recolección de excretas.
- De la cantidad de estiércol registrada durante los 5 días de recolección se calculó el promedio diario por vacuno.

Este proceso se lo realizó para estimar la cantidad promedio de materia prima que generan las 20 vacas por día en la finca "Isabel", debido a que los vacunos están libres las 24 horas en diferentes potreros. Los valores se muestran en la Tabla 1 - 3 y 2 - 3.

#### **Materiales.**

- 2 balde de 18,93 litros.
- 2 palas para la recolección de estiércol.
- Botas de caucho.
- Guantes de látex.
- Ropa adecuada.
- Balanza de 20 Kg.

#### **Equipo.**

- Cámara fotográfica

#### 2.2.4.2 *Cuantificación de la carga diaria de residuos producidos en la cocina.*

Se procedió a recolectar los residuos procedentes de la cocina de fácil descomposición (restos de frutas, alimentos cocidos, verduras y cáscaras de huevos, de cebolla y banana).

El muestreo se lo realizó durante 5 días consecutivos desde el (26 al 31 de octubre) en horas de la tarde, tomando en cuenta que el día 26 se realizó una recolección total de residuos con la finalidad de no tener valores erróneos en el muestreo (ver tabla 3– 3).

#### **Materiales.**

- 2 balde de 18,93 litros.
- 2 palas para la recolección de estiércol.
- Botas de caucho.
- Guantes de látex.
- Ropa adecuada.
- Balanza de 20 Kg.

#### **Equipo.**

- Cámara fotográfica

#### 2.2.5 *Localización del área de estudio.*

Con un GPS GARMIN ETREX 20, se tomó los puntos geográficos en el área de la finca donde se desarrolló el proyecto de titulación, estos datos se los procesó seguidamente en el software (ArcGis), obteniendo los planos de localización de la finca Isabel.

Para la obtención de la planimetría del lugar de donde se asentará el proyecto se tomó puntos GPS directamente en la zona.

Para la toma de referenciación de los puntos GPS se toma en cuenta los siguientes datos:

- Encendido del GPS.
- Ubicación en el área de estudio que este despejada
- Alineación del GPS a 4 mínimos satélites.
- Se procede a tomar los puntos.
- La precisión del GPS que esté entre 3 a 5 metros de tolerancia.

- Se registra los datos que arroje el GPS.
- Se descargan los datos del GPS y se traslada ARCGIS para realizar la planimetría.

**Equipos:**

- Procesador de datos (computadora).
- GPS.
- Cámara fotográfica.

**2.2.6 Selección del modelo del biodigestor.**

Para seleccionar el tipo de biodigestor que se adapte a las condiciones de la finca Isabel se elaboró una matriz de selección para cada tipo de biodigestor familiar más común, la cual calificaremos en base al tipo de materia, vida útil, requerimiento de área, costos, operación y mantenimiento. Los biodigestores familiares más comunes son:

- Digestor de domo flotante o “HINDÚ”
- Digestor de domo fijo o “CHINO”
- Estructura flexible “POLIETILENO”

**2.2.6.1 Definición de los aspectos considerados en la matriz de preselección.**

**Tipo de materia Prima:**

Es el tipo de residuo orgánico que posee la finca, con el que trabajan los biodigestores.

**a) Vida útil:**

Se refiere al tiempo que durarán en funcionamiento los biodigestores.

**b) Requerimientos de área:**

Se describe al área que se dispone para la construcción del biodigestor.

**c) Costos:**

Éste factor es muy importante en el diseño y construcción de un biodigestor, ya que aquí se consideran los costos de construcción, operación y mantenimiento.

**d) Construcción:**

Hace referencia a la disponibilidad de materiales y al grado de complejidad para construcción del biodigestor.

**e) Operación y mantenimiento:**

Se basa en el funcionamiento y mantenimiento de los biodigestores para la producción del biogás.

**f) Rendimiento:**

Eficiencia de productividad de los biodigestores una vez instalados.

2.2.6.2 *Preselección del biodigestor a construir.*

**Tabla 17 – 2:** Ponderación de los factores a evaluar

<b>Factor</b>	<b>Comentarios</b>	<b>Ponderación</b>
a. Tipo de materia prima	La materia prima disponible en la finca es el estiércol del vacuno y los digestores que operen con este tipo de estiércol serán los de mejor opción.	5
b. Vida útil	Se espera que el digestor tenga una vida útil de (20 años) para evitar ser renovado a medio plazo y evadir gastos económicos.	15
c. Requerimiento de área	Se cuenta con un amplio espacio para la construcción del biodigestor	5
d. Costos	Se considera una tecnología eficaz y eficiente para la obtención del biogás, para ahorrar en recursos de operación y mantenimiento.	20

Continuará

Continúa

e. Construcción	La construcción del biodigestor no debe ser compleja	15
f. Operación y Mantenimiento	Para que la operación sea flexible, una persona con poca capacitación puede operar y dar mantenimiento de forma simple.	15
g. Rendimiento	Una vez ya diseñado el digestor debe producir la mayor cantidad de biogás	25

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

### 2.2.6.3 Matrices para la selección del modelo de biodigestor.

**Tabla 18 – 2:** Matriz de Preselección del digestor de campana flotante “Hindú”.

EVALUACIÓN PARA EL BIODIGESTOR "HINDÚ"					
#	A	B	C	D	E
	%	ASPECTO EVALUADO	CALIFICACIÓN	C/5	A*D
1	5	Tipo de materia prima	5	1	5
2	15	Vida útil	3	0,6	9
3	5	Requerimientos de área	5	1	5
4	20	Costos	1	0,2	4
5	15	Construcción	3	0,6	9
6	15	Operación y mantenimiento	3	0,6	9
7	25	Rendimiento	5	1	25
<b>TOTAL</b>	100				<b>66</b>
<b>Sistema de calificación: 0= No aplica, 1= Suficiente, 3= Adecuado, 5= Muy Bueno</b>					

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

El biodigestor tipo Hindú alcanzó una calificación del 66%, lo cual tiene poca aceptación en la Finca Isabel, por los costos y al poseer una campana flotante de hierro con el tiempo tendría a corroerse por las diversas condiciones climáticas de la zona.

**Tabla 19 – 2:** Matriz de Preselección de Digestor de “Bolsa Flexible”.

<b>EVALUACIÓN PARA EL BIODIGESTOR "BOLSA FLEXIBLE"</b>					
#	A	B	C	D	E
	%	ASPECTO EVALUADO	CALIFICACIÓN	C/5	A*D
1	5	Tipo de materia prima	5	1	5
2	15	Vida útil	1	0,2	3
3	5	Requerimientos de área	5	1	5
4	20	Costos	5	1	20
5	15	Construcción	5	1	15
6	15	Operación y mantenimiento	3	0,6	9
7	25	Rendimiento	3	0,6	15
<b>TOTAL</b>	100				72
<b>Sistema de calificación: 0= No aplica, 1= Suficiente, 3= Adecuado, 5= Muy Bueno</b>					

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

Luego de realizar la valoración del biodigestor de “Bolsa flexible”, este presenta una calificación del 72%, con lo que podría ser considerado para su diseño y construcción en la finca “Isabel”, pero en este tipo de biodigestor sus principales elementos de fabricación son de plástico y su tiempo de vida útil es bajo.

**Tabla 20 – 2:** Matriz de Preselección del digestor de domo fijo “Chino”.

<b>EVALUACIÓN PARA EL BIODIGESTOR "CHINO"</b>					
#	A	B	C	D	E
	%	ASPECTO EVALUADO	CALIFICACIÓN	C/5	A*D
1	5	Tipo de materia prima	5	1	5
2	15	Vida útil	5	1	15
3	5	Requerimientos de área	5	1	5

Continuará

Continúa

4	20	Costos	3	0,6	12
5	15	Construcción	3	0,6	9
6	15	Operación y mantenimiento	5	1	15
7	25	Rendimiento	3	0,6	15
<b>TOTAL</b>	100				<b>76</b>
<b>Sistema de calificación: 0= No aplica, 1= Suficiente, 3= Adecuado, 5= Muy Bueno</b>					

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

Este biodigestor tipo “Chino” posee una calificación del 76%, lo que permite seleccionarlo para el diseño y construcción en la finca Isabel, debido a que posee un alto índice de vida útil y eficiencia en la producción de biogás y eficiencia en la producción de biogás, además los costos de construcción, operación y mantenimiento son económicos.

### **2.2.7 Dimensionamiento del biodigestor**

Para esta determinación se consideró la cantidad de ganado vacuno y la cantidad de estiércol que generan al día en los potreros de la finca Isabel.

#### **Materiales:**

- Computadora con programa de diseño (AutoCAD).

#### **Procedimiento**

Para diseñar el biodigestor se realizó, en base a la cantidad en kg de materia prima disponible diariamente en la finca Isabel y el volumen de biogás que producirá el estiércol vacuno frente a la cantidad de sólidos totales y la cantidad producida por cada kilogramo de residuos orgánicos de cocina. Luego se diseñó el biodigestor en el programa de AutoCAD.

El dimensionamiento y diseño del biodigestor chino comprende lo siguiente cálculos:

- Materia prima disponible (kg /día).
- Cantidad de estiércol Fresco disponible (kg EF/día).



- Cantidad de residuos orgánicos de cocina (kg /día).
- Determinación de biogás en m<sup>3</sup>/día, en base a la materia prima disponible.
- Energía requerida en la finca “Isabel” en m<sup>3</sup> de biogás.
- Carga diaria al biodigestor (materia prima disponible+ agua).

**a) Dimensionamiento de la cámara de digestión.**

- Volumen del tanque del biodigestor
- Sobredimensionamiento para almacenamiento de biogás.
- Cantidad de rumen de ganado vacuno
- Volumen total del tanque del biodigestor
- Diámetro interno del biodigestor ( $\varnothing_{int}$ )
- Diámetro externo del biodigestor ( $\varnothing_{ext}$ )
- Radio interno del biodigestor
- Altura, del tanque del biodigestor

**b) Cálculo de la curvatura de la cúpula superior**

- Altura de la cúpula superior
- Radio de la curvatura superior.
- Volumen de la cúpula superior ( $V_{cs}$ )

**c) Cálculo de la curvatura de la cúpula inferior**

- Altura de la cúpula inferior
- Radio de la curvatura inferior ( $r_2$ ).
- Volumen de la cúpula inferior

**d) Altura final del biodigestor.**

**e) Volumen final del biodigestor.**

**f) Volumen del biodigestor para la parte líquida (materia prima + agua).**

- Altura de nivel de llenado desde la base del tanque del biodigestor ( $H_{nLl}$ )
- Volumen de inoculante

**g) Cálculo de la caja de entrada.**

- Dimensionamiento de la caja de entrada

**h) Cálculo de la caja de salida.**

- Dimensionamiento de la caja de salida.

**i) Dimensionamiento de la caja de lodos.**

- Volumen de la caja de lodos
- Longitud de la caja de lodos. (Lc lod)

**j) Tubería que conducir la carga diaria y salida al biodigestor**

- Altura del extremo inferior de la tubería de carga al biodigestor.

**k) Capacidad de almacenamiento de biogás.**

**l) Determinación del gasómetro**

**2.2.8 *Elaboración de planos en AutoCAD***

Se diseñó los planos del biodigestor chino en el programa AutoCAD, en formato 2d y 3d (ver anexo S).

**2.2.9 *Evaluación de Impacto Ambiental***

Una vez desarrollado el proyecto procedemos a evaluar los Impactos Ambientales tanto positivos como negativos ocasionados en la ejecución del proyecto.

**2.2.9.1 *Cuantificación de los impactos mediante matriz de Leopold modificado.***

Mediante esta matriz de identificación de impactos se utilizó las listas de chequeo o verificación de la matriz causa - efecto de Leopold, lo que permitió identificar las actividades del proyecto y calificar los impactos negativos o positivos que éstos producen sobre los componentes ambientales agua, aire, suelo, flora y fauna existente dentro de las actividades de construcción y operación del biodigestor.

**Dentro de estas matrices se evaluaron los siguientes parámetros.**

La categorización proporcionada a los impactos ambientales, se lo puede definir de la siguiente manera:

- Impacto compatible: Son generalmente puntuales, de baja intensidad reversibles en el corto plazo. El manejo recomendado es control y prevención.
- Impacto moderado: Son impactos generalmente de intensidad media o alta, reversibles en el mediano plazo y recuperable en el mismo plazo. Las medidas de manejo son de control, prevención y mitigación.
- Impacto crítico: Son generalmente de intensidad alta o muy alta, persistentes, reversibles en el mediano plazo. Las medidas de manejo son de control, prevención, mitigación y hasta compensación.
- Impacto severo: Son generalmente de intensidad muy alta o total, extensión local e irreversibles (>10 años). Para su manejo se requieren medidas de control, prevención, mitigación y hasta compensación.

#### **Actividades que se efectuaron durante la construcción y operación del proyecto:**

En el proyecto ejecutado dentro de la finca, durante su proceso de construcción y operación se realizó las siguientes actividades:

**Tabla 21 – 2:** Actividades que se efectuaron durante la construcción y operación del proyecto

<b>Principales actividades</b>	<b>Descripción</b>
Modificación del régimen	Excavación. Se aprecia desbroce de malezas
Construcción del biodigestor.	Generación de ruido por la construcción del biodigestor Chino. Generación de desechos sólidos debido a los sobrantes de la construcción y excavación para la fundición.
Operación del biodigestor	Generación de desechos líquidos por la mezcla para la cargada del biodigestor. Generación de malos olores por la recolección y preparación del sustrato para el llenado del biodigestor.

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

### **Factores Ambientales evaluados:**

- Calidad del Aire.
- Destrucción de suelos
- Aumento del consumo de agua.
- Capacidad del agua.
- Calidad de agua subterránea.
- Microflora.
- Microfauna.
- Salud y seguridad
- Empleo
- Beneficios económicos.

#### **2.2.10 Construcción e instalación del biodigestor**

Antes de iniciar la construcción del biodigestor se seleccionó y diseño en AutoCAD el tipo de biodigestor que más se acoplaba a las condiciones y características de la finca "Isabel", el cuál fue de tipo "Chino". Y se realizó una planificación previa de los materiales que se iban a utilizar, con el objetivo de reducir el tiempo de trabajo, materiales y ahorrar costos (ver anexo M).

La construcción constó de las siguientes etapas:

##### **a) Selección del área para la construcción del biodigestor.**

Se seleccionó un área específica en la finca "Isabel", con las siguientes características:

- Un sitio cerca al lugar donde se consumirá el biogás producido, ya que este tendrá poca presión para ser conducido a distancias lejanas. Por ello la distancia entre el área seleccionada para la construcción del biodigestor y el sitio donde se utilizará el biogás es de 12 metros.
- El área tiene un suelo firme lo que evitará problemas de desmoronamientos de tierra al momento de realizar las excavaciones, debido a la topografía del terreno no existe cuerpos de agua que impida cavar el hoyo.

- El sitio a seleccionar debe estar despejado. Por lo que se consideró un sitio con escasa vegetación. Además el sitio mencionado se halla elevado respecto al resto de terrenos vecinos con pendientes.



**Fotografía 3 – 2:** Selección del área donde se construyó el biodigestor

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

#### **b) Limpieza y preparación del área destinada para la construcción.**

Se realizó una limpieza con la ayuda de herramientas manuales (machete, pala, saquillos) donde se preparó el terreno para la construcción del biodigestor en un radio de 5 metros a la redonda del punto eje donde se construyó la cámara de digestión, esto permitió directamente la radiación solar al biodigestor, aumentando así la eficiencia en la absorción del calor.



**Fotografía 4 – 2:** Limpieza y preparación del área

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

**c) Adquisición de materiales de construcción.**

La determinación aproximada de materiales necesarios para la construcción, se lo realizó con la ayuda de un albañil que contaba con conocimientos suficientes en construcciones de hormigón armado. Finalizada la construcción se estableció con exactitud los materiales que se utilizó, detallados a continuación:

**Tabla 22 – 2 : Materiales utilizados en la construcción del biodigestor.**

<b>CANT.</b>	<b>DETALLE</b>	<b>UNIDAD</b>
30	Cemento Rocafuerte	Quintal
1	Malla electrosoldada de 10 x 10.	-
30	Malla de cerramiento	M
60	Bloques de 10.	-
3	Material pétreo (arena fina)	m <sup>3</sup>
1	Material pétreo (lastre)	m <sup>3</sup>
1	Hierro 1/8	
25	Tablas de madera.	-
3	Triplex de 0,5 mm.	-
2	Alambre de amarre blanco.	Libra
4	Tubos de llantas	-
1	Clavos de 2 pulgadas.	Libra
2	Clavos de 2 ½ pulgadas.	Libra
1	Clavos de 3 pulgadas	Libra
1	Tubo PVC de 8 pulgadas.	-
1	Tubo PVC de 6 pulgadas.	-
2	Tubos de ½ pulgada	-
1	Tapón de PVC de 6 pulgadas	-
3	Llave de paso de ½ pulgadas.	-
1	Válvula bola	-

Continuará

Continúa

2	Tee de ½ pulgadas.	-
3	Codos de ½ pulgadas.	-
1	Neplo de 30 cm	-
2	Reducción de 2 pulgadas a media	-
1	Unión de 2 pulgadas	-
1	Llave de 2 pulgada	-
10,5	Plástico	M
1	Pega tubo	-
2	Teflón	M
5	Manguera para gas	M
1	Abrazadera	-
1	Botella plástica	-

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

#### d) Demarcación en el Terreno.

En el sitio seleccionado, se marcó el perímetro de una circunferencia construida de hierro de un diámetro de 2,54m que es igual al diámetro externo del biodigestor y con la ayuda de una cuerda se señaló el espacio de construcción de la caja de entrada y salida, además de la distancia de 0,83 y 0,52 que las separa del biodigestor respectivamente ubicándolas en sentido opuesto entre sí.



**Fotografía 5 – 2:** Marcación del lugar donde se realizó la excavación.

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

#### e) Excavación del hoyo, zanjás de entrada de mezcla diaria, salida de biol y sedimentos del biodigestor

Se cavó un hoyo con un diámetro de 2,54 m como se mencionó anteriormente en la demarcación del terreno y manteniendo las paredes a plomada. En las esquinas se cavó una profundidad de 2,44 m y en el centro una profundidad de 2,72 m), quedando la base en forma de cúpula.

La zanja en donde se colocaría la tubería de entrada y salida, se la realizó a una altura de 60 cm y 80 cm desde la base del Biodigestor respectivamente tomando en cuenta que 20 cm será de base fundida.

En base a la topografía del terreno, se realizó un túnel de diámetro de 30 cm, longitud 2,5 m y un desnivel de 0.2 m desde la base de la parte interna del biodigestor hacia afuera donde se construyó la caja de limpieza del biodigestor.



**Fotografía 6 – 2:** Excavación del agujero, zanjas de entrada y salida.

**Realizado por:** SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

#### *2.2.10.1 Construcción de la base del biodigestor.*

Se procedió a esparcir una camada fina de piedra pequeña (granillo) en la base del hoyo y se compactó con el suelo. Una vez preparada la mezcla cemento – arena y ripio en las proporciones 1 - 2 – 1 fuera del biodigestor, con la ayuda de recipientes, ésta se depositó sobre la piedra fina compactada en la base y antes de que se fragüe se fundió 20 cm esparciendo la mezcla con ayuda de un codal, tomando en cuenta que la cúpula inferior debe de tener 28 cm de profundidad.





**Fotografía 7 – 2:** Construcción de la base del biodigestor

**Realizado por:** SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

#### 2.2.10.2 *Construcción de la cámara de digestión del biodigestor.*

Una vez de haber construido la base se inició la construcción del tanque o cámara de biodigestor, procediendo con la colocación de la malla electrosoldada y varillas que permitieron tener una mayor resistencia y seguridad al tanque, luego se ejecutó el encofrado y colocación de tubos de entrada de (residuos orgánicos más agua), salidas de biol y salida de lodos luego se realizó la fundición.

La relación que se utilizó en la mezcla de cemento, arena y ripio para la fundición fue de 1-2-1 respectivamente, debido a que el biodigestor debe ser hermético, así como evitar que las paredes se partan.



**Fotografía 8 – 2:** Construcción de la cámara del biodigestor

**Realizado por:** SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

- Enlucido:

Después de un día de fundición del tanque se desencofró y se realizó un enlucido de las paredes de aproximadamente 15 mm de espesor esto ayudará a la impermeabilización.



**Fotografía 9 – 2:** Enlucido de la cámara del biodigestor

**Realizado por:** SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

### 2.2.10.3 *Construcción de la caja de carga*

La caja de carga se la realizó con bloques de 10 cm, y se enlució interna y externamente para evitar dificultades al momento de realizar la mezcla, el tubo de 8 pulgadas que conduce la materia prima se colocó en el centro de la caja para una mayor facilidad de carga. la caja de entrada cuenta con su tapa

Su construcción se la realizó a una altura de 40 cm más elevado que el nivel hasta donde llegará el llenado con la mezcla (residuos orgánicos más agua), altura que nos facilitó la topografía del terreno.



**Fotografía 10 – 2:** Construcción de la caja de entrada de estiércol

**Realizado por:** SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

#### 2.2.10.4 Construcción de la caja de salida de biol.

La caja de descarga se realizó de la misma manera que la caja de entrada utilizando bloques de 10 cm, y se enlució interna y externamente para evitar fugas de biol. Su construcción se la realizó a una distancia de 52 cm a la cámara de digestión y a una altura de 10 cm menos el nivel del tubo de descarga por lo que el tubo de salida en la parte superior tiene la comodidad suficiente para cubrirlo con un material aislante evitando el ingreso de aire en los primeros días de carga.

El tubo que conduce el biol a la caja se encuentra a una altura del nivel hasta donde llegará la (materia orgánica más agua) en la cámara de digestión, tomando en cuenta el criterio de diferencial de presión, donde dice que el nivel de un líquido en un sistema será el mismo en cualquier parte.



**Fotografía 11 – 2:** Construcción de la caja de salida de biol.

**Realizado por:** SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.

#### 2.2.10.5 Construcción e instalación de la caja de limpieza.

Para la limpieza del biodigestor se instaló una tubería de PVC de 6 pulgadas, en la que se construyó una caja de hormigón armado como acople para instalar un neplo y una llave de paso a la caja de limpieza (ver anexo S).

La caja que sirve de acople entre la tubería de PVC y el neplo con la llave, se la construyó de forma hermética, fundiendo su estructura con hierro y sus medidas son de 0,3m por 0,3m y un espesor de 0,3 m, con la finalidad de que tenga mayor resistencia.

Se construyó la caja de limpieza de lodos con las siguientes medidas, longitud de 1 m, de ancho 0.70 m y de alto 0.6 m.

La caja se encuentra ubicada en la parte inferior de la cámara del biodigestor con un desnivel de 0.2 m con respecto a la base del biodigestor con la finalidad, que el lodo logre salir por medio de la gravedad y no se produzca taponamiento.



**Fotografía 12 – 2:** Construcción de la caja para la limpieza

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.

#### 2.2.10.6 Construcción de la cúpula del biodigestor.

Después de un día de enlucido el tanque, se procedió a la construcción de la cúpula, al igual que en el tanque se utilizó malla electrosoldada, varillas de hierro y el encofrado se lo realizó desde el interior del tanque).

En el centro de la cúpula , se introdujo dos tubos de PVC de ½ pulgada, 15 cm dentro y 40 cm fuera del encofrado, luego se fundió la pared de la cúpula con un grosor de 15 cm, quedando los tubos de 25 cm fuera de la cúpula, uno que sirvió para colocar un manómetro y la válvula de seguridad y el otro para conducir el biogás que se almacena en la cúpula al lugar de consumo, a cada uno de estos tubos se les acoplo una llave de paso que permite regular la salida del biogás.



**Fotografía 13 – 2:** Construcción de la cúpula del biodigestor

**Realizado por:** SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.

#### 2.2.10.7 Construcción de la válvula de escape de gas

La válvula de seguridad evitará que el nivel de presión en el biodigestor llegue a valores tan altos llegando a destruir el biodigestor o el sistema, para lo cual se construyó un mecanismo de escape simple que se fabricó a partir de una botella plástica parcialmente llena de agua. Está colocada sobre la campana permitiendo observar con facilidad el nivel del agua y volverla a llenar en el caso que sea necesario, en cuyo interior se sumergió un pedazo de tubo que proviene del interior de la cúpula fija.

En una de las llaves de paso que permiten regular la salida del biogás, se acopló un neplo de PVC de 1/2”(pulgada), de 25 cm, a éste una “TEE” y en uno de sus extremos se acopló un manómetro el cual ayudó a medir la presión del biodigestor y en el otro extremo se instaló un neplo de 12 cm el mismo que está unido a un codo de 90 °C en el cual se acopló un pedazo de tubo de 30 cm de longitud y de ½ pulgada, el mismo que se sumergió por un agujero de la tapa de la botella plástica hacia la boca de la misma la que servirá para poder recargar el agua. El tubo se sumerge en el agua 8 cm, esto está dentro del rango mencionado por Herrero “La tubería debe quedar sumergida en el agua de 8 a 13cm” (Herrero, 2008, p.69).

Se abrió unos huecos en la botella, a la altura de 8 cm desde la base del tubo introducido en la misma para controlar el nivel de agua en el momento de carga o en época de lluvia para evitar que el nivel del agua suba por encima de lo establecido.



**Fotografía 14 – 2:** Construcción de la válvula de seguridad.

**Realizado por:** SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.

#### 2.2.10.8 *Construcción de la trampa de agua*

Se acopló una TEE y en su parte inferior se instaló un tupo de PVC de media pulgada de 15 cm de longitud y una llave de paso.

La trampa de agua se instaló en la parte más baja de la tubería de conducción de biogás en donde por gravedad se deposita el agua.



**Fotografía 15 – 2:** Construcción de la trampa de agua

**Realizado por:** SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.

#### 2.2.10.9 Construcción del filtro para ácido sulfhídrico

Se tomó 2 uniones de 2 pulgadas y un tubo neplo de 30 cm del mismo diámetro en forma horizontal se instaló a la tubería de 1/2 pulgada con sus correspondientes adaptaciones, dos reductores de 2 pulgadas a 1/2 pulgada para la entrada y salida de gas y en este tubo se colocó en los extremos esponjilla de vidrio y se llenó de viruta de hierro el cual reacciona con el ácido sulfhídrico eliminando su poder corrosivo.



**Fotografía 16-2:** Construcción del filtro para ácido sulfhídrico

**Realizado por:** SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

#### 2.2.10.10 Construcción del gasómetro

Una vez ya construido cada una de las partes del biodigestor se procedió a instalar un gasómetro cerca de la cocina, así que será más fácil su manejo durante las horas de cocción.

EL gasómetro se lo construyó con plástico para lo cual sacamos dos pedazos de manga de plástico de 1.5 m de ancho y de 7 metros de largo y los insertamos uno dentro del otro, una vez sobrepuestas las dos capas se alineó de manera que no quedaron pliegues ni aire entre ellos. Posteriormente se hizo un agujero en el centro y desde el interior de la bolsa de plástico se colocó un adaptador macho con discos de plástico y caucho que atraviesa desde el interior, luego desde afuera se colocó discos de caucho y de plástico enroscando el adaptador hembra fuertemente, seguido se instala un pedazo de tubo de 1/2 pulgada de 40 cm de longitud con lo que queda lista la salida y entrada del biogás.

Sobre la capa doble de plástico en cada extremo, se colocó un tubo sanitario de 60 cm de longitud y de 6 pulgadas y para cerrar los extremos de la manga de plástico, se realizó para cada uno lo siguiente:

Se cortó un tubo de PCV de 6" y 60 cm de largo colocando 45 cm sobre los extremos de la manga de doble capa y por tanto dejando a la vista 15 cm.

Se acomodó el plástico para poderlo amarrar a los tubos, para ello desde un lateral del plástico se hizo pliegues en forma de acordeón y así se recogió el plástico hasta ponerlo contra el tubo. Se procedió de igual manera desde el otro lateral del plástico.

Conviene que los pliegues no generen arrugas entre unos y otros, los mismos que sean largos abriéndose a lo largo del resto de la manga de plástico. Hecho esto se procedió amarrar con ligas hechas con cámaras de rueda de auto de unos 3 cm de ancho, dando vueltas fuertemente con la liga solapando por encima con la anterior, de esta manera se fue ascendiendo por el tubo poco a poco.



**Fotografía 17 – 2:** Construcción del gasómetro

**Realizado por:** SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.



**Fotografía 18 – 2:** Elaboración del gasómetro

**Realizado por:** SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.



#### 2.2.10.11 *Instalación de tubería que conducirá el biogás.*

En uno de los tubos que se encuentra en la cúpula, se acopló un codo de 90° a éste se instaló un tubo de 1 m, una universal seguida por un tubo de 1,5 metros, luego se acopló la trampa de agua, después un tubo de 2,5 m, más una TEE.

En uno de sus extremos de la TEE se colocó un nepló y una llave de paso que permitirán regular la salida del biogás, seguido se acopló al tubo de 40 cm instalado en el gasómetro. Y en el otro extremo se acopló un tubo de 2 metros y se conectó el filtro de ácido sulfhídrico a este se colocó una llave de paso y una manguera de 5 metros que llega a la cocina donde se va a consumir el biogás.

La tubería y accesorios que conducirán el biogás son de ½ pulgada.

#### 2.2.10.12 *Mantenimiento y cuidado del biodigestor.*

- Se hizo un cerramiento a toda el área de construcción del biodigestor.
- Al gasómetro se le construyó un techado con la hoja de toquilla para dar mejor estancia y cuidado.
- Adicionalmente alrededor de la construcción se realizó una zanja para la conducción de aguas lluvias.



**Fotografía 19 – 2:** Mantenimiento y cuidado del biodigestor.

**Realizado por:** SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

### 2.2.11 *Carga de la mezcla homogénea al biodigestor*

Para el proceso de producción de biogás y biol se establecieron las siguientes fases:

- a) **Primera fase:** Limpieza externa e interna del biodigestor.
- b) **Segunda fase:** Recolección y almacenamiento de la materia prima (estiércol).
- c) **Tercera fase:** Recolección de rumen proveniente del camal.
- d) **Cuarta fase:** Carga del biodigestor con estiércol de la finca “Isabel” más rumen proveniente del camal y agua.

#### **a. Primera fase: Limpieza externa e interna del biodigestor.**

La primera fase consistió en retirar escombros tales como palos, restos de cemento, clavos, y basuras en general, generados en la construcción e instalación del biodigestor. Esta actividad se realizó con la finalidad de reciclar materiales y además de que no existan elementos ajenos que tiendan a influir en el proceso de digestión. Antes de construir la cúpula se realizó una limpieza interna del biodigestor



**Fotografía 20 – 2:** Limpieza en el biodigestor

**Realizado por:** SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015..

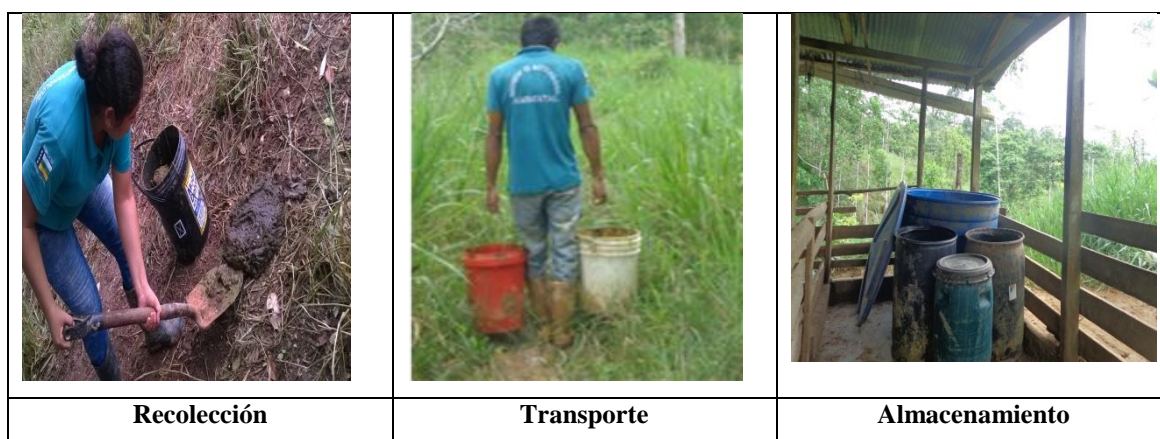
#### **b. Segunda fase: Recolección y almacenamiento de la materia prima (estiércol más residuos orgánicos generados en la cocina).**

Se realizó una primera recolección de estiércol el 19 de Diciembre hasta el 23 del mismo mes del 2015 en horas de la mañana, por los diferentes potreros, lugares donde duerme y pastorea el ganado de la finca, logrando almacenar aproximadamente unos 657 Kg de estiércol y residuos recolectados de la cocina, esto se realizó con la finalidad de cubrir los extremos inferiores de los tubos y que sirva como inoculante.

La recolección del estiércol se la realizó de manera manual con la ayuda de palas y baldes. Tratando de escoger solo estiércol sin tierra u objetos ajenos al estiércol, el mismo que era colocado en baldes, los cuales eran transportados a su centro de acopio para ser almacenados en tanques, que luego serían utilizados para la primera carga del biodigestor.

El almacenamiento del estiércol se realizó debido a que en la finca “Isabel”, los vacunos no se encuentran en establos, lo cual tiende a dificultar en parte la recolección de la materia prima.

La segunda recolección de estiércol y residuos generados en la cocina se realizó el 6 de enero hasta el 29 de enero del 2015, siguiendo el mismo proceso que en la primera recolección de materia prima.



**Fotografía 21 – 2:** Recolección y almacenamiento de la materia prima.

**Realizado por:** SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015..

### **c. Tercera fase: Recolección de rumen proveniente del camal.**

A demás del estiércol de los vacunos de la finca “Isabel”, se recolectó 700 kg de rumen, provenientes del faenamiento de reses en el camal de Pto. Francisco de Orellana, transportado en tanques hacia el lugar donde se desarrolló el proyecto.



**Fotografía 22 - 2:** Recolección y transporte de rumen proveniente del camal.

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.

**d. Cuarta fase: Carga del biodigestor con materia prima de la finca “Isabel” más rumen proveniente del camal y agua.**

**Primera Carga:**

La primera carga del Biodigestor se realizó el 23 de diciembre del 2015 con 700 Kg de rumen y 657 Kg de estiércol incluidos los residuos de cocina, materia prima previamente recolectada de la finca “Isabel”, más los 700Kg de rumen proveniente del camal de Fco. Orellana y 1357 litros de agua, para de esta manera cumplir con la relación establecida (1:1).



**Fotografía 23 – 2:** Carga del biodigestor (Estiércol+ rumen + agua).

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.

**Segunda carga:**

La segunda carga del Biodigestor se realizó el 7 de enero del 2015 y las demás cargas de manera continua hasta el 31 de enero del mismo año, en cada carga se depositó 123 Kg de

estiércol y 2 Kg de residuos de cocina, materia prima previamente recolectada de la finca “Isabel” y 125 litros de agua, cumpliendo con la relación establecida (1:1).

En el proceso de carga se cubrió el extremo superior del tubo de la caja de entrada para realizar una mezcla homogénea entre la materia orgánica y agua, para evitar la formación de grumos en la mezcla.

#### **2.2.12      *Funcionamiento del biodigestor.***

Para verificar el funcionamiento del biodigestor, la producción de biogás y de biol se consideró algunas actividades:

##### **2.2.12.1    *Medición del pH.***

La medición de pH se realizó utilizando un pH-metro, el mismo que tiene el rango de coloraciones de 0 -14.

#### **Procedimiento**

Se sacó una cierta cantidad de la mezcla en un envase de vidrio y después con una pipeta de 5 ml tomamos una muestra del envase de vidrio y la depositamos en el pH-metro hasta aforar, luego procedimos a poner el reactivo de phenol de 4 a 5 gotas, esperamos 30 segundos y comparamos las coloraciones para observar el resultado.

#### **Materiales**

- Pipeta de 5 ml
- pH-metro
- Hoja de registro

#### **Equipo**

- Cámara fotográfica.

##### **2.2.12.2    *Medición de temperatura***

Se midió la temperatura dentro del biodigestor en un periodo de 25 días desde el 7 de enero hasta el 31 de enero del 2015.

### **Procedimiento.**

La medición de la temperatura se realizó dentro del biodigestor, por la tubería de salida del biol con un termómetro de Hg y sus resultados fueron apuntados en una bitácora.

### **Materiales:**

- Bitácora

### **Equipo:**

- Cámara fotográfica
- Termómetro.

#### *2.2.12.3 Medición de biogás.*

Después de 15 días de haber realizado la segunda carga al biodigestor se midió el biogás al día 5, 10, 15, 20 y a los 25 días, con la finalidad de evaluar la producción de biogás en el tiempo.

### **Procedimiento.**

Se utilizó el método de desplazamiento de líquido, que consistió en utilizar un recipiente lleno con agua, que contaba con una manguera por donde ingresaba el biogás desde la tubería de conducción y otra manguera para la expulsión del líquido, para la medición del líquido se utilizó un recipiente graduado el mismo que se llenaba en un tiempo determinado, debido a que el gas ingresaba (ver anexo P).

### **Materiales**

- Recipiente graduado.
- Manguera
- Cronómetro.
- Esfero.
- Bitácora.

### **Equipo**

- Cámara fotográfica.

#### 2.2.12.4 *Quema del biogás.*

La quema de biogás se la realizó para caracterizarlo.

##### **Procedimiento**

- Abrimos la llave de paso de la conducción del biogás, que se encuentra adaptado a una estufa, donde procedemos a encenderla con un fosforo y observamos la coloración de llama y la longitud que esta alcanza.

##### **Materiales**

- Estufa

##### **Equipo**

- Cámara fotográfica.

#### 2.2.12.5 *Extracción de biol para análisis de post-tratamiento.*

La salida de biol se produjo 25 días después de haber realizado la segunda carga de materia orgánica al biodigestor

##### **Procedimiento**

Se extrae desde la caja de salida, una muestra de biol en una botella ámbar, para los análisis de post-tratamiento en el laboratorio Labsu (ver anexo O)

##### **Materiales**

- Botella de ámbar

##### **Equipo**

- Cámara fotográfica.

### CAPÍTULO III

## 3 CÁLCULOS, RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 3.1 Cálculos.

#### 3.1.1 *Determinación de materia prima disponible (kg /día).*

- **Cantidad de estiércol fresco disponible (kg Ef/día).**

Para establecer la cantidad de materia prima disponible se realizó un muestreo por cinco días.

**Tabla: 23 – 3:** Producción de estiércol.

Fecha	Hora de recolección	Kg de estiércol/día	
<b>DÍA 1</b>	07:30-10:00	12,50	87,2
		11,60	
		13,40	
		13,10	
		11,70	
		12,80	
		12,10	
<b>DÍA 2</b>	07:30-10:00	12,90	90,00
		13,30	
		12,40	
		13,20	

Continuará



Continua

		12,60	
		13,10	
		12,50	
<b>DÍA 3</b>	07:30-10:00	11,10	87,30
		13,40	
		12,20	
		11,60	
		13,70	
		12,80	
		12,50	
<b>DÍA 4</b>	07:30-10:00	12,10	86,60
		13,00	
		12,30	
		11,70	
		12,20	
		12,50	
		12,80	
<b>DÍA 5</b>	07:30-10:00	11,20	88,10
		13,40	
		12,30	
		12,60	
		13,00	
		12,50	

Continuará

Continua

		13,10	
<b>PROMEDIO(Kg estiércol en 10 vacunos / día)</b>			87,84
<b>PROMEDIO (Kg estiércol/vacuno. día)</b>			8,784
<b>TOTAL (Kg estiércol/ 5 días)</b>			439,20
Se estima que las 20 vacas en la finca “Isabel” generan al día 175,68 Kg de estiércol fresco			

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

Las excretas producidas por 20 vacas en la finca “Isabel”, fue de 175,68 Kg/día, pero se tomó en consideración que únicamente el 70% de la misma es aprovechable, debido a que aproximadamente un 30% se mezcla con tierra, y restos vegetales al momento de la selección por lo que las excretas de vacuno disponible es de 122,98 = 123 Kg al día. Los valores se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 24 – 3:** Valores calculados para la determinación de estiércol disponible

Estiércol recogido de 10 vacunos		Aprovechamiento		Estiércol disponible (Kg/día)	
Detalle	Estiércol (Kg)	Detalle	Valor	No de vacunos	Valor
Día 1	87,20	% de aprovechamiento	70	10	61,49
Día 2	90,00				
Día 3	87,30	Total (Kg/5 días)	307,44	1	6,15
Día 4	86,60				
Día 5	88,10	Promedio (Kg/día)	61,49	20	122,98
Total (Kg)	439,20				

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

### Determinado mediante la Ecuación:

### Ecuación 2

$$\frac{kgEF}{día} = \# Vacunos * \frac{kg EF/día}{Vacuno}$$

#### Dónde:

# Vacunos = 20

kg EF/día= Kilogramo de estiércol fresco día.

$$20 * \frac{6,15 kg EF/día}{1Vacuno} = 123kgEF/día$$

**Tabla 25 – 3:** Muestreo de los residuos de cocina que tienen mayor facilidad en descomposición

Detalle	Residuos (Kg)
Día 1	1,80
Día 2	2,00
Día 3	1,70
Día 4	2,10
Día 5	1,90
Total (Kg)	9,50
Promedio( Kg/día)	1,90

Realizado por: SALAZAR José; ARIAS Janeth, 2015.

El fuego puede ser generado por diferentes combustibles, entre ellos la biomasa vegetal (Robles-Gil 2001).

**Tabla 26 – 3:** Valores y Características de algunos desechos vegetales

Material fresco	% EST Sólidos totales	% SO Sólidos orgánicos.	P-Producción de biogás (m <sup>3</sup> de gás/ 1 Kg ST)
Paja de arroz	89	93	0,220
Paja de trigo	82	94	0,250
Paja de maíz	80	91	0,410
Hierba fresca	24	89	0,410
Jacinto de aga	7	75	0,325
Bagazo	65	78	0,160
Desechos de verdura	12	86	0,350
Desechos orgánicos de cocina	15	10	0,250

Fuente: Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás.

**Cantidad de residuos de materia prima disponible (kg /día).**

**Ecuación 3**

$$MPD = \frac{kgEF}{día} + \frac{kg RSC}{día}$$

**Dónde:**

MPD= Materia prima disponible.

kg RSC/día= Kilogramo de residuos orgánicos de cocina/día.

$$MPD = \frac{123 kgEF}{día} + \frac{1,9 kg RSC}{día} = 124,9 = 125 \frac{Kg}{día}$$

**3.1.2 Determinación de biogás en m<sup>3</sup>/día, en base a la materia prima disponible.**

Para estimar la cantidad de biogás que produce la materia prima disponible en la finca “Isabel”, el primer valor se tomó del análisis realizado en el laboratorio LABSU donde reporta el valor en promedio de 0,14 Kg sólidos totales por 1 kg estiércol fresco, (ver anexo G) y el segundo valor de la equivalencia de 1 Kg de sólidos totales a metros cúbicos de biogás a 30 °C como se indica en la tabla 5 - 3. Teniendo en cuenta que el estiércol vacuno y residuos orgánicos de cocina se asemejan en sólidos totales y producción de biogás (ver tabla 4 – 3).

A continuación se muestra el cálculo de la cantidad de biogás que podría producir la materia prima disponible.

**Ecuación 4**

$$\frac{kgMPD}{día} * \frac{kgST}{1kgMPD} * \frac{m^3biogás}{1kgST} = m^3Biogás/día$$

**Dónde:**

MPD= Materia prima disponible (estiércol vacuno, residuos orgánicos de cocina)

kg ST= Kilogramo de sólidos totales.

$$\frac{125kgMPD}{día} * \frac{0,14 kgST}{1kgMPD} * \frac{0,25m^3biogás}{1kgST} = 4,375m^3Biogás/día$$

**Tabla 27 – 3:** Datos básicos de diseño de biodigestores para producción de biogás a partir de estiércol vacuno.

1 Kg de Excretas Frescas (EF) = 0.20 Kg de Sólidos Totales (ST)
1 Kg de Sólidos Totales (ST) = 0.8 Kg de Sólidos Volátiles (SV)
1 Kg de Sólidos Totales (ST) = 0.3 m <sup>3</sup> de Biogás @ (35°C y P. At.)
1 Kg de Sólidos Totales (ST) = 0.25 m <sup>3</sup> de Biogás @ (30°C y P. At.)
1 Kg de Sólidos Totales (ST) = 0.2 m <sup>3</sup> de Biogás @ (25°C y P. At.)
1 Kg de Sólidos Totales (ST) = 0.16 m <sup>3</sup> de Biogás @ (22°C y P. At.)
1 Kg de Sólidos Totales (ST) = 0.10 m <sup>3</sup> de Biogás @ (18°C y P. At.)

Fuente: Larry J. Douglas, Third Annual Biomass Energy Systems Conference, Colorado – USA, 1979.

– **Cálculo de la energía requerida en la finca “Isabel” en m<sup>3</sup> de biogás.**

El consumo mensual en la finca “Isabel” es de 2 tanques de 15 Kg de GLP.

Cálculo de la cantidad de GLP a m<sup>3</sup> de biogás.

**Ecuación 5**

$$\frac{\text{Tanq GLP}}{\text{mes}} \times \frac{? \text{ Kg GLP}}{\text{Tanq GLP}} \times \frac{\text{m}^3 \text{ Biogás}}{? \text{ Kg GLP}} \times \frac{\text{mes}}{? \text{ días}} = \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \text{ Biogás}$$

**Dónde:**

Tanq GLP/mes= Tanques de gas licuado de petróleo que consume la familia al mes

Kg GLP= kilogramos de gas licuado de petróleo.

$$\frac{2 \text{ Tanq GLP}}{\text{mes}} \times \frac{15 \text{ Kg GLP}}{1 \text{ Tanq GLP}} \times \frac{1 \text{ m}^3 \text{ Biogás}}{0,45 \text{ Kg GLP}} \times \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} = \frac{2,2 \text{ m}^3}{\text{día}} \text{ Biogás}$$

**3.1.3 Cálculo de la carga diaria al biodigestor (materia prima disponible+ agua)**

Conocida la cantidad de materia prima disponible que se genera a diario en la finca como utilizando la dilución recomendada de 1:1, (estiércol más agua) que se indica en la tabla 6 - 3 y asumiendo que 1 Kg de materia prima = 1 L de materia prima, se tiene como mezcla diaria la siguiente:

## Ecuación 6

$$CD = L \text{ MPD} + L \text{ agua}$$

**Dónde:**

CD= Carga diaria.

MPD= Litros de materia prima disponible

L agua= Litros de agua.

$$CD = \frac{125 \text{ Kg MPD}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ L MPD}}{1 \text{ Kg MPD}} + 125 \text{ L de Agua} = \frac{250 \text{ Lmezcla}}{\text{día}} \times$$

$$CD = \frac{250 \text{ L mezcla}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ m}^3 \text{ mezcla}}{1000 \text{ L mezcla}} = \frac{0,25 \text{ m}^3 \text{ mezcla}}{\text{día}}$$

**Tabla 28 – 3:** Relación estiércol – agua

N°	ORIGEN	RELACIÓN
1	Bovino fresco	1:1
2	Bovino seco	1:2
3	Porcino	1:2
4	Aves	1:1
5	Equino	1:2
6	Desechos Humanos	1:1
7	Desechos vegetales	1:0,5 – 1:2

**Fuente:** Ing. Carrasco Franklin. (2008). Nota de aula es deficiente en la producción de biogás entre 0,15 y 0,2 volumen de gas por volumen de digester, energías no convencionales.

### 3.1.4 *Dimensionamiento de la cámara de digestión.*

#### – **Volumen del tanque del biodigestor**

Para la determinación del volumen del tanque del biodigestor se tomó en cuenta la carga diaria (CD) y el tiempo de retención de 25 días, tiempo óptimo para la producción de biogás a 30 °C, como se indica en la tabla 11-1 y anexo D.

### **Ecuación 7**

$$V_{tb} = 0,75 + CD * TR$$

#### **Dónde:**

$V_{tb}$  = Volumen del tanque del biodigestor

CD = Carga diaria

TR = Tiempo de retención

0,75 = Volumen en  $m^3$  de mezcla (materia prima disponible + agua) adicional a la carga diaria.

$$V_{tb} = 0,75m^3 + \frac{0,25m^3}{\text{día}} * 25 \text{ días} = 7 m^3$$

#### **– Sobredimensionamiento para almacenamiento de biogás.**

Para una mayor capacidad de almacenamiento de biogás se sobredimensionó el biodigestor en 6 % con respecto a su volumen de la cámara de digestión (7 m).

### **Ecuación 8**

$$S_{ab} = V_{tb} * 6\%$$

#### **Dónde:**

$S_{ab}$  = Sobredimensionamiento para almacenamiento de biogás.

El volumen del sobredimensionamiento para almacenamiento de biogás. ( $S_{ab}$ ) se indica a continuación.

$$S_{ab} = \frac{7m^3 * 6}{100} = 0,42 m^3$$

#### **– Cantidad de rumen de ganado vacuno**

Además del estiércol de bovino de la finca “Isabel”, se adiciona rumen de vacuno, la cantidad a colocar debe corresponder al 10% del volumen de la cámara de digestión.

### **Ecuación 9**

$$V_{Rm} = V_{ttb} * 10\%$$

#### **Dónde:**

VRm= Volumen de rumen de ganado vacuno

$$VRm = \frac{7m^3 * 10}{100} = 0,7 m^3 \text{ Rumen}$$

$$0,700 m^3 Rm + 0,700 \text{ agua} = 1,400 m^3 \text{ mezcla}$$

Considerando que 1 L de rumen 1 Kg de agua se tiene:

$$0,700 m^3 Rm * \frac{1000L Rm}{1m^3 Rm} * \frac{1kg Rm}{1L Rm} = 700 Kg Rumen$$

– **Cálculo del volumen total del tanque del biodigestor**

Por lo tanto el volumen total del tanque del biodigestor se determina a continuación:

**Ecuación 10**

$$V_{ttb} = V_{tb} + VRm + Sab = m^3$$

**Dónde:**

V<sub>ttb</sub>= Volumen total del tanque del biodigestor.

$$V_{ttb} = 7 m^3 + 1,4 m^3 + 0,42 = 8,82 m^3$$

– **Diámetro interno del biodigestor (Ø<sub>int</sub>)**

Conocido el volumen del biodigestor y tomando en cuenta que es un biodigestor de forma cilíndrica vertical se consideró una profundidad o altura (H) igual al diámetro (Ø) y se empleó la fórmula de cálculo de volumen de un cilindro.

**Ecuación 11**

$$V_{ttb} = \frac{\pi * \varnothing^2}{4} * H_{tb}$$

**Dónde:**

V<sub>ttb</sub> = Volumen total del tanque del biodigestor

H<sub>tb</sub> = Altura del biodigestor

Ø<sub>int</sub> = Diámetro interior



$\pi = \text{Pi}$  (Cociente entre la longitud de la circunferencia y su diámetro).

Despejando  $\emptyset$  y reemplazando H por  $\emptyset$  tenemos.

$$\emptyset = \sqrt[3]{\frac{V_{ttb} * 4}{\pi}}$$

$$= \sqrt[3]{\frac{8,82 \text{ m}^3 * 4}{3,14159}}$$

$$\emptyset = 2,2394 \text{ m} = 2,24\text{m}$$

**Fuente:** Fórmula tomada de la tesis “Diseño de un biodigestor y conducción del biogás generado por las excretas de ganado vacuno, estación TUNSHI- ESPOCH”. Lara, E. e Hidalgo, M. 2011.

#### – Diámetro externo del biodigestor ( $\emptyset_{ext}$ )

El diámetro externo es igual al diámetro interno más el grosor de las paredes como se indica a continuación:

**Ecuación 12**

$$\emptyset_{ext} = \emptyset + 2e$$

**Dónde:**

$\emptyset_{ext}$  = Diámetro externo

e = Espesor del hormigón

$$\emptyset_{ext} = 2,24\text{m} + 2(0,15\text{m}) = 2,54\text{m}$$

#### – Radio interno del biodigestor

**Ecuación 13**

$$r = \frac{\emptyset_{int}}{2}$$

**Dónde:**

r = Radio interior del biodigestor

$$r = \frac{2,24\text{m}}{2} = 1,12\text{m}$$

– **Altura, del tanque del biodigestor**

Conocido el volumen, diámetro del biodigestor y tomando en cuenta que es de forma cilíndrica vertical, se empleó la fórmula de cálculo de volumen de un cilindro (Ecuación 10)

$$V_{ttb} = \frac{\pi * \varnothing^2}{4} * H_{tb}$$

Despejando  $H_{tb}$  tenemos

$$H_{tb} = \frac{V_b * 4}{\pi * \varnothing^2}$$

**Dónde:**

$H_{tb}$  = Altura del tanque del biodigestor

$$H_{tb} = \frac{8,82 \text{ m}^3 * 4}{3,14159 * (2,24\text{m})^2} = 2,238 = 2,24\text{m}$$

**Fuente:** Fórmulas tomada de la tesis “Diseño de un biodigestor y conducción del biogás generado por las excretas de ganado vacuno, estación TUNSHI- ESPOCH”. Lara, E. e Hidalgo, M. 2011.

### 3.1.5 *Cálculo de la curvatura de la cúpula superior*

– **Altura de la cúpula superior**

**Ecuación 14**

$$f_1 = \frac{1}{5} \varnothing_{int}$$

**Dónde:**

$f_1$  = Altura de la cúpula superior.

$$f_1 = \frac{1}{5} * 2,24 \text{ m} = 0,448 = 0,45$$

**Fuente:** Fórmulas tomada de la tesis “Diseño de un biodigestor y conducción del biogás generado por las excretas de ganado vacuno, estación TUNSHI- ESPOCH”. Lara, E. e Hidalgo, M. 2011.

– **Radio de la curvatura superior.**

**Ecuación 15**

$$r1 = \frac{(r)^2 + (f1)^2}{2 (f1)}$$

**Dónde:**

r1= Radio de la curvatura superior aplicada.

**Ecuación 16**

$$r1 = \frac{(1,12 \text{ m})^2 + (0,45\text{m})^2}{2 (0,45\text{m})} = 1,6188\text{m} = 1,62\text{m}$$

**Fuente:** Fórmulas tomada de la tesis “Diseño de un biodigestor y conducción del biogás generado por las excretas de ganado vacuno, estación TUNSHI- ESPOCH”. Lara, E. e Hidalgo, M. 2011.

– **Volumen de la cúpula superior (Vcs)**

**Ecuación 17**

$$Vcs = \pi(f1)^2 * \left( r1 - \frac{f1}{a} \right)$$

**Dónde:**

Vcs = Volumen de la cúpula superior

a = 3 constante

$$Vcs = 3,14159 * (0,45\text{m})^2 \left( 1,62\text{m} - \frac{0,45\text{m}}{3} \right) = 0,9352\text{m}^3 = 0,935\text{m}^3$$

**Fuente:** Fórmulas tomada de la tesis “Diseño de un biodigestor y conducción del biogás generado por las excretas de ganado vacuno, estación TUNSHI- ESPOCH”. Lara, E. e Hidalgo, M. 2011.

### 3.1.6 *Cálculo de la curvatura de la cúpula inferior*

– **Altura de la cúpula inferior**

**Ecuación 18**

$$f2 = \frac{1}{8} \emptyset$$

$$f2 = \frac{1}{8} * 2,24 \text{ m} = 0,28\text{m}$$

**Dónde:**

$f_2$  = Altura de la cúpula inferior

Para la construcción se consideró un espesor en la base de 0,2 m.

- **Radio de la curvatura inferior.**

**Ecuación 19**

$$r_2 = \frac{(r)^2 + (f_2)^2}{2 (f_2)}$$

**Dónde:**

$r_2$  = Radio de la curvatura inferior

$$r_2 = \frac{(1,12\text{m})^2 + (0,28\text{m})^2}{2 (0,28\text{m})} = 2,38\text{m}$$

- **Volumen de la cúpula inferior**

**Ecuación 20**

$$V_{ci} = \pi(f_2)^2 * \left(r_2 - \frac{f_2}{a}\right)$$

**Dónde:**

$V_{ci}$  = Volumen de la cúpula inferior

$a = 3$  constante

$$V_{ci} = 3,14159 (0,28\text{m})^2 * \left(2,38 - \frac{0,28\text{m}}{3\text{m}}\right) = 0,5632\text{m}^3 = 0,563 \text{ m}^3$$

**3.1.7 Altura final del biodigestor.**

**Ecuación 21**

$$H_{fb} = H_{bb} + f_2 + H_{ttb} + f_1 + H_{bf1}$$

**Dónde:**

$H_{fb}$  = Altura final del biodigestor

$H_{ttb}$  = altura total del tanque del biodigestor

$H_{bb}$  = altura del borde de la base

hbf1=altura del borde de la curvatura superior

$$Hfb = 0,2m + 0,28m + 2,24m + 0,45m + 0,15 = 3,32 m$$

### 3.1.8 *Volumen final del biodigestor*

**Ecuación 22**

$$vfb = Vttb + Vcs + Vci$$

**Dónde:**

Vfb = Volumen final del biodigestor

$$VTb = 8,82m^3 + 0,935 + 0,563 = 10.318 m^3$$

### 3.1.9 *Volumen del biodigestor para la parte liquida (materia prima + agua)*

**Ecuación 23**

$$VL = Vttb - Sab - Cs$$

**Dónde:**

VL= Volumen de la parte liquida en el biodigestor

$$VL = Vfb - Sab - Cs = 10,318 m^3 - 0,42 m^3 - 0,935 = 8.963 m^3$$

- **Volumen de nivel de llenado de mezcla desde la base del tanque del biodigestor.**

**Ecuación 24**

$$VnLl = VL - Ci$$

**Dónde:**

VnLl= Volumen de nivel de llenado desde la base del tanque del biodigestor.

$$VnLl = 8,963 - 0,563 m^3 = 8,4 m^3$$

- **Altura de nivel de llenado desde la base del tanque del biodigestor.**

Conociendo el volumen que alcanzará el nivel de llenado utilizando la fórmula de un cilindro se tiene lo siguiente:

## Ecuación 25

$$HnLl = \frac{VnLl * 4}{\pi * \phi^2}$$

**Dónde:**

nLlc= Altura del nivel de llenado.

$$HnLl = \frac{8,4 \text{ m}^3 * 4}{\pi * (2,24\text{m})^2} = 2,13\text{m}$$

**Fuente:** Fórmulas tomada de la tesis “Diseño de un biodigestor y conducción del biogás generado por las excretas de ganado vacuno, estación TUNSHI- ESPOCH”. Lara, E. e Hidalgo, M. 2011.

La altura del nivel de llenado desde la base del tanque del biodigestor es de 2,13 m y desde el centro de la base del biodigestor es de 2,4 m que incluye la altura de la cúpula inferior (0,27 m)

### – Volumen de inoculante

## Ecuación 26

$$VInc = \frac{VL - CD * TR}{2}$$

**Dónde:**

VInc= Volumen del inoculante en m<sup>3</sup>.

$$VInc = \frac{8,963\text{m}^3 - 0,25\text{m}^3 * 25 \text{ días}}{2} = 1,3565\text{m}^3 \text{ Inc}$$

Tomando en cuenta en la mezcla la relación de 1:1 (inoculante - agua) y que 1 litro de agua es igual a 1 Kg de inoculante se tiene la masa del inoculante en kilogramos.

$$1,3565 \text{ m}^3 \text{ Inc} * \frac{1000 \text{ L Inc}}{1 \text{ m}^3 \text{ Inc}} * \frac{1 \text{ Kg Inc}}{1 \text{ L Inc}} = 1356,5 \text{ Kg Inc}$$

### 3.1.10 *Cálculo de la caja de entrada. Ce*

#### – **Dimensionamiento de la caja de entrada**

La caja de entrada se dimensionó en base a la carga diaria (agua + estiércol) que ingresa al biodigestor. Por lo que el volumen de la caja de entrada es de:

**Ecuación 27**

$$V_{ce} = LL_{ce}^3$$

#### **Dónde:**

$V_{ce}$  = Volumen de la caja de entrada.

$LL_{ce}$  = Longitud de los lados de la caja de entrada.

$$LL_{ce} = \sqrt[3]{V_{ce}}$$

$$LL_{ce} = \sqrt[3]{0,25 \text{ m}^3}$$

$$LL_{ce} = 0,6299 \text{ m} = 0,63 \text{ m}$$

Cada lado de la caja de entrada fué de 0,63 m, pero por las condiciones de dilución diaria del estiércol en la caja y para realizar la agitación desde la tubería de entrada hacia el biodigestor, se dimensionó con las siguientes medidas: su longitud de 1 m, ancho de 0.7 m y su altura de 0.6 m, con lo que tendrá una capacidad de 0,42 m<sup>3</sup>, con la comodidad suficiente para introducir 0,25 m<sup>3</sup> de mezcla/día en el biodigestor. El grosor de las paredes son de 0,15 m y la base 0.20 m de hormigón ciclópeo.

#### **Dónde:**

Longitud de la caja de entrada =  $L_{ce}$

Ancho de la caja de entrada =  $A_{ce}$

Altura de la caja de entrada =  $H_{ce}$

### 3.1.11 *Cálculo de la caja de salida. Cs*

La caja de salida se dimensionó en base a la carga diaria (agua + estiércol) que ingresa al biodigestor ya que se requiere extraer el fluido de salida cuya cantidad es parecida a la cantidad de entrada de mezcla diaria de estiércol más agua.

**Ecuación 28**

$$VCs = LLCs^3$$

**Dónde:**

VCs = Volumen de la caja de salida.

LLCs = Longitud de los lados de la caja de salida

$$LLCs = \sqrt[3]{VCe}$$

$$LLCs = \sqrt[3]{0,25 \text{ m}^3} = 0,63m$$

Vcs = Volumen de la caja de salida.

LLCS = Longitud de los lados de la caja de entrada

Cada lado de la caja de salida será de 0,63 m, pero por condiciones de realizar la agitación desde la tubería de salida hacia el biodigestor, se dimensionará con las siguientes medidas: su longitud de 1 m, su ancho de 0.7 m y su altura de 0,5 m, con lo que tendrá una capacidad o volumen de 0,35 m<sup>3</sup>, con la comodidad suficiente para poder almacenar 0,25 m<sup>3</sup> de biol generados en 1 día. El grosor de las paredes son de 0,15 m y la base 0.20 m de hormigón ciclópeo.

**Dónde:**

Longitud de la caja de salida= LCs

Ancho de la caja de salida= ACs

Altura de la caja de salida= HCs



La parte superior de la caja fué fundida dejando 0,4 m de ancho por 1 m de largo para la tapa, espacio suficiente para sacar el biol.

### **3.1.12 Dimensionamiento de la caja de lodos.**

La caja de lodos se la construyó con las mismas medidas de la caja de entrada, longitud de 1 m, ancho 0.70 m y de alto 0.6 m, debido a que tiene instalada una tubería con una llave de paso que servirá para regular el fluido durante la limpieza del biodigestor.

### **3.1.13 Tubería que conducir la carga diaria y salida al biodigestor**

La carga diaria de (estiércol + agua) y la salida del fluido del biodigestor, será conducida a través de una tubería de PVC de 8 pulgadas (0,2032m) con la finalidad de evitar el estancamiento de la mezcla diaria. El diámetro de esta tubería debe ser lo suficiente grande para evitar taponamiento al momento de la alimentación.

Los sedimentos serán extraídos por una tubería de 6 pulgadas hacia la caja de mantenimiento y retención.

#### **– Altura del extremo inferior de la tubería de carga al biodigestor.**

Para lo cual se realizó considerando 2 aspectos:

1.- Cantidad de sólidos totales en la cámara de digestión, acumulados en el transcurso del tiempo de limpieza.

Tomando en cuenta una limpieza cada 4 meses y que toda la materia prima disponible fuese estiércol de vacuno y el valor obtenido del análisis de Excretas Frescas (EF) = 14% de Sólidos Totales (ver anexo G).

$$4 \text{ meses} \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} * \frac{125 \text{ Kg EF}}{1 \text{ día}} + 375 \text{ Kg EF adicional} + 700 \text{ Kg rumen} = 16075 \text{ Kg EF}$$

Introduciendo a los 4 mes 15850 Kg EF de estiércol fresco

$$ST = \frac{\text{Kg EF} * 14\%}{100\%}$$

$$ST = \frac{16075 \text{ Kg de EF} * 14 \%}{100 \%} = 2250,5 \text{ Kg de EF}$$

Como 1 Kg de EF = 1 L de EF tenemos:

$$ST = 2250,5 \text{ Kg de EF} * \frac{1 \text{ L}}{1 \text{ Kg de EF}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 2,250 \text{ m}^3$$

$V_{st} - V_{ci}$

$$2,250 \text{ m}^3 - 0,563 \text{ m}^3 = 1,687 \text{ m}^3$$

**Despejando  $H_t$**  de la siguiente ecuación

$$V_{st} = \frac{\pi \emptyset^2}{4} * H_t$$

Donde

$H_t$  = Altura de la tubería

$V_{st}$  = Volumen de sólidos totales

$$H_t = \frac{V_{st} * 4}{\pi \emptyset^2}$$

$$H_t = \frac{1,687 \text{ m}^3 * 4}{3,14159 * (2,24 \text{ m})^2} = 0,428$$

Con una limpieza máximo cada 4 meses, se tiene una altura de sólidos totales 0,428 m desde la base del tanque del biodigestor, tomando en cuenta que una pequeña parte de sólidos totales se formarán en biogás y otra parte serán conducidos junto con el biol hacia la caja de salida, finalmente se coloca la parte inferior del tubo de entrada a 0,40 m desde la base del tanque del biodigestor.

2.-En base a la cantidad de mezcla (inoculante + agua) que cubrirá la parte inferior del tubo para evitar el ingreso de aire al biodigestor.

Según los cálculos anteriores el volumen de (inoculante + agua) es de 2,713 m<sup>3</sup> y para calcular la altura que alcanzara desde la base del tanque del biodigestor restamos la capacidad de la cúpula inferior (0,563 m<sup>3</sup>) quedando un volumen de 2,13 m<sup>3</sup>

Utilizando la fórmula de un cilindro la altura de mezcla (inoculante + agua) desde la base del tanque del biodigestor es:

$$H_{tb} = \frac{Vb * 4}{\pi * \varnothing^2}$$

$$H_{tb} = \frac{2.15 * 4}{3.14259 * (2.24)^2} = 0,546m = 0.55m$$

Altura suficiente para cubrir los 49 cm desde la base del tanque del biodigestor, ya que el tubo se encuentra inclinado a 50 grados

- **Altura del extremo interno de la tubería para conducir el biol desde el biodigestor a la caja de salida.**

La tubería de salida del fluido tendrá una inclinación de 45° con respecto a la horizontal y 0,6 m de altura desde la base del biodigestor, tomando en cuenta que el fluido de salida es el biol que se extrae de la descomposición de la materia orgánica (ver anexo I).

### **Excavación del hoyo para la construcción del biodigestor.**

La altura del tanque del biodigestor según el dimensionamiento realizado es de 2,24 m, por lo tanto la profundidad del hoyo en las esquinas debe ser igual a la del tanque del biodigestor más el grosor de la base (2,24m+0,2m= 2,44m) y en el centro igual a la profundidad del hoyo en las esquinas más 0,28m (2,44m+0,28m= 2,72 m), quedando la base en forma de cúpula

#### **3.1.14 Capacidad de almacenamiento de biogás.**

**Ecuación 30**

$$Cab = Vfb - VL$$

**Dónde:**

Capacidad de almacenamiento de biogás= Cab

#### **3.1.15 Determinación del gasómetro.**

**Ecuación 31**

$$V_g = \frac{V_{fb}}{3}$$

**Dónde:**

$V_g$ = volumen del gasómetro

$V_{fb}$ = volumen final del biodigestor

El gasómetro se lo construyó de plástico por lo cual las dimensiones: longitud, ancho, y diámetro se determinó mediante la guía de diseño de biodigestores de polietileno tubular (ver tabla 7 - 3)

**3.1.16 Cálculos del Gasómetro**

Para el volumen del gasómetro se consideró “una medida razonable que tenga un volumen igual a la tercera parte del volumen del digestor” (Manual de instalación de un biodigestor familiar tipo manga para zonas alto-andinas de la Universidad Politécnica de Catalunya).

**Ecuación 32**

$$V_g = \frac{V_{fb}}{3} = \frac{10,318\text{m}^3}{3} = 3,439\text{m}^3$$

Finalmente se diseñó un gasómetro de 4.4 m<sup>3</sup> con la capacidad suficiente para almacenar la cantidad de 2 días de producción de biogás.

**Dónde:**

$V_g$ = volumen del gasómetro

$V_{fb}$ = volumen total del biodigestor

**Tabla 29 – 3:** Relación óptima entre longitud y diámetro del biodigestor

Ancho del rollo (m)	Longitud del biodigestor(m)	Diámetro del biodigestor (m)	L/d (óptimo de 7 en un rango de 5-10)
1	$V_t/0,32$	0,64	L/d

Continuará

Continua

1,25	Vt/0,5	0,80	L/d
1,50	Vt/0,72	0,96	L/d
1,75	Vt/0,97	1,12	L/d
2	Vt/0,27	1,28	L/d

FUENTE: Martí J, 2008. (Biodigestores Familiares).

Ancho del plástico (Ap) = 1,5m

Longitud del gasómetro (Lg) =  $\frac{Vt}{0,72m^2} = \frac{4,4m^3}{0,72m^2} = 6,1m$  con un diámetro (Ø) de 0,96m

El plástico finalmente se cortará de 7 m quedando 45 cm para amarrar en cada extremo.

**Tabla 30 – 3:** Parámetros para el dimensionamiento del biodigestor

PARÁMETRO	DATOS
Régimen	Semicontinuo y continuo
Tiempo de retención	25 días
Temperatura	30 °C
% de sólidos	14 %
% Inoculo	13,2 %

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

- Resumen de las dimensiones del biodigestor.

Las medidas de diseño del biodigestor se detallan en las siguientes tablas:

**Tabla 31 - 3:** Medidas de la cámara del biodigestor

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
<b>Tanque del biodigestor</b>			
Volumen total del tanque del biodigestor.	Vttb	8,82	m <sup>3</sup>
Diámetro interno del biodigestor	Øint	2,24	m
Diámetro externo del biodigestor	Øext	2,54	m
Espesor del hormigón	e	0,15	m
Radio interior del biodigestor	r	1,12	m

Continuará

Continua

Altura, del tanque del Biodigestor	Htb	2,24	m
<b>Cúpula Superior del Biodigestor</b>			
Altura de la cúpula superior	f1	0,45	m
Radio de la curvatura superior.	r1	1,62	m
Volumen de la cúpula superior	Vcs	0,935	m <sup>3</sup>
<b>Cúpula Inferior del Biodigestor</b>			
Altura de la cúpula inferior	f2	0,28	m
Radio de la curvatura inferior.	r2	2,38	m
Volumen de la cúpula inferior	Vci	0,563	m <sup>3</sup>
<b>Biodigestor</b>			
Htb = Altura final del biodigestor	Hfb	3,32	m
Volumen final del biodigestor	Vfb	10,318	m <sup>3</sup>
Capacidad de almacenamiento de biogás	Cab	1,355	m <sup>3</sup>

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

**Tabla 32 – 3:** Medidas de la caja de entrada de mezcla al biodigestor

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Longitud de la caja de entrada	LCe	1	m
Ancho de la caja de entrada	ACe	0,7	m
Altura de la caja de entrada	HCe	0,6	m
Volumen de la caja de entrada	VCe	0,42	m <sup>3</sup>

Realizado por: SALAZAR José; ARIAS Janeth, 2015.

**Tabla 33 – 3:** Medidas de la caja de salida de biol del biodigestor.

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Longitud de la caja de salida	LCs	1	m
Ancho de la caja de salida	ACs	0,7	m
Altura de la caja de salida	HCs	0,5	m
Volumen de la caja de salida	VCs	0,35	m <sup>3</sup>

Realizado por: SALAZAR José; ARIAS Janeth, 2015.

**Tabla 34 – 3:** Medidas del gasómetro que se instalará adicionalmente al biodigestor.

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Ancho del plástico	Ap	1	m
Longitud del Plástico	Lp	5,25	m
Diámetro del gasómetro	Ø	0,96	m
Vg= volumen del gasómetro	Vg	3,44	m <sup>3</sup>

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

### 3.2 Resultados

#### 3.2.1 Resultados de las muestras de estiércol

Las muestras de estiércol fresco procedente de la finca “Isabel” se analizaron en el Laboratorio Labsu (ver tabla 13 – 3 y anexo G).

**Tabla 35 – 3:** Análisis de laboratorio de las dos muestras de estiércol fresco

ANÁLISIS IN SITU					
Temperatura			26,5		
ANÁLISIS EX SITU					
PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO	MÉTODO/NORMA/REFERENCIA
Potencial de hidrógeno	-	7,35	7,37	7,36	EPA 9045 C
Sólidos totales	%	14,68	13,32	14	SM 2540 B
Sólidos totales volátiles	%	14,99	15,21	15,1	2540-C
Materia orgánica	%	69,82	75,98	72,9	Gravimétrico
Carbono orgánico	%	40,5	52,4	46,45	EPA 9060
Nitrógeno total	%	3,49	1,98	2,74	KJELDAHL,EPA351.2
Fósforo	mg/kg	21,47	19,69	20,58	Booker Tropical Soil Manual
Humedad	%	85,08	85,14	85,11	Gravimétrico
Potasio	mg/kg	5061,1	4978,41	5019,75	Booker Tropical Soil Manual
Zinc	mg/kg	61,08	60,02	60,55	Booker Tropical Soil Manual
Cobre	mg/kg	7,47	7,98	7,725	Booker Tropical Soil Manual
Hierro	mg/kg	263,67	271,58	267,625	Booker Tropical Soil Manual
Recuento de microorganismos	col/g	68,4x10 <sup>7</sup>	70,8x10 <sup>7</sup>	69,6x10 <sup>7</sup>	Methods in applied soil

Continuará

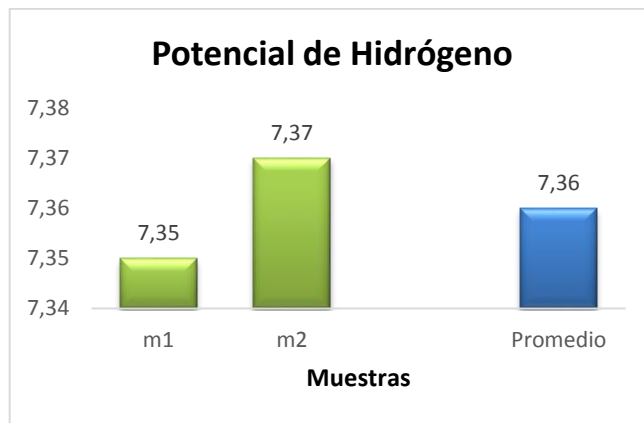
Continua

Coliformes Fecales	col/g	6,2 x10 <sup>5</sup>	6,4 x10 <sup>5</sup>	6,3 x10 <sup>5</sup>	SM 9222 B
Coliformes Totales	col/g	8,1 x10 <sup>5</sup>	8,3 x10 <sup>5</sup>	8,2 x10 <sup>5</sup>	SM 9222 D

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

### - **Potencial Hidrógeno**

Según (Metcall – Eddy 1995), existen grupos de bacterias que muestran óptimo crecimiento en torno a un pH neutro que es 7, valores extremos tanto ácidos como básicos, pueden reducir significativamente la actividad bacteriana.



**Gráfico 1 – 3:** Análisis de las muestras de Potencial Hidrógeno.

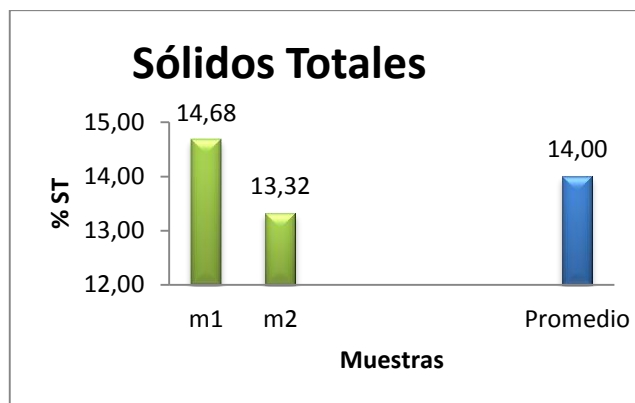
Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

El resultados que se obtuvo en los análisis es de 7,36 un valor neutro lo cual esta óptimo para el funcionamiento del biodigestor.

### - **Sólidos totales**

El estiércol fresco presenta en un alrededor de un 17% de sólidos totales, el rango puede variar de 13 al 20 %, los sólidos totales representan el peso del estiércol seco. (Herrero, 2008, pp. 42)





**Gráfico 2 – 3:** Análisis de la muestra de Sólidos Totales en estiércol fresco

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

Los análisis arrojaron un valor promedio de 14% de ST, para la producción de biogás se necesita de la presencia de los sólidos totales, porque es el alimento de las poblaciones microbianas que producen el gas metano.

- **Sólidos Totales Volátiles**



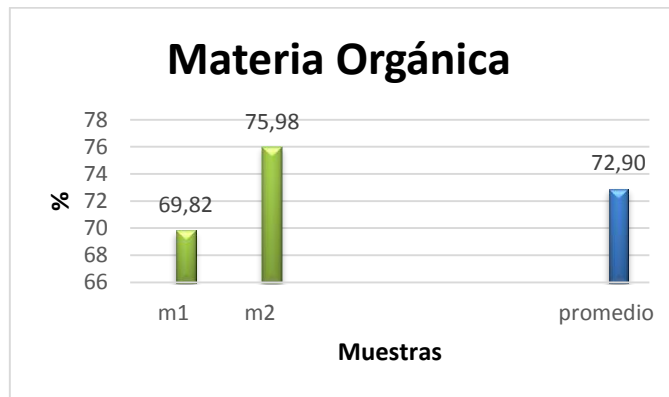
**Gráfico 3 – 3:** Análisis de la muestra de Sólidos Totales Volátiles

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

El resultado en promedio es de 15,10 % el cual se lo obtiene en relación a los sólidos totales.

- **Materia orgánica**

Para la producción de biogás se lo considera un factor importante, debido a que es el alimento fundamental de las bacterias dentro del biodigestor.

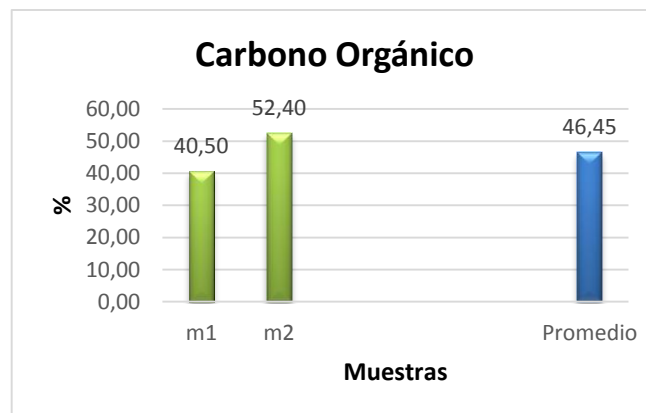


**Gráfico 4 – 3: Análisis de la muestra de Materia Orgánica**

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

El resultado en promedio que se obtuvo en nuestros análisis es de 72,9 % el cual se lo obtiene en relación a carbono y nitrógeno

### Carbono Orgánico

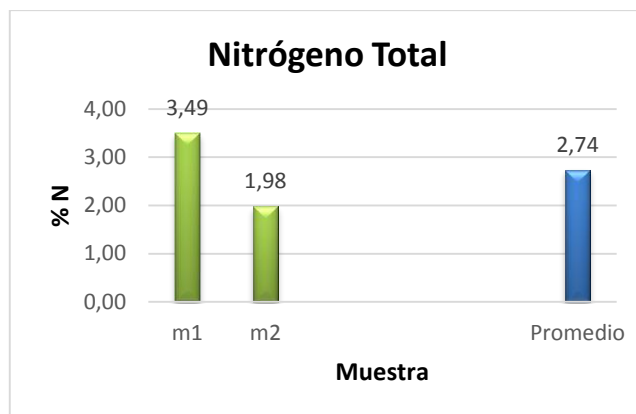


**Gráfico 5 – 3: Análisis de la muestra de Carbono Orgánico**

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

El resultado en promedio que se obtuvo en nuestros análisis es de 46,45 %

### - Nitrógeno total

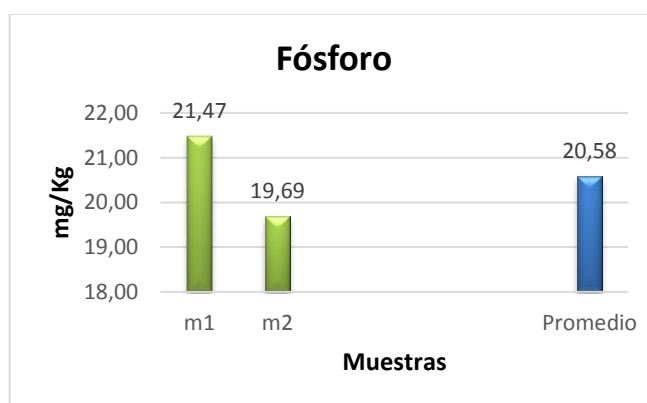


**Gráfico 6 – 3: Análisis de la muestra de Nitrógeno Total**

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

El resultado en promedio que se obtuvo en nuestros análisis es de 2,74 %

- **Fosforo**



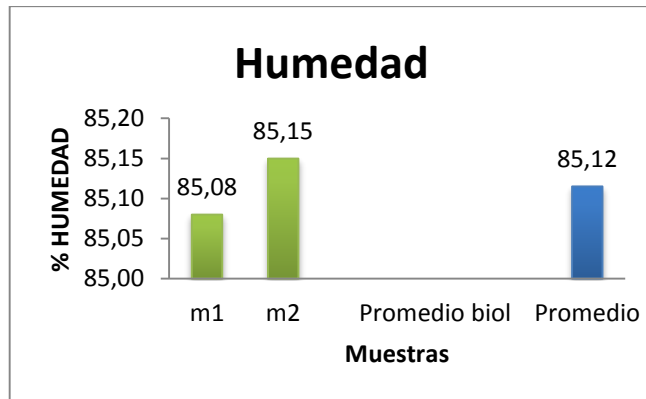
**Gráfico 7 – 3: Análisis de la muestra de Fósforo**

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

El resultado en promedio que se obtuvo en nuestros análisis es de 20,58 mg/kg

- **Humedad**

La humedad es la cantidad de agua que tiene una muestra de estiércol fresco con esto se establece la relación entre agua: estiércol para realizar la mezcla que se depositara en el Biodigestor.

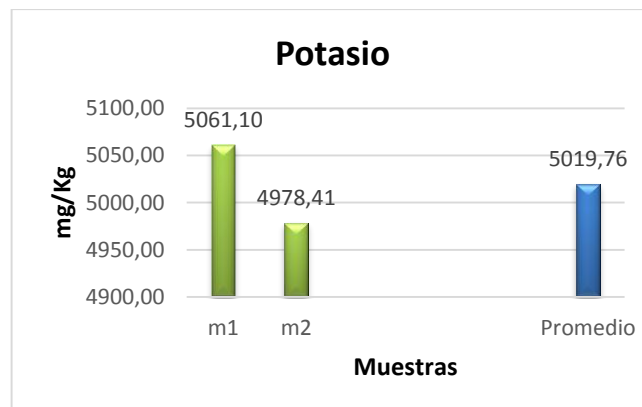


**Gráfico 8 – 3: Análisis de la muestra de humedad**

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

En los análisis realizados determinaron una alta cantidad de agua en las muestras de estiércol fresco con un 85,12% de humedad.

- **Potasio**

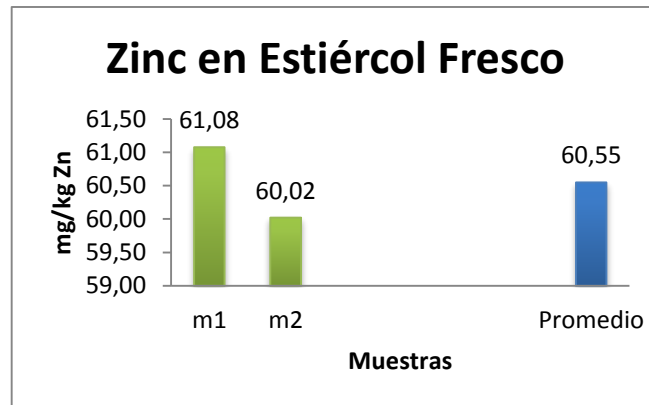


**Gráfico 9 - 3: Análisis de la muestra de potasio**

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

El resultado en promedio que se obtuvo en nuestros análisis es de 5019,76 mg/Kg

- **Zinc**

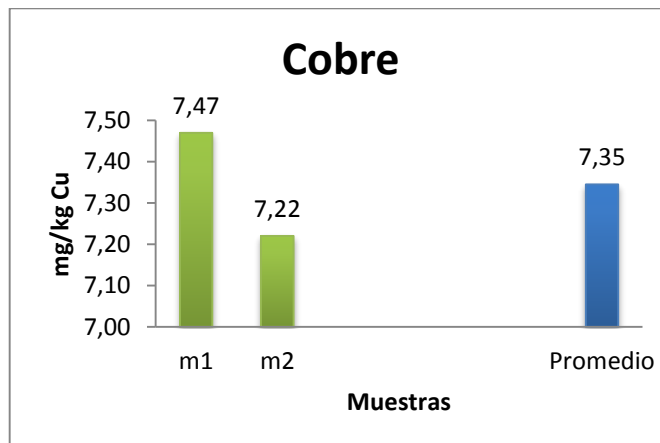


**Gráfico 10 – 3: Análisis de la muestra de Zinc**

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

El resultado en promedio que se obtuvo en nuestros análisis es de 60,55 mg/kg

- **Cobre**

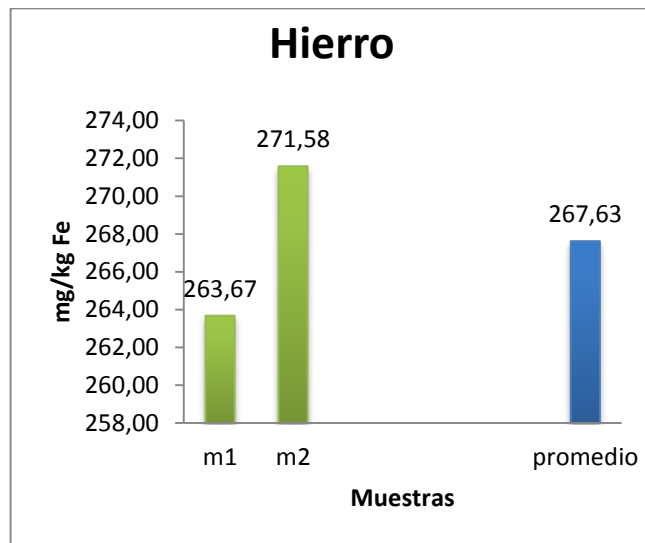


**Gráfico 11 – 3: Análisis de la muestra de Cobre**

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

El porcentaje de cobre de acuerdo a los análisis fue de 7,35 mg/kg.

- **Hierro**

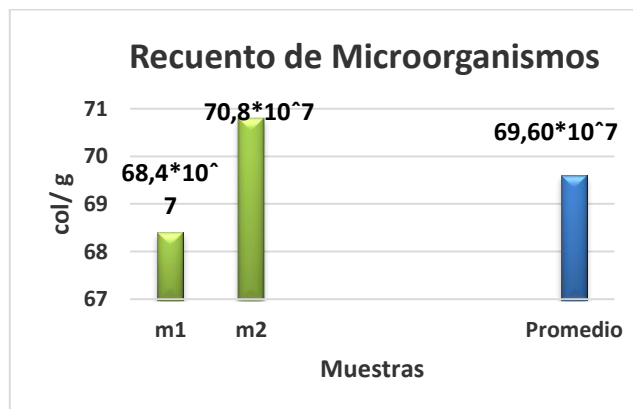


**Gráfico 12 – 3: Análisis de la muestra de Hierro**

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

El resultado en promedio que se obtuvo en nuestros análisis es de 267,63 mg/kg

- **Recuento de Microorganismos**



**Gráfico 13 – 3: Análisis de la muestra de Recuento de Microorganismos.**

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

El resultado en promedio que se obtuvo en nuestros análisis es de 69,6\*10<sup>7</sup> col/g.

**3.2.2 Resultados del biol**

Una vez realizados los respectivos análisis, se obtuvo los resultados: (ver anexo R).

**Tabla 36 - 3:** Análisis de laboratorio del biol

Parámetros	Unidad	s12157	PEE-LABSU	Método / Norma / Referencia	Incertidumbre (K = 2)
Potencial Hidrógeno	~	7,81	PEE-LABSU-02	SM 4500-H+B	± 0,05
*Sólidos totales	%	1,17	PEE-LABSU-49	SM 2540 B	± 10%
*Sólidos totales volátiles	%	0,78	PEE-LABSU-38	Gravimetría	~
*Materia orgánica	%	1,38	PEE-LABSU-67	GRAVIMÉTRICO	~
*Nitrógeno total	%	2,81	PEE-LABSU-71	KJELDAHL,EPA351.2	~
*Fósforo	mg / L	16,17	PEE-LABSU-719	Booker Tropical Soil Manual	~
*Potasio	mg / L	568.09	PEE-LABSU-06/76	Booker Tropical Soil Manual	~
*Coliformes fecales	Col /ml	1,8 x10 <sup>3</sup>	PEE-LABSU-43	SM 9222 B	± 12%
* Coliformes totales	Col /ml	2,1 x10 <sup>4</sup>	PEE-LABSU-44	SM 9222 D	± 5%

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

Después de haber realizado los análisis del biol obtenidos del biodigestor chino, se conoce que hay una variación de nutrientes lo cual se considera importante para usarlo en cualquier cultivo.

### 3.2.3 *Medición del biogás.*

El biogás producido por el biodigestor chino se lo conoció mediante la columna de agua, que es el método de desplazamiento de líquido o fluido en un determinado tiempo, donde el volumen del gas es igual al volumen de agua, el cual es desplazado por el gas (ver anexo P).

**Tabla 37 – 3:** Medición de biogás en ml, L, m<sup>3</sup> a una sola medición de acuerdo al método de desplazamiento de líquido.

T.R (Días)	Medición biogás (ml)	Tiempo (seg)	Medición (ml/seg)	Duración total de liberación de gas (seg)	Duración total de liberación de gas (min)	Biogás (ml)	Biogás (L)	Biogás (m <sup>3</sup> )
5	2000	56	36	2800	47	100000	100	0,10

Continuará

Continúa

10	2000	25	80	6200	103	496000	496	0,50
15	2000	16	125	7200	120	900000	900	0,90
20	2000	15	133	10500	175	1400000	1400	1,40
25	2000	14	143	15100	252	2157143	2157	2,16
27	2000	14	143	15100	252	2157143	2157	2,16

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.

En la medición del biogás se determinó el tiempo requerido en segundos para llenar el envase de 2000ml. Para el cálculo de los volúmenes en ml, L y m<sup>3</sup> se dividió los 2000 ml por el tiempo que tardo en llenar el recipiente graduado multiplicando el tiempo de liberación del biogás y para conocer exactamente cuántos metros cúbicos se logra producir al día se realizó la transformación de ml a m<sup>3</sup> y de segundos a día..

### 3.2.4 Costo/beneficio del proyecto.-

**Tabla 38 – 3:** Precios de materiales utilizados en la Construcción del biodigestor

CANT.	DETALLE	UNIDAD	V. Unitario	V. Total
30	Cemento Rocafuerte	Quintal	7,71	231,3
1	Malla electrosoldada de 10 x 10.	-	110,00	110,00
60	Bloques de 10.	-	0,30	18,00
3	Material pétreo (arena fina)	m <sup>3</sup>	15,00	45,00
1	Material pétreo (ripio)	m <sup>3</sup>	15,00	15,00
1	Hierro 8 mm	Quintal	36,5	36,5
25	Tablas de madera.	-	3,00	75,00
2	Triplex de 0,5 mm.	-	12,59	25,18
2	Alambre de amarre blanco.	Libra	0,68	1,36
1	Clavos de 2 pulgadas.	Libra	0,52	0,52
2	Clavos de 2 ½ pulgadas.	Libra	0,52	1,04
1	Clavos de 3 pulgadas	Libra	0,53	0,53
1	Tubo PVC de 8 pulgadas.	-	54,00	54,00
1	Tubo PVC de 6 pulgadas.	-	10,04	10,04

Continuará



Continua

2	Tubos de PVC de ½ pulgada	-	6,75	13,5
1	Tapón de PVC de 6 pulgadas	-	4,60	4,60
3	Llave de paso de ½ pulgadas.	-	1,00	3,00
1	Válvula bola	-	1,5	1,50
2	Tee de ½ pulgadas.	-	0,75	1,50
3	Codos de ½ pulgadas.	-	0,75	2,25
1	Neplo de 30 cm	-	6,00	6,00
2	Reducción de 2 pulgadas a media	-	2,00	4,00
1	Unión de 2 pulgadas	-	3,00	3,00
1	Llave de 2 pulgada	-	5,40	5,40
14	Plástico	M	0,75	10,5
1	Pega tubo	-	0,80	0,80
1	Teflón	M	0,73	0,73
5	Manguera para gas	M	0,5	2,50
1	Abrazadera	-	0,10	0,10
<b>SUBTOTAL</b>				<b>682,85</b>
<b>IVA 12 %</b>				<b>81,94</b>
<b>TOTAL</b>				<b>764,79</b>

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

**Tabla 39 – 3:** Análisis de precios de mano de obra en la Construcción del biodigestor

<b>CANT.</b>	<b>DETALLE</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>V. Unitario \$</b>	<b>V. Total \$</b>
3	Limpieza del terreno y Excavación manual	Jornal obrero	15,00	45,00
4	Encofrado y fundido de la pared y cúpula	Jornal obrero	15,00	60,00
2		Jornal albañil	25,00	50,00
1	Construcción de las cajas del biodigestor	Jornal obrero	15,00	15,00
1		Jornal albañil	25,00	25,00
1	Construcción del gasómetro e instalación del biodigestor	Jornal obrero	15,00	15,00
2	Cerramiento y techado del gasómetro	Jornal	15,00	30,00
<b>VALOR TOTAL \$</b>				<b>240,00</b>

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

**Tabla 40 – 3:** Total de costo

DETALLE	MONTO \$
Materiales de construcción	764,79
Mano de obra	240,00
<b>Total \$</b>	<b>1004,79</b>

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2015.

### 3.3 Análisis

#### 3.3.1 *Evaluación de los Impactos Ambientales*

Al concluir con el proyecto se identifica e interpreta los impactos ambientales tanto positivos como negativos, que se ocasionen durante las fases de construcción y operación del proyecto.

Tabla 41 – 3: Matriz de Leopold

MATRIZ DE LEOPOLD EN LA EJECUCIÓN Y OPERACIÓN DEL PROYECTO																
ATRIBUTOS	a) MODIFICACIÓN DEL RÉGIMEN		b) FASE DE CONSTRUCCIÓN		c) FASE DE OPERACIÓN					c) ACCIDENTES		AFECTACIONES POSITIVAS	AFECTACIONES NEGATIVAS	TOTAL DE AFECTACIONES	AGREGACION DE IMPACTOS	PORCENTAJE
	Excavación		Ejecución del proyecto		Reciclado de residuos	Uso de agua	Descargas de biol	Conducción del biogás	Derrame y fugas	Emisiones gaseosa y partículas a la atmosfera						
Calidad del aire					3	2				1	-2	2	1	3	4	1
Materiales de construcción	-1	2	-3	2						2	2	2	2	2	-8	-2
Destrucción de suelos	-4	3	-3	3	4	2	5	4		-2	2	2	3	5	3	1
Aumento del consumo del agua			-1	1	-2	-1	-1	-1		-1	1		5	5	-6	-1
Agua subterráneas					4	3	-1	2		-1	2	1	2	3	8	3
Calidad del agua			-1	2	-1	-1	-1	2					4	4	-8	-2
Microflora			-4	3	-1	2	4	3				1	2	3	-2	-1
Microfícuna			-4	3	2	2				-1	1	1	2	3	-9	-3
Salud y Seguridad					4	2				-3	-1	1	2	3	0	0
Empleo	3	3	5	4						2	2	2		2	29	7
Beneficios económicos							5	6	5			2		2	50	25
AS	1		6		3	2	3		5	2						
IAS	2		1		5	0	3		1	0						
ES	3		7		8	2	6	1	6	2						
TOS	-5		-22		32	-3	47	30	-12	-6					10	10
		-2	0	-3	4	-2	8	30	0	-2						-3

BENEFICIOSO	Mayor igual que 1
LEVE	-1 -3
SEVERO	-6 -8
CRITICO	-9 -10

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.

**Tabla 42 - 3:** Rango de valores según el tipo de Impacto

<b>BENEFICIOSO</b>	<b>Mayor igual que 1</b>
<b>LEVE</b>	<b>-1 -3</b>
<b>SEVERO</b>	<b>-6 -8</b>
<b>CRITICO</b>	<b>-9 -10</b>

**Fuente:** PROCESO GESTIÓN DE BIENES Y SERVICIOS, 2013

(Guía metodológica para la Evaluación de Aspectos e impactos Ambientales).

**Tabla 43 – 3:** valoración de impactos ambientales para construcción del Biodigestor

<b>RANGO</b>	<b>FACTORES</b>	<b>% DE AFECTACION</b>	<b>VALOR</b>
<b>Aire</b>			
0-20	Calidad de aire	1	+ (No significativo)
<b>Suelo</b>			
0-20	Materiales de construcción	2	- (No significativo)
0-20	Destrucción de suelos	1	+ (No significativo)
<b>Agua</b>			
0-20	Aumento del consumo del agua	1	- (No significativo)
0-20	Agua subterráneas	3	+ (No significativo)
0-20	Calidad del agua	2	- (No significativo)
<b>Flora</b>			
0-20	Microflora	1	- (No significativo)
<b>Fauna</b>			
0-20	Microfauna	3	- (No significativo)
<b>Sociocultural</b>			
0-20	Salud y Seguridad	0	(No significativo)
<b>Economía población</b>			

Continuará

Continúa

0-20	Empleo	7	+ (Poco significativo)
0-20	Beneficios	25	+ (Poco significativo)
<b>Modificación del régimen</b>			
0-20	Excavación	2	- (No significativo)
<b>Fase de construcción</b>			
0-20	Ejecución del proyecto	-3	- (No significativo)
<b>Fase de operación</b>			
0-20	Reciclado de residuos	4	+ (No significativo)
0-20	Uso de agua	2	- (No significativo)
0-20	Descargas de biol	8	+ (No significativo)
0-20	Conducción del biogás	30	+ (Mediamente significativo)
<b>Accidentes</b>			
0-20	Derrame y fugas	2	- (No significativo)
0-20	Emisiones gaseosa y partículas a la atmosfera	3	- (No significativo)

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.

### 3.3.1.1 Interpretación de los impactos positivos y negativos

#### - Impactos negativos.

Por ser un proyecto de mediana magnitud, el grado de afectación al ambiente son insignificantes, considerando que el factor con un mayor índice de impacto negativo tenemos al suelo con 4%, que ocurre en la fase de construcción, al momento de realizar las excavaciones en el suelo para realizar el hoyo donde se construyó el biodigestor chino. Tenemos al recurso agua que es utilizado durante la mezcla de alimentación diaria al biodigestor en un 2% de afectación negativa, en factor accidentes como derrames y fugas en un 2% y en menor afectación tenemos la microflora 1%. Para mitigar los impactos negativos se realizó actividades como:

- Retirar del lugar malezas y otras plantas, por lo que una vez construido el biodigestor se procedió a sembrar plantas ornamentales.

- Realizar la excavación del hoyo únicamente en sus medidas establecidas para evitar afectar innecesariamente las capas del suelo.
- En lo que respecta a la afectación de recurso agua, se procedió a coger agua del estero que encontramos cerca del área del proyecto para realizar la carga diaria.
- **Impactos positivos.**

Los impactos positivos corresponden a los beneficios que tiene la Familia de la Finca Isabel que se genera por la construcción y operación del biodigestor, los factores afectados positivamente son en la fase de operación en la descarga de Biol en un 8% que contribuirá en el mejoramiento del suelo al aumentar sus nutrientes (C.H.O.N), en el factor de Economía Poblacional tenemos en un índice de afectación positivo del 25% que disminuye gastos a la compra del cilindro de GLP y la de mayor índice positivo es la conducción de biogás en un 30% que abastecerá las necesidades de la Finca Isabel.

#### 3.3.1.2 *Análisis ambiental del proyecto.*

La construcción del Biodigestor Chino construido en la finca “Isabel”, sector Unión y Patria, Parroquia Taracoa, Provincia de Orellana tiene una afectación general de impactos al ambiente poco significativos, debido que se intervino 50 m<sup>2</sup> de suelo, donde se realizó la limpieza del área y se excavó un hoyo para la construcción del biodigestor, para ello se tuvo que remover microflora y microfauna.

Además una influencia indirecta inferior a 100 m de radio. Se cuantificaron 42 impactos ambientales positivos y 5 afectaciones negativas, durante las fases de construcción y operación del biodigestor.

Los factores ambientales afectados de manera negativa son: el suelo con el 4%, agua 3%, microfauna y microflora 3 y 1% respectivamente, obteniendo una valoración poco significativa de afectación a los recursos.

Entre las afectaciones positivas se destaca la conducción de biogás con un 30%, y la descarga de biol en un 8% que servirá como fertilizante dando una mejora al suelo.

Las especies de fauna afectadas directamente fueron animales domésticos y las especies de flora se identificaron: hierba mala, marandú, hierba dalis, piña, caña, toquilla, achote, guayabo, limón, laurel, chonta duro.

### 3.3.2 Comparación del estiércol y biol

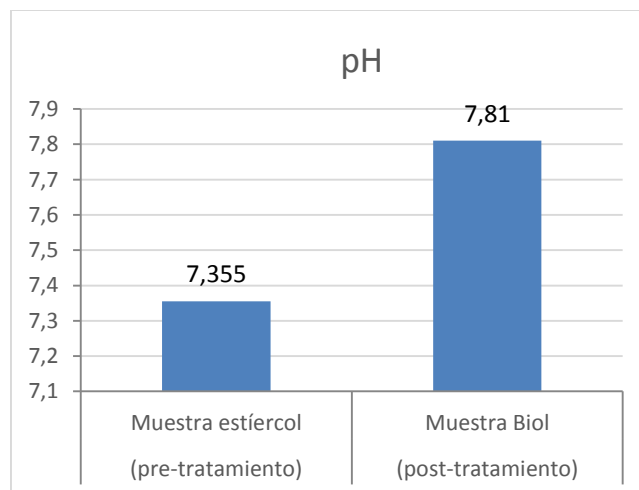
#### - Potencial Hidrógeno

Los diferentes grupos bacterianos presentes en el proceso de digestión anaeróbica presentan unos niveles de actividad óptimos en torno a la neutralidad. El óptimo es entre 5.5 y 6.5 para acidogénicos y entre 7.8 y 8.2 para metanogénicos (Varnero, 2011, pp. 43).

**Tabla 44 – 3:** Determinación del pH Pre y Post tratamiento

Muestra estiércol	pH	Muestra Biol	pH
(pre-tratamiento)	7,35	(post-tratamiento)	7,81
	7,37		
<b>Promedio</b>	7,36		

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.



**Gráfico 14 – 3:** Comparación de potencial hidrógeno en la muestra de estiércol y biol.

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.

El resultado que se obtuvo en los análisis del estiércol en promedio es de 7,36 un valor neutro lo cual esta óptimo para la fermentación anaeróbica en el biodigestor, luego de 25 días de

retención se obtuvo el biol con un pH de 7,81 en lo que podemos constatar un aumento, pero sigue siendo óptimo para el crecimiento de bacterias metanogénicas.

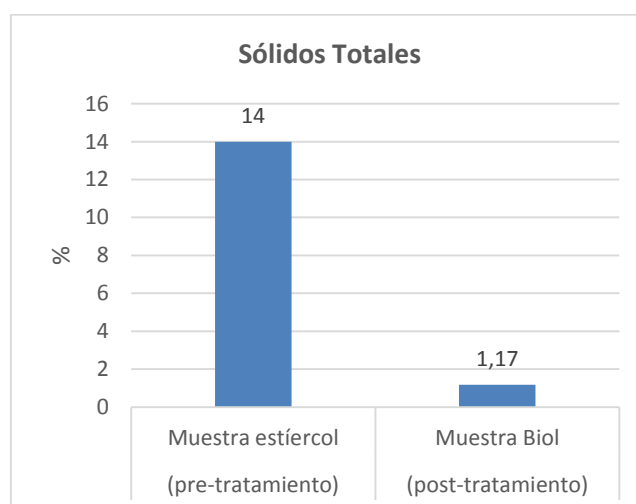
- **Sólidos totales**

El estiércol fresco presenta en un alrededor de un 17% de sólidos totales, el rango puede variar de 13 al 20 %, los sólidos totales representan el peso del estiércol seco. (Herrero, 2008, pp. 42)

**Tabla 45 – 3:** Determinación de sólidos totales pre y post tratamiento

Muestra estiércol	Sólidos Totales	Muestra Biol	Sólidos Totales
(pre-tratamiento)	14,68	(post-tratamiento)	1,17
	13,32		
<b>Promedio</b>	14	<b>Promedio</b>	1,17

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.



**Gráfico 15 – 3:** Comparación de Sólidos Totales pre y post tratamiento

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.

Los análisis arrojaron un valor promedio de 14% de ST, para la producción de biogás se necesita de la presencia de los mismos, porque es el alimento de las poblaciones microbianas que producen el gas metano, y al transcurrir los 25 días de retención se registró un valor de 1,17% que indica que los microorganismos han degradado en un 91% de los sólidos totales, valor que se encuentra mayor al 40% de remoción según (Karim et al 2005).



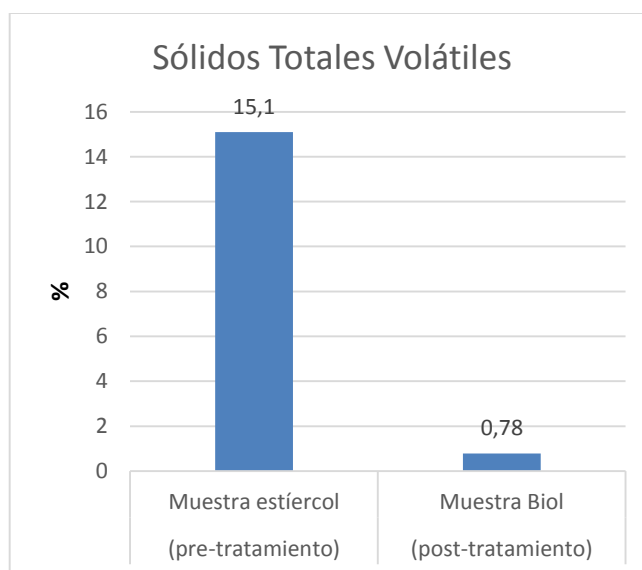
- **Sólidos Totales Volátiles**

Los SV contienen componentes orgánicos, los que teóricamente deben ser convertidos a metano (Varnero 2011).

**Tabla 46 – 3:** Determinación de sólidos totales volátiles pre y post tratamiento

Muestra estiércol	Sólidos Totales Volátiles	Muestra Biol	Sólidos Totales Volátiles
(pre-tratamiento)	14,99	(post-tratamiento)	0,78
	15,21		
<b>Promedio</b>	15,1	<b>Promedio</b>	0,78

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.



**Gráfico 16 – 3:** Comparación de Sólidos Totales Volátiles pre y post tratamiento

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.

Los sólidos volátiles son los que pueden ser transformados a biogás, que al inicio presenta un valor promedio de 15,1 % y después de los 25 días de retención llegar a un 0,78 % en el post tratamiento, es decir sufrió una remoción del 95% valor que se encuentra mayor al 63% de remoción según referencia de Karim et al (2005).

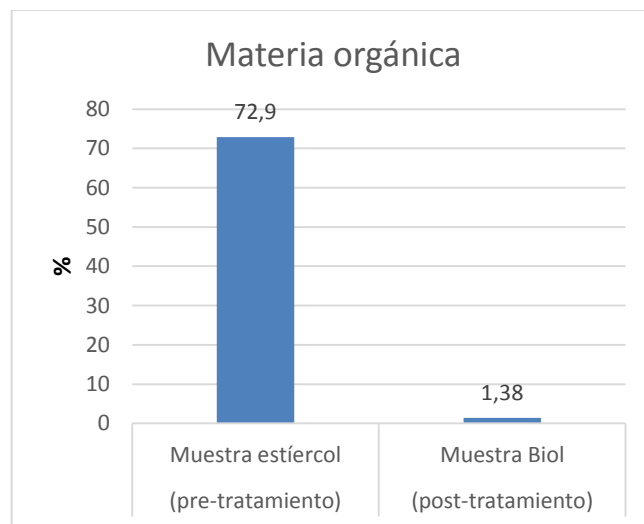
- **Materia orgánica**

Para la producción de biogás se lo considera un factor importante, debido a que es el alimento fundamental de las bacterias dentro del biodigestor.

**Tabla 47 - 3:** Determinación de materia orgánica pre y post tratamiento

Muestra estiércol	Materia Orgánica	Muestra Biol	Materia Orgánica
(pre-tratamiento)	69,82	(post-tratamiento)	1,38
	75,98		
<b>Promedio</b>	72,9	<b>Promedio</b>	1,38

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.



**Gráfico 17 – 3:** Comparación de Materia Orgánica en pre y post tratamiento

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.

El resultado que se obtuvo en el pre tratamiento de la materia orgánica dió un promedio de 72,9% y en pos tratamiento del mismo se registra un valor de 1,38% lo que nos indica que fue degradado por los microorganismos en un 98.11%.

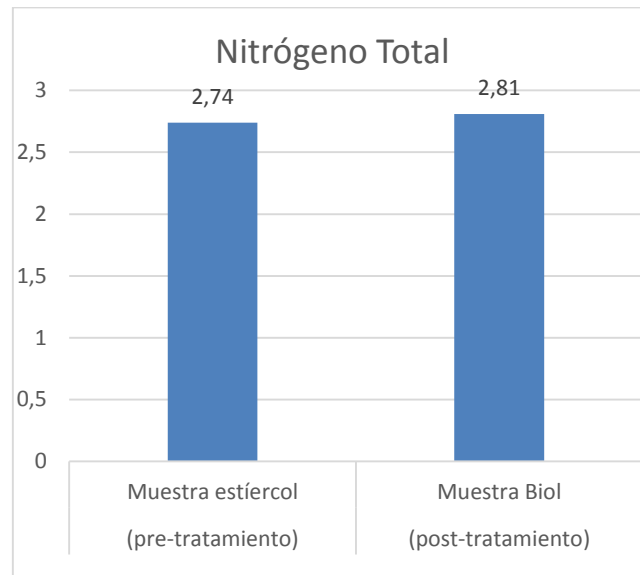
- **Nitrógeno total**

Parte del nitrógeno que se encuentra en el estiércol en forma de moléculas se convierte a moléculas más simples como en amonio, este se encontrara presentes en el biol y será mejor aprovechado por las plantas.

**Tabla 48 – 3:** Determinación de Nitrógeno total pre y post tratamiento

Muestra estiércol	Nitrógeno Total	Muestra Biol	Nitrógeno Total
(pre-tratamiento)	3,49	(post-tratamiento)	2,81
	1,98		
<b>Promedio</b>	2,735	<b>Promedio</b>	2,81

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.



**Gráfico 18 – 3:** Comparación de Nitrógeno Total en pre y posttratamiento.

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.

El Nitrógeno en su pre tratamiento presenta un valor promedio en 2,74 % y en un post tratamiento tenemos un valor de 2,81% donde presento un incremento de este elemento que en consecuencia a la digestión anaeróbica, las proteínas (nitrógeno orgánico), aminoácidos y urea presentes en la materia prima son transformados en parte a nitrógeno total de acuerdo a Sánchez et al (2000).

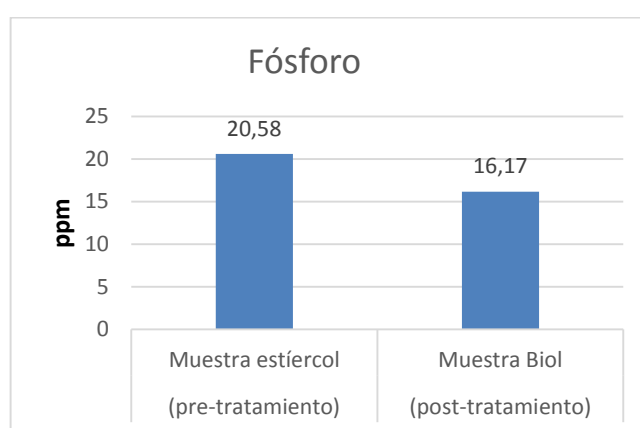
El fosforo en el pre tratamiento presenta un valor promedio de 20,58% y en el post tratamiento un valor de 16,17% lo que hubo una disminución de 21,43% esto sucede al ser degradados por los microorganismos que necesita de macroelementos para el proceso de fermentación anaeróbica, de acuerdo a Sánchez et al (2000).

- **Fósforo**

**Tabla 49 – 3:** Determinación del fósforo a pre y post tratamiento

Muestra estiércol	Fósforo	Muestra Biol	Fósforo
(pre-tratamiento)	21,47	(post-tratamiento)	16,17
	19,69		
<b>Promedio</b>	20,58	<b>Promedio</b>	16,17

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.



**Gráfico 19 – 3:** Comparación del Fósforo en pre y post tratamiento

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.

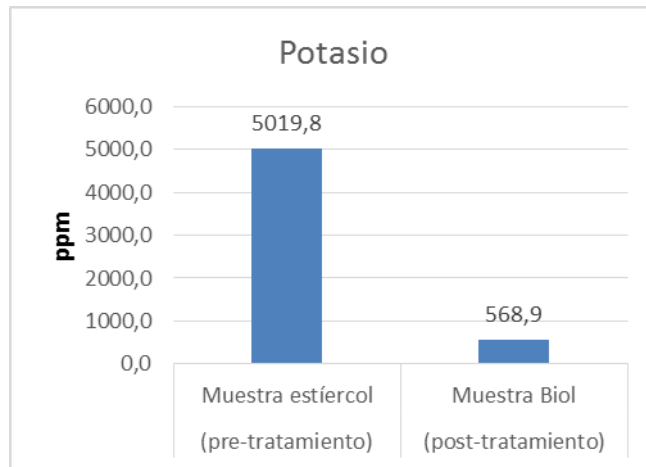
El fósforo en el pre tratamiento presenta un valor promedio de 20,58 ppm y en el post tratamiento un valor de 16,17 ppm lo que hubo una disminución de 21,43% esto sucede al ser degradados por los microorganismos que necesita de macroelementos para el proceso de fermentación anaeróbica, de acuerdo a Sánchez et al (2000).

- **Potasio**

**Tabla 50 – 3:** Determinación del Potasio pre y post tratamiento

Muestra estiércol	Potasio	Muestra Biol	Potasio
(pre-tratamiento)	5061,1	(post-tratamiento)	568,9
	4978,4		
<b>Promedio</b>	5019,8	<b>Promedio</b>	568,9

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.



**Gráfico 20 – 3:** Comparación de potasio pre y post tratamiento.

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.

El potasio al ser analizado en la muestra de estiércol presento un promedio de 5019,8 ppm y en la muestra de biol un 568,9 ppm, reduciéndose en un 88,67% esto se debe a que los microorganismos consumen este nutriente en el proceso de la fermentación anaeróbica, según Sánchez et al (2000).

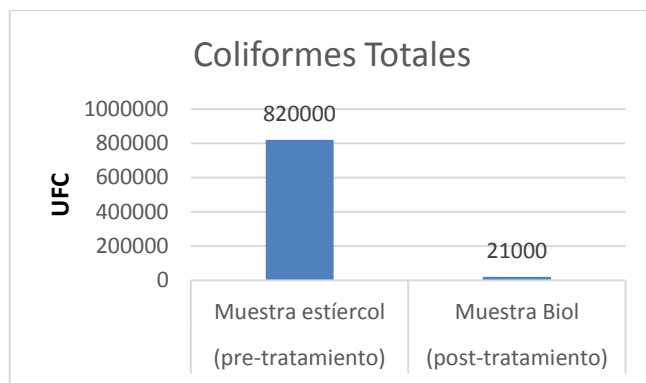
- **Coliformes totales**

Las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo del biodigestor (Díaz, 1977).

**Tabla 51 – 3:** Determinación de coliformes totales pre y post tratamiento

Muestra estiércol	Coliformes totales	Muestra Biol	Coliformes totales
(pre-tratamiento)	$8,1 \cdot 10^5$	(post-tratamiento)	$2,1 \cdot 10^4$
	$8,3 \cdot 10^5$		
<b>Promedio</b>	$8,2 \cdot 10^5$	<b>Promedio</b>	$2,1 \cdot 10^4$

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.



**Gráfico 21 – 3:** Comparación de coliformes totales pre y post tratamiento.

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.

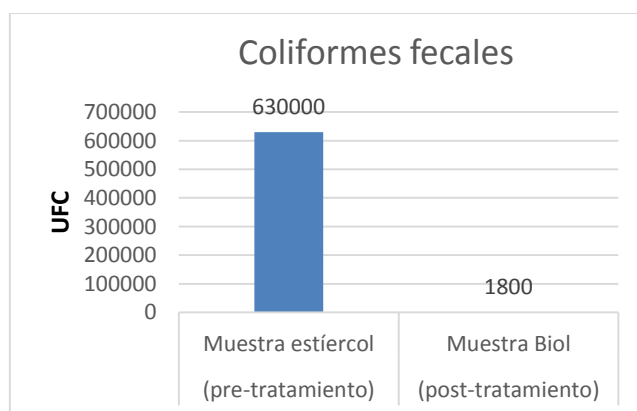
La presencia de coliformes totales en el pre tratamiento nos dio un valor promedio de  $8,2 \cdot 10^5$  UFC y al transcurrir 25 días en el post tratamiento nos dio un resultado de  $2,1 \cdot 10^4$  UFC, presentando una disminución en un 97,5% debido a la digestión anaeróbica, significativo para el biol porque pueda ser aprovechado para las plantas.

- **Coliformes fecales**

**Tabla 52 - 3:** Determinación del coliformes Fecales pre y post tratamiento.

Muestra estiércol	Coliformes fecales	Muestra Biol	Coliformes fecales
(pre-tratamiento)	$6,2 \cdot 10^5$	(post-tratamiento)	$1,8 \cdot 10^3$
	$6,4 \cdot 10^5$		
<b>Promedio</b>	$6,3 \cdot 10^5$	<b>Promedio</b>	$1,8 \cdot 10^3$

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.



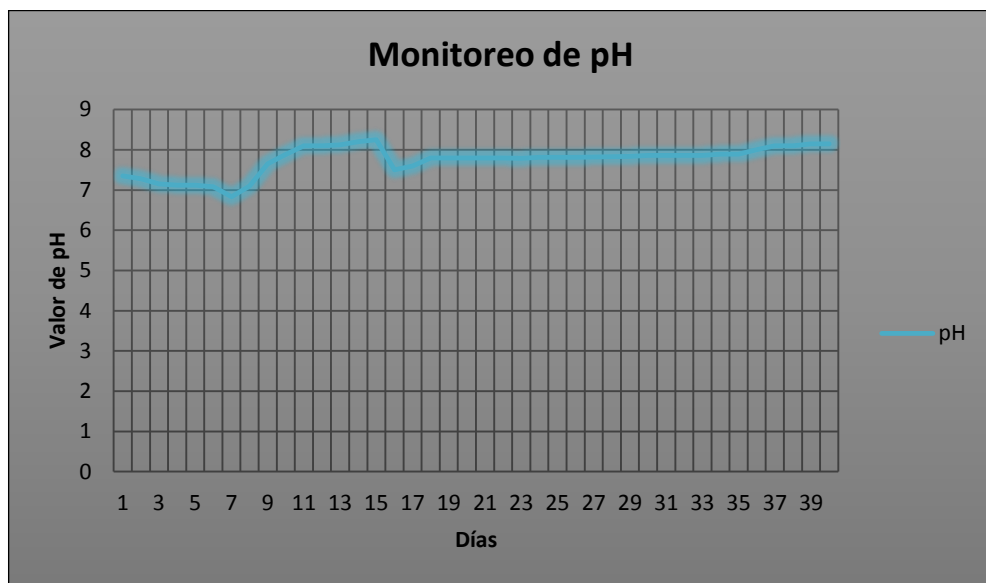
**Gráfico 22 – 3:** Comparación de coliformes fecales pre y post tratamiento.

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.

Se observa en el grafico que los coliformes fecales en el pre tratamiento tienen un valor promedio de  $6,3 \cdot 10^5$  UFC y en post tratamiento un resultado de  $1,8 \cdot 10^3$  UFC, presentando una disminución en un 99 % debido a la digestión anaeróbica dentro del biodigestor.

### 3.3.3 *Análisis del pH dentro del biodigestor.*

En el proceso de producción del pH se obtuvo un valor promedio de 7.75 (ver anexo K).



**Gráfico 23 – 3: Monitoreo de pH**

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.

El óptimo es entre 5.5 y 6.5 para acidogénicos y entre 7.8 y 8.2 para metanogénicos. El pH óptimo para cultivos mixtos se encuentra en el rango entre 6.8 y 7.4, siendo el pH neutro el ideal.

En lapso de los 40 días que se realizó el monitoreo de pH, este registró un promedio de 7.75 como se puede observar en la gráfica, se introdujo el sustrato con pH de 7.35 mismo que al día 7 bajo a un valor de 6.5 lo que se explica que se encuentra en fase acidogénica debido a que presenta ácidos orgánico y por las cantidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que se emana a descomponerse el sustrato.

En el día 15, se registró un pH 8.25 indicando un incremento de pH favorable para el proceso de producción lo cual nos indicó que está en una fase metanogénica, al día 16 se introdujo al

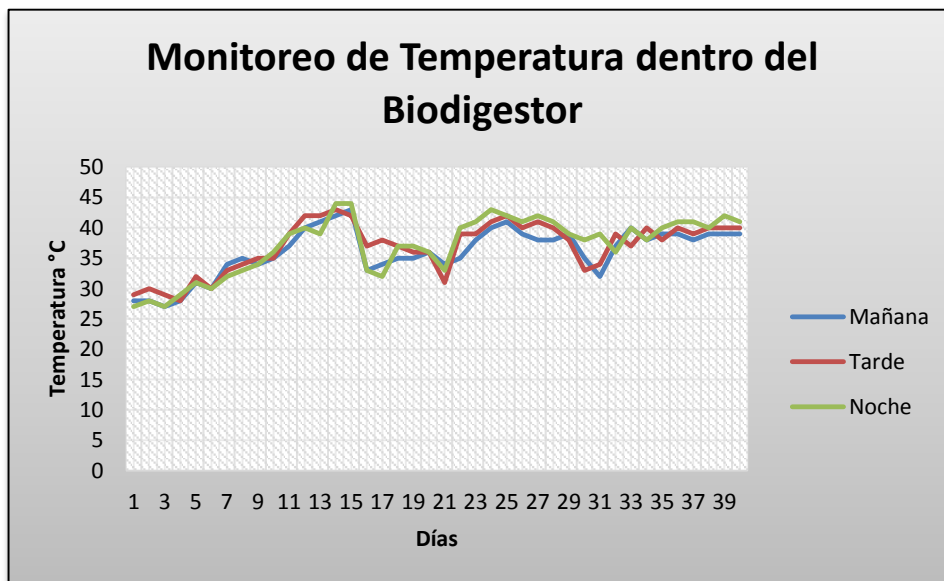
biodigestor tipo Chino la primera carga de estiércol + agua + residuos orgánicos en el cual el pH se descompensa en un 7.6 el cual nos indica que amortigua con normalidad la fase metanogénica, de este día en adelante el pH va aumentando conforme pasa los días.

Después del día 24 al 40 se observó que el pH se mantiene en un rango de 7.81 a 8.16 lo que indica satisfactoriamente que cumple con la etapa acidogénica que va de 7.8 a 8.2 según (Varnero, 2011, pp.43).

### 3.3.4 *Análisis de temperatura*

La medición de la temperatura se la realizó en horario de la mañana (8:00), tarde (13:00) y noche (18:00), durante los 40 días. Concluido el proceso de producción, la temperatura promedio dentro biodigestor fue de 36.7 °C (ver anexo L) y la temperatura promedio ambiente de 30.5 °C (ver anexo J).

#### 3.3.4.1 *Temperatura dentro del Biodigestor*



**Gráfico 24 – 3:** Monitoreo de Temperatura dentro del Biodigestor

**Realizado por:** SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.

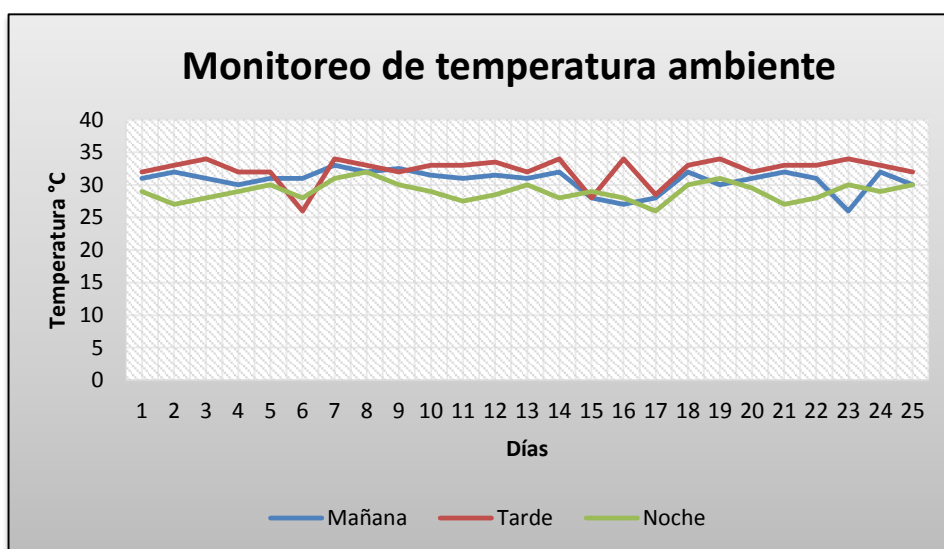
La temperatura dentro del biodigestor como se puede observar en la gráfica va ascendiendo desde el día 1 hasta el día 14 esto es debido a que se introdujo el sustrato rumen + agua durante este tiempo.



A partir del día 16 se puede observar que la temperatura tiende a disminuir hasta el día 19 esto es debido a que se introdujo la segunda carga de estiércol + agua + residuos orgánicos en la cual varía la temperatura, debido a que el proceso de fermentación vuelve nuevamente a acelerarse tratando de descomponerse las nuevas cargas que se realizaron continuamente manteniéndose una temperatura promedio a 36.7 °C, que es adecuada para la actividad biológica.

Los microorganismos anaeróbicos que trabajan con temperaturas entre 25 y 45°C son los mesófilos. La producción de biogás va en función de la temperatura, como se puede apreciar en (Figura 6 - 1), donde establece que pasado de los 35 °C está en un nivel optimista para la obtención de biogás. (Varnero, 2011, pp.40)

### 3.3.4.2 *Temperatura ambiente*



**Gráfico 25 – 3:** Monitoreo de temperatura ambiente.

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.

Mediante la gráfica se pudo observar que la temperatura se encuentra en rangos estables de acuerdo a las condiciones climatológicas de la provincia de Orellana, aportando de manera considerable para fermentación dentro del biodigestor.

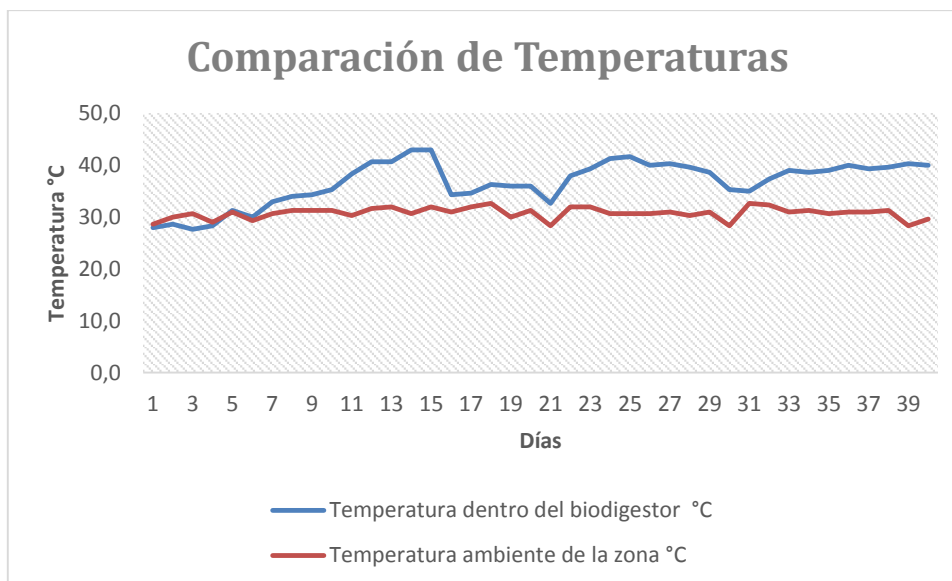
### 3.3.4.3 *Comparación de la temperatura dentro del biodigestor y temperatura ambiente.*

Para realizar esta comparación tomamos datos solo de los días de retención en la cual tenemos los siguientes:

**Tabla 53 – 3:** Promedio de temperatura dentro y fuera del biodigestor.

Tiempo retención Días	Temperatura dentro del biodigestor °C	Temperatura ambiente °C
1	28,0	28,7
2	28,7	30,0
3	27,7	30,7
4	28,3	29,0
5	31,3	31,0
6	30,0	29,3
7	33,0	30,7
8	34,0	31,3
9	34,3	31,3
10	35,3	31,3
11	38,3	30,3
12	40,7	31,7
13	40,7	32,0
14	43,0	30,7
15	43,0	32,0
16	34,3	31,0
17	34,7	32,0
18	36,3	32,7
19	36,0	30,0
20	36,0	31,3
21	32,7	28,3
22	38,0	32,0
23	39,3	32,0
24	41,3	30,7
25	41,7	30,7
26	40,0	30,7
27	40,3	31,0
28	39,7	30,3
29	38,7	31,0
30	35,3	28,3
31	35,0	32,7
32	37,3	32,3
33	39,0	31,0
34	38,7	31,3
35	39,0	30,7
36	40,0	31,0
37	39,3	31,0
38	39,7	31,3
39	40,3	28,3
40	40,0	29,7

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.



**Gráfico 26 - 3:** Comparación de temperatura promedio dentro y fuera del biodigestor.

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.

Mediante esta comparación de temperatura tanto dentro del biodigestor como de la temperatura ambiente, se consideró que existe relativamente el ascenso de temperatura al interior del biodigestor debido a que los microorganismos mesofílicos realizan su función.

### 3.3.5 Registro de presión en el biodigestor

La presión en el biodigestor va ascendiendo en el transcurso del tiempo (ver anexo E).

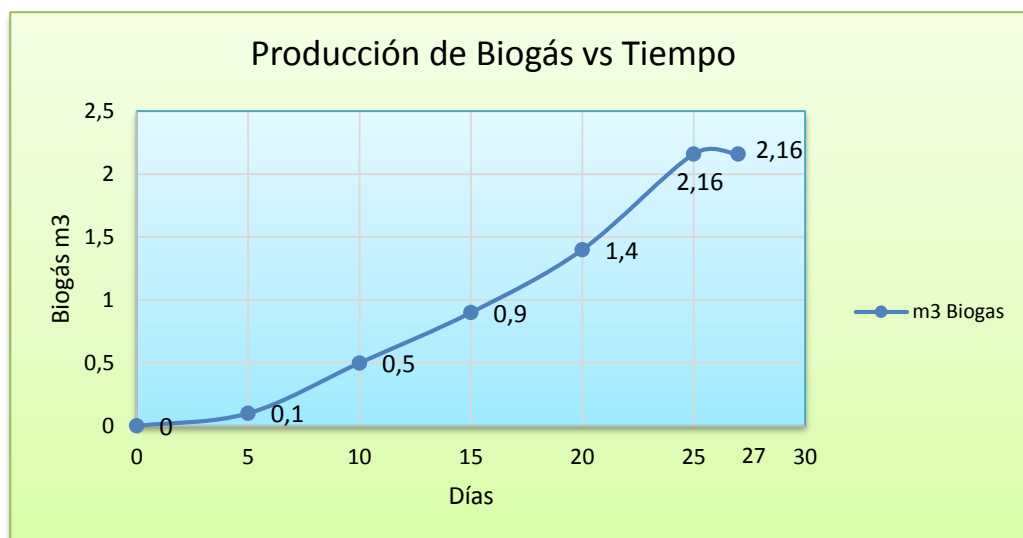
## 3.4 Discusión de resultados.

### 3.4.1 Biogás.

**Tabla 54 – 3:** Resultados de producción de biogás.

Medición	Tiempo (Días)	Cantidad de biogás m <sup>3</sup>
1	5	0,2
2	10	0,5
3	15	0,9
4	20	1,4
5	25	2,16
6	27	2,16

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.



**Gráfico 27 - 3:** Producción de Biogás en la Finca Isabel

Realizado por: SALAZAR, José; ARIAS, Janeth, 2016.

Como se observa en la gráfica, la producción de biogás en el biodigestor de la finca “Isabel”, va creciendo en forma ascendente, es decir la producción de biogás mantiene una relación directamente proporcional al tiempo. Además se determinó que la producción de biogás generada por el biodigestor fue inferior en  $0.04\text{m}^3$  con respecto a lo requerido por la familia que es de  $2.2\text{m}^3$ .

El resultado de biogás obtenido en la finca Isabel fué de  $2.16\text{ m}^3$  al día, en base a los cálculos realizados se estimó que 125 kg de materia prima podrían producir  $4\text{ m}^3$  de biogás, se tiene la eficiencia del biodigestor chino de 54 % comparando con otros estudios realizados en la tesis de “Diseño y construcción de un biodigestor chino anaerobio a partir del estiércol vacuno en la finca “los 5 hermanos” de la parroquia el Dorado” de Gordon, J. y Samaniego, J. se puede apreciar que este tipo de biodigestor tubo una eficiencia de 88 %. Pero el biodigestor construido en la Finca “Isabel”, remplace un 98% al GLP.

Se pudo apreciar que a mayor (T.R) aumentaba la cantidad de biogás y por tal motivo una mayor presión, lo cual llevó a utilizar el gasómetro para su almacenamiento.

También se determinó el poder calorífico del biogás generado por el biodigestor, para lo cual se puso a hervir 1 litro de agua en una cocineta que utilizó GLP, y la misma cantidad sobre una hornilla a la que llegaba el biogás por un tubo de acero inoxidable. El litro de agua se tardó en hervir 12 minutos con la utilización de GLP, y utilizando el biogás se demoró 17 minutos.

Lo que determina que el poder calorífico del biogás generado por el biodigestor es inferior al de un GLP.

Comparando con un estudio realizados en la tesis de “Diseño y construcción de un biodigestor chino anaerobio a partir del estiércol vacuno en la finca “los 5 hermanos” de la parroquia el Dorado” de Gordon, J. y Samaniego, J. donde determinan que 500ml de agua se tardó en hervir 10 minutos con la utilización de GLP y utilizando el biogás se demoró 15 minutos. Lo cual nos determina que el poder calorífico del biogás generado por el biodigestor de la Finca “Isabel” es mayor a lo que genera el biodigestor de la Finca “Los 5 Hermanos”.

### 3.4.2 *Quema del biogás*

Esta prueba se realizó a los 25 días que es el tiempo de retención para la producción del biogás, la misma que se llevó efecto para conocer la coloración de la llama, caracterizar su poder calorífico y observar la longitud de la llama.

Se observó la llama con una coloración azul en su base y a lo largo un color amarillo intenso.

Comparando con un estudio realizado, artículo “El biodigestor” por (Elizondo, D. 2005, p. 3), donde determinan que la llama en el quemador es de color azul, lo que indica que se está dando una buena combustión.

### 3.4.3 *Método para evaluar la inversión con VAN Y TIR*

GLP producido al mes:

$$2,16 \frac{m^3}{día} * \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} * \frac{0,45 \text{ Kg GLP}}{1 m^3 \text{ biogás}} * \frac{1 \text{ GLP}}{15 \text{ Kg GLP}} = 1,944 \text{ GLP} = 2 \frac{\text{GLP}}{\text{mes}}$$

1 GLP = 6,50 USD debido a la distancia para su compra.

USD de ahorro al sustituir al GLP con el biogás producido:

$$USD = 2 \frac{\text{GLP}}{\text{mes}} * \frac{6,5 \$}{1 \text{ GLP}} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = 156 \frac{\$}{\text{año}}$$

$$USD = 156 \$ \text{ Al año } \times 12 \text{ años tenemos}$$

$$USD = 1872 \$ \text{ de ahorro}$$

Los costos para la construcción del biodigestor son de 1004,79 USD.

## Cálculo del VAN

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+r)^t} - I_0$$

Dónde:

VAN = Valor actual neto

$I_0$  = Inversión inicial

Tasa de interés = 10%

$F_t$  = Flujo futuros

$r$  = Tasa de retorno o descuento

$n$  = Número de períodos considerado.

VAN > 0 Se acepta el proyecto

VAN < 0 Se rechaza el proyecto

VAN = 0 El proyecto es analizado para aceptarlo o rechazarlo

$I_0 = 1004,79$  \$

Ahorro = 1872 en 12 años

$$VAN = \left( \frac{156 \$}{(1+0,1)^1} + \frac{156 \$}{(1+0,1)^2} + \frac{156 \$}{(1+0,1)^3} + \frac{156 \$}{(1+0,1)^4} + \frac{156 \$}{(1+0,1)^5} + \frac{156 \$}{(1+0,1)^6} + \frac{156 \$}{(1+0,1)^7} + \frac{156 \$}{(1+0,1)^8} + \frac{156 \$}{(1+0,1)^9} + \frac{156 \$}{(1+0,1)^{10}} + \frac{156 \$}{(1+0,1)^{11}} + \frac{156 \$}{(1+0,1)^{12}} \right) - (1004,79 \$)$$

$$VAN = (141,82 \$ + 128,93 \$ + 117,29 \$ + 106,85 + 96,89 + 88,14 + 80,00 + 72,90 + 66,10 + 60,235 + 54,74 + 49,68) - (1004,79 \$)$$

VAN = 58,78 \$ Se acepta el proyecto

## Cálculo del TIR

Dónde:

TIR = Tasa interna de retorno

TIR =  $r$

TMA = 10%

Si la TIR  $\geq$  TMA el proyecto se acepta

Si la TIR < TMA el proyecto se rechaza

$$VAN = \sum_{n=1}^{12} \frac{Vt}{(1+k)^t} - I_0 = 0$$

$$VAN = \frac{156 \$}{(1+r)^1} + \frac{156 \$}{(1+r)^2} + \frac{156 \$}{(1+r)^3} + \frac{1156 \$}{(1+r)^4} + \frac{156 \$}{(1+r)^5} + \frac{1156 \$}{(1+r)^6} + \frac{1156 \$}{(1+r)^7} + \frac{156 \$}{(1+r)^8} + \frac{1156 \$}{(1+r)^9} \\ + + \frac{1156 \$}{(1+r)^{10}} + \frac{156 \$}{(1+r)^{11}} + \frac{1156 \$}{(1+r)^{12}} - (1004,79 \$)$$

$$r = 0.11167$$

$$TIR = 11.17 \%$$

$$TIR \geq TMA$$

11.17 %  $\geq$  10 % el proyecto se acepta

## CONCLUSIONES

- En la finca Isabel de la Parroquia Taracoa se obtiene un promedio de 123 kg/día de estiércol, los resultados de los análisis físicos químicos y microbiológicos de la materia prima son: Sólidos Totales 14%; sólidos totales volátiles 15,1 %; materia orgánica 72,9 %; carbono orgánico 46.45%; nitrógeno total 2,74%; fosforo 20,58%; humedad 85,11%; potasio 5019,7 mg/kg; zinc 60,55 mg/kg; cobre 7,72 mg/kg; hierro 267,62 mg/kg; recuento de Microorganismos  $69,4 \times 10^7$  colonias/gr; estos valores son apropiados para la producción de biogás.
- Las principales variables que se consideró en el proceso de fermentación para el diseño adecuado del biodigestor tipo “Chino” fueron la temperatura ambiente del lugar en un promedio de 30,4 °C, la cantidad de materia prima disponible de 125 kg/día, la relación C/N 17:1, un pH 7.35 y un tiempo de retención de 25 días.
- El Biodigestor tipo “Chino” se lo construyó de hormigón armado en la finca “Isabel”, el cual consta de las siguientes dimensiones: altura total 3,32 m; diámetro 2,24 m, la cámara de biodigestión tiene un volumen de 8,82 m<sup>3</sup>, el volumen de la cúpula superior es de 0,935 m<sup>3</sup> y de la cúpula inferior es 0,563 m<sup>3</sup>, en consecuencia tiene un volumen total de 10,318 m<sup>3</sup>.
- El biogás producido por el biodigestor tipo chino durante el tiempo de retención de 25 días es de 2,16 m<sup>3</sup>, con un poder calorífico menor comparado con el GLP, se caracterizó una llama de coloración azul en su base y a lo largo un color amarillo intenso.



## RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer la carga diaria de materia prima libre de objetos extraños con agua no potabilizada para evitar la inhibición en el proceso de la fermentación para la obtención de biogás.
- Se debe hacer un cerramiento alrededor del biodigestor que impide el ingreso de toda clase de animales que pueden destruir el biodigestor o romper el gasómetro, también es útil para evitar la caída de personas especialmente niños, en las cajas de entrada y salida
- Adicionalmente para el gasómetro se debe construir un techo con el fin de prolongar la vida útil del plástico al disminuir el impacto de los rayos solares, además este techo protegerá de la caída de objetos o ramas que puedan romper el plástico y alrededor de la construcción se debe realizar una zanga para la conducción de aguas lluvias.
- En fincas sin establos o corrales, se debe realizar centros de acopio por lo menos uno en cada potrero, con la finalidad de almacenar el estiércol.
- Se recomienda utilizar el biol una vez que hayan transcurrido 25 días desde la segunda carga del biodigestor , ya que si lo utiliza antes de este tiempo el efecto en el suelo no sería el mismo porque podría encontrarse materia orgánica aún en descomposición por lo que se considera reutilizar el biol en la mezcla con materia orgánica.
- Se recomienda al Sr. José Salazar difundir en su sector la utilización de biodigestores para generar biogás como alternativa de energía limpia y amigable con el ambiente, además de ser una metodología adecuada para el tratamiento de residuos sólidos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **AGUILAR, F.X. & BOTERO, R.** *Los beneficios económicos totales de la producción de biogás utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo.* Guácimo-Costa Rica: Tierra Tropical, 2006, pp.15-25.
2. **ALCAYAGA, S.; GLARÍA, J.; GUERRERO, L.** *Regulaciones de temperatura y potencial de hidrógeno en un biodigestor anaerobio de lecho de lodo granular expandida* (Tesis). (Ingeniería Agrícola) [En línea]. Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaiso-Chile. 1999. p. 11  
[Consulta: 29 diciembre 2015]  
Disponible en: <http://profesores.elo.utfsm.cl/~jgb/ALCAYAGA1c.pdf> q1
3. **ÁLVAREZ, José M.; CANETA, Luciano; MOYANO, Carlos.** *Biomasa y biogás.* [En línea]. Argentina: Máquinas Térmicas II, Universidad Nacional del Nordeste. p. 15  
[Consulta: 14 diciembre 2015].  
Disponible en: <http://ing.unne.edu.ar/pub/biomasa.pdf>
4. **ARUJO, Omar. & VERGARA, Juan.** *Propiedades físicas y químicas del Rumen* [En línea]. Cusco-Perú: Reunión ALPA, 2007. pp. 133  
[Consulta: 29 noviembre 2015]  
Disponible en: <https://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/53078/1/1a07044.pdf>
5. **BENZING, A.** *Agricultura Orgánica fundamentos para la región andina.* Berlín-Alemania: Neckar, 2001. pp. 256-265.
6. **BOTERO B., R.; PRESTON, T.R.** *Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización* (Tesis). (Ingeniero Agrónomo). Universidad EARTH, Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda. San José-Costa Rica. 1987. p. 20.
7. **CORACE, J.J.; AEBERHARD, M.R.; MARTINA, P.A.; VENTÍN, A.M.; GARCÍA S., E.** *Comparación del tiempo de reacción en el proceso de biodigestión según el tamaño de las partículas de aserrín utilizado como materia orgánica* (Tesis). (Maestría). Universidad Nacional del Nordeste, Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Chaco-Argentina. 2006. p. 4.

- 8. ECUADOR, ASAMBLEA CONSTITUYENTE DEL ECUADOR; CONSTITUCIÓN DEL ECUADOR.** *Sección séptima: Biosfera, ecología urbana y energías alternativas.* Quito- Ecuador. 2011. p. 182  
[Consulta: 14 noviembre 2015]  
Disponible en:  
<http://guiaosc.org/wpcontent/uploads/2013/06/ConstitucionEcuador2008.pdf>
- 9. ELIZONDO, Dagoberto.** *El biodigestor* [En línea]. Costa Rica: INTA, 2005.  
[Consulta: 17 diciembre 2015]. pp  
Disponible en:  
[http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_animal/brochure-biodigestor.pdf](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_animal/brochure-biodigestor.pdf)
- 10. Informe complementario sobre el estudio de soluciones viables para el aprovechamiento del biogás en extremadura.** [En línea]. Portugal–España: Altercexa, 2010.  
[Consulta: 18 noviembre 2015].  
Disponible en:  
<http://www.altercexa.eu/images/archivos/Areas%20Tematicas/Biogas/Estudio%20BIOGAS.pdf>
- 11. ITALIA,** Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades.* Roma –Italia: Grupo de Ventas y comercialización, 2008, p. 162
- 12. GÓMEZ, J. & VINIEGRA, G.** *Uso de estiércol bovino digerido anaeróticamente como fertilizante para vegetales.* Durango-México: Producción Animal Tropical, 1979, pp. 25-29.
- 13. GTZ-CVC-OEKOTOP.** *Difusión de la tecnología del biogás en Colombia.* Cali-Colombia: Documentación de Proyectos, 1987. p. 12.

- 14. GUEVARA VERA, Antonio,** *Fundamentos Básicos para el diseño de Biodigestores Anaeróbicos Rurales, Producción de gas y Saneamiento de efluentes* [En línea] (Tesis). (Maestría) Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria, Ciencias del Ambiente, Lima-Perú, 1996. pp. 15-21.  
[Consulta: 1 noviembre 2015].  
Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/031042/031042.pdf>
- 15.** *Guía Metodológica para la Evaluación de Aspectos e Impactos Ambientales* [En línea]. Bogotá-Colombia: Bogotá Humana, 2013. p. 20.  
[Consulta: 21 octubre 2015].  
Disponible en:  
[http://intranetsdis.integracionsocial.gov.co/anexos/documentos/3.4\\_proc\\_adminis\\_gestion\\_bienes\\_servicios/\(08052013\)guia\\_final.pdf](http://intranetsdis.integracionsocial.gov.co/anexos/documentos/3.4_proc_adminis_gestion_bienes_servicios/(08052013)guia_final.pdf)
- 16. HERRERO, Jaime.** *Biodigestores Familiares., Guía de Diseño y manual de Instalación, Biodigestores de Polietileno tubular de bajo costo para trópico, valle y altiplano* [En línea]. La Paz-Bolivia: Cooperación Técnica Alemana, 2008.  
[Consulta: 24 noviembre 2015]  
Disponible en: <http://www.bivica.org/upload/biodigestores-familiares.pdf>
- 17. HILBERT, J.** *Manual para la producción de biogás.* Castelar-Argentina: INTA, 1993, p. 54
- 18. HUERGA, I.; BUTTI M.; VENTURELLI, L.** *Biodigestores de Pequeña Escala un Análisis Práctico sobre su Factibilidad* [En línea]. Santa Fe-Colombia: INTA, 2014.  
[Consulta: 2 noviembre 2015]  
Disponible en: <http://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/26-Biodigestor-Familiar.pdf>
- 19. JIMENEZ, E.** *Aplicación de biol y fertilización química en la rehabilitación de praderas, “Aloag-Pichincha”* [En línea] (Tesis) (Ingeniero Agrónomo). Escuela Politécnica Del Ejército, Carrera de Ciencias Agropecuarias I. A. S. A. Sangolquí-Quito, 2011. pp. 5.  
[Consulta: 13 noviembre 2015]  
Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4664/1/T-ESPE-IASA%20I-004573.pdf>

- 20. LARA GUILCAPI, Edwin Sebastián., & HIDALGO CHIMBORAZO, María Belén.** *Diseño de un Biorreactor y conducción de biogás generado por las excretas de ganado vacuno, estación Tunshi-Espoch.* Riobamba- Chimborazo [En línea] (Tesis). (Ingeniería en Biotecnología Ambiental). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2011. pp. 44-112.  
[Consulta: 14 noviembre 2015]  
Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/1652/1/236T0056.pdf>
- 21. LUTZ, P.** *Producción de biogás a través de fermentación seca de biomasa: La solución para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos urbanos e industriales.* Documento Técnico. Landshut-Alemania: BEKON Energy Technologies GmbH & Co. KG., p. 9
- 22. Madero Agustín, Nader Victorio, Lernoud Delfina y Lanselotto Yamila.** *Energías Alternativas* [blog]. México: octubre, 2011.  
[Consulta: 22 octubre 2015].  
Disponible en: <http://cjs-energiasalternativas.blogspot.com/p/biocombustibles.html>
- 23. MÁRQUEZ K, M.F.** *Estudio del tratamiento de lodos provenientes de pisciculturas mediante un sistema de digestión anaerobio.* (Trabajo de Título) (Licenciado en Ciencias de la Ingeniería Ambiental). Universidad Católica de Temuco, Escuela de Ingeniería ambiental .Temuco-Chile. 2005. pp. 24-29
- 24. MCGARRY, M. & STAINFORTH, J.** *Compost, fertilizer and biogas production from human and farm wastes in the People's Republic China.* Ottawa-Canadá: IDRC, 1978. p. 17
- 25. MÉNDEZ, ÁNGELES.** *Metano* [blog]. La guía, Septiembre, 2010.  
[Consulta: 18 octubre 2015].  
Disponible en: <http://quimica.laguia2000.com/elementos-quimicos/metano>

- 26. OLAYA, Y. & GONZALES, L.,** *Módulo para la asignatura de Construcciones Agrícolas, Fundamentos para el diseño de Biodigestores* [En línea]. Palmira-Colombia: Julio, 2009.  
[Consulta: 20 octubre 2015].  
Disponible en:  
<http://www.bdigital.unal.edu.co/7967/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf>
- 27. OLAYA, Y.** *Diseño de un biodigestor de cúpula fija.* (Tesis) (Ingeniero Agrícola). Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Escuela de Ingeniería Agrícola. Palmira - Colombia. 2006. pp. 37-45
- 28. PEDRAZA, G.; CHARÁ, J.; CONDE, N.; GIRALDO, S.; GIRALDO, L.** *Evaluación de los biodigestores en geomembrana (PVC) y plástico de invernadero en clima medio para el tratamiento de aguas residuales de origen porcino* (Tesis). (Maestría). [En línea]. Fundación Centro de Investigaciones en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria-CIPAV. Cali – Colombia. 2002. pp. 25-33  
[Consulta: 17 diciembre 2015]  
Disponible en: <http://www.cipav.org.co/Irrd/Irrd14/1/Pedr141.htm>
- 29.** *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2015-2025 de La Parroquia Rural de Taracoa* [en línea]. Orellana- Ecuador: Parroquia de Taracoa, 2015. pp.78-86  
[Consulta: 11 octubre 2015]  
Disponible en:  
[http://app.sni.gob.ec/visorseguimiento/DescargaGAD/data/sigadplusdiagnostico/2260003800001\\_Diagn%C3%B3stico\\_PDOT\\_Taracoa\\_2015\\_FADSE\\_agosto\\_13\\_14-08-2015\\_17-49-27.pdf](http://app.sni.gob.ec/visorseguimiento/DescargaGAD/data/sigadplusdiagnostico/2260003800001_Diagn%C3%B3stico_PDOT_Taracoa_2015_FADSE_agosto_13_14-08-2015_17-49-27.pdf)
- 30. RAMÓN, J.A.; ROMERO, L.F.; SIMANCA, J.L.** “Diseño de un biodigestor de canecas en serie para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de cerdo”. *Revista Ambiental* Vol. 1, (2006), pp.15-23.
- 31. ROBLES-GIL, S.** *Información climatológica para la aplicación de la energía de la biomasa.* México. La Paz-Bolivia: Comisión de Climatología, Organización Meteorológica Mundial, Agosto 2005, 75p.

32. **SORIA FREGOSO, Manuel de Jesús; FERRERA-CERRATO, Ronald; ETCHEVERS BARRA, Jorge; ALCÁNTAR GONZÁLEZ, Gabriel; SANTOS, José Trinidad; BORGES GOMÉZ, Lizette; PEREYDA PERÉZ, Gaspar.** “Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo”. *Terra*, Vol. 19, No. 4 2001, pp. 353-362.
33. **VARGAS L., L.** *Los biodigestores, alternativa de tratamiento para residuos pecuarios.* (Tesis) (Ingeniero Sanitario). Universidad del Valle Santiago de Cali, Ingeniería Sanitaria, Ciencias del Ambiente. Cali-Colombia. 1992. p. 39
34. **VARGAS, F.** *Plantas Medicinales, una alternativa para la agricultura familiar* [En línea]. Asunción-Paraguay: AIEP, 2014. pp. 17-23  
[Consulta: 17 diciembre 2015].  
Disponible en: <http://es.slideshare.net/fvargaslehner/biosol-y-biol>
35. **VARNERO, M.** *Manual de Biogás* [En línea]. Santiago de Chile – Chile: Proyecto CHI/00/G32, 2011. pp. 35-64.  
[Consulta: 12 octubre 2015]  
Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>
36. **YANK, L.; MARTINA, P.; CORACE, J.; AEBERHARD, A.** *Construcción de un biodigestor pequeño para su uso en investigación y docencia. Primeros ensayos.* (Tesis). (Maestría). [En línea]. Universidad Nacional del Nordeste. Chaco-Argentina.  
[Consulta: 14 diciembre 2015]  
Disponible en: <http://arandu.org.ar/pub/digestororiginal1.pdf>







## ANEXOS

### Anexo A: Flora presente en la finca Isabel de la Parroquia Taracoa.

Nombre Común	Nombre Científico	Fotografía
		
<p>Hierba mala (Nerium oleander)</p>	<p>Marandú (Brachiaria brizantha)</p>	<p>Hierba Dalis (Paspalum dilatatum)</p>
		
<p>Piña (Ananas comosus)</p>	<p>Caña (Saccharum officinarum)</p>	<p>Toquilla (Carludovica palmata)</p>
		
<p>Achote (Bixa Orellana)</p>	<p>Limón (Citrus aurantifolia)</p>	<p>Chonta Duro (Bactris gasipaesh.b.k.)</p>



**Anexo B: Fauna registrada en el área del proyecto en la Finca Isabel.**

		
Lora ( <i>Amazona ochrocephala</i> )	Gallinas ( <i>Gallusgallus</i> )	Perro ( <i>Canis</i> sp)
		
Mariposas ( <i>Melinae</i> aspp)	Mosca negra ( <i>Sarcophagidae</i> )	Hormigas obrera ( <i>Solenopsis</i> )

**Anexo C: Características del suelo de la finca Isabel.**

	
Color: Anaranjado.	Grosor del horizonte orgánico: 8 cm.

**Anexo D: Registro de la temperatura en el levantamiento de línea base.**

**HOJA DE REGISTRO DE LA TEMPERATURA EN LA FINCA "ISABEL"**

DÍA	FECHA	TEMPERATURA DEL SECTOR EN °C			CONDICIONES CLIMÁTICAS		
		M	T	No	S	N	LI
1	12-10-2015	30	32	28	M/T		
2	13-10-2015	31	33	30	M/T		
3	14-10-2015	31	35	30	M/T		
4	15-10-2015	30	31	29	M/T		
5	16-10-2015	31	32	30	M/T		
6	17-10-2015	30	28	28	M		T
7	18-10-2015	29	31	30	T	M	
8	19-10-2015	31	33	29	M/T		
9	20-10-2015	29	34	28	M/T		
10	21-10-2015	30	31	29	M/T		
TOTAL		302	320	291			
PROMEDIO		30.2	32	29.1			
PROMEDIO DIARIO °C		30.4					
M= mañana,		T= tarde,		No= noche			
S= soleado,		N= nublado		LI=lluvia			

**Anexo E: Registro de la presión en el biodigestor.**

Día	Fecha	Presión (mbar)
1	11 - 01 - 2016	1
2	16 - 01 - 2016	1
3	21 - 01 - 2016	3
4	26 - 01 - 2016	5
5	31 - 01 - 2016	9

**Anexo F: Muestreo para la caracterización del estiércol de ganado vacuno.**




**Homogenización de estiércol**



Muestras para análisis físico-químicos y microbiológicas

**Anexo G: Resultados de laboratorio, muestras de estiércol pre-tratamiento.**

 <p>Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas</p>	VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax: (593)06- 2881105		Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003
	<b>INFORME DE ENSAYO N°: 105 929</b>		
	SPS: 15 - 0 506	Análisis de Suelos	

Coca, 25 noviembre de 2015.

**Srta. Janeth Arias / Sr. José Salazar.**

Dirección: Coca.

**1.- Datos generales:**

Recogidas por..... Srta. Janeth Arias / Sr. José Salazar  
 Fecha hora de toma de muestra..... 2015 10 26 10:30  
 Fecha hora ingreso a Laboratorio..... 2015 10 26 15:45  
 Fecha del análisis..... 2015 10 26 a 2015 11 26  
 Condiciones Ambientales del Análisis... T. Máx. 26.5 °C T. Mín. 21,0 °C  
**Código de LabSu..... Identificación de la muestra.**  
 s 12157..... Muestra de estiércol finca Isabel muestra 1.

**2.- Resultados / Parámetros y métodos / referencias:**

Ítem	Parámetros	Unidad	s12157	PEE-LABSU	Método / Norma / Referencia	Incertidumbre (K = 2)
1	Potencial Hidrógeno	-	7,35	PEE-LABSU-02	SM 4500-H+B	± 0,05
2	*Sólidos totales	%	14,68	PEE-LABSU-49	SM 2540 B	± 10%
3	*Sólidos totales volátiles	%	14,99	PEE-LABSU-38	Gravimetría	-
4	*Materia orgánica	%	69,82	PEE-LABSU-67	GRAVIMÉTRICO	-
5	*Carbono orgánico Total	%	40,5	PEE-LABSU-66	EPA 9060	-
6	*Nitrógeno total	%	3,49	PEE-LABSU-71	KJELDAHL, EPA351.2	-
7	*Fósforo	mg/kg	21,47	PEE-LABSU-73	Booker Tropical Soil Manual	-
8	*Humedad	%	85,08	PEE-LABSU-38	Gravimetría	-
9	*Potasio	mg/kg	5061,1	PEE-LABSU-06/76	Booker Tropical Soil Manual	-
10	*Zinc	mg/kg	61,08	PEE-LABSU-06/77	Booker Tropical Soil Manual	-
11	*Cobre	mg/kg	7,47	PEE-LABSU-06/77	Booker Tropical Soil Manual	-
12	*Hierro	mg/kg	263,67	PEE-LABSU-06/77	GRAVIMÉTRICO	-
13	*Recuento de microorganismos	col/g	68,4x107	PEE-LABSU-06/77	Methods in applied soil	-
14	*Coliformes fecales	col/g	6,2 x105	PEE-LABSU-43	SM 9222 B	-
15	* Coliformes totales	col/g	8,1 x105	PEE-LABSU-44	SM 9222 D	-

**3.- Responsable del Informe:**


Autorización:  **Lcdo. Joan Araluze Calderius.**  
 DIRECTOR TÉCNICO



 **Téc. Andres Solis Plaza**  
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.  
 Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
 Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.

MC22001-04

 Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas	VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax: (593)06- 2881105		Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003
	<b>INFORME DE ENSAYO N°: 105 929</b>		
	SPS: 15 - 0 506	Análisis de Suelos	

Coca, 25 noviembre de 2015.

Srta. Janeth Arias / Sr. José Salazar.

Dirección: Coca.


### 1.- Datos generales:

Recogidas por..... Srta. Janeth Arias / Sr. José Salazar  
Fecha hora de toma de muestra..... 2015 10 26 10:30  
Fecha hora ingreso a Laboratorio..... 2015 10 26 15:45  
Fecha del análisis..... 2015 10 26 a 2015 11 26  
Condiciones Ambientales del Análisis... T. Máx. 26.5 °C T. Mín. 21,0 °C  
Código de LabSu..... Identificación de la muestra.  
s 12158..... Muestra de estiércol finca Isabel muestra 2.

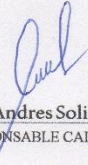
### 2.- Resultados / Parámetros y métodos / referencias:

Ítem	Parámetros	Unidad	s12157	PEE-LABSU	Método / Norma / Referencia	Incertidumbre (K = 2)
1	Potencial Hidrógeno	-	7,37	PEE-LABSU-02	SM 4500-H+B	± 0,05
2	*Sólidos totales	%	13,32	PEE-LABSU-49	SM 2540 B	± 10%
3	*Sólidos totales volátiles	%	15,21	PEE-LABSU-38	Gravimetría	-
4	*Materia orgánica	%	75,98	PEE-LABSU-67	GRAVIMÉTRICO	-
5	*Carbono orgánico Total	%	52,4	PEE-LABSU-66	EPA 9060	-
6	*Nitrógeno total	%	1,98	PEE-LABSU-71	KJELDAHL, EPA351.2	-
7	*Fósforo	mg/kg	19,69	PEE-LABSU-73	Booker Tropical Soil Manual	-
8	*Humedad	%	85,14	PEE-LABSU-38	Gravimetría	-
9	*Potasio	mg/kg	4978,41	PEE-LABSU-06/76	Booker Tropical Soil Manual	-
10	*Zinc	mg/kg	60,02	PEE-LABSU-06/77	Booker Tropical Soil Manual	-
11	*Cobre	mg/kg	7,98	PEE-LABSU-06/77	Booker Tropical Soil Manual	-
12	*Hierro	mg/kg	271,58	PEE-LABSU-06/77	GRAVIMÉTRICO	-
13	*Recuento de microorganismos	col/g	70,8 x 10 <sup>7</sup>	PEE-LABSU-06/77	Methods in applied soil	-
14	*Coliformes fecales	col/g	6,4 x 10 <sup>5</sup>	PEE-LABSU-43	SM 9222 B	-
15	* Coliformes totales	col/g	8,3 x 10 <sup>5</sup>	PEE-LABSU-44	SM 9222 D	-

### 3.- Responsable del Informe:

  
Autorización: Ing. Gilberto López Pérez.  
DIRECTOR TÉCNICO



  
Téc. Andres Solis Plaza  
RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.  
Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.

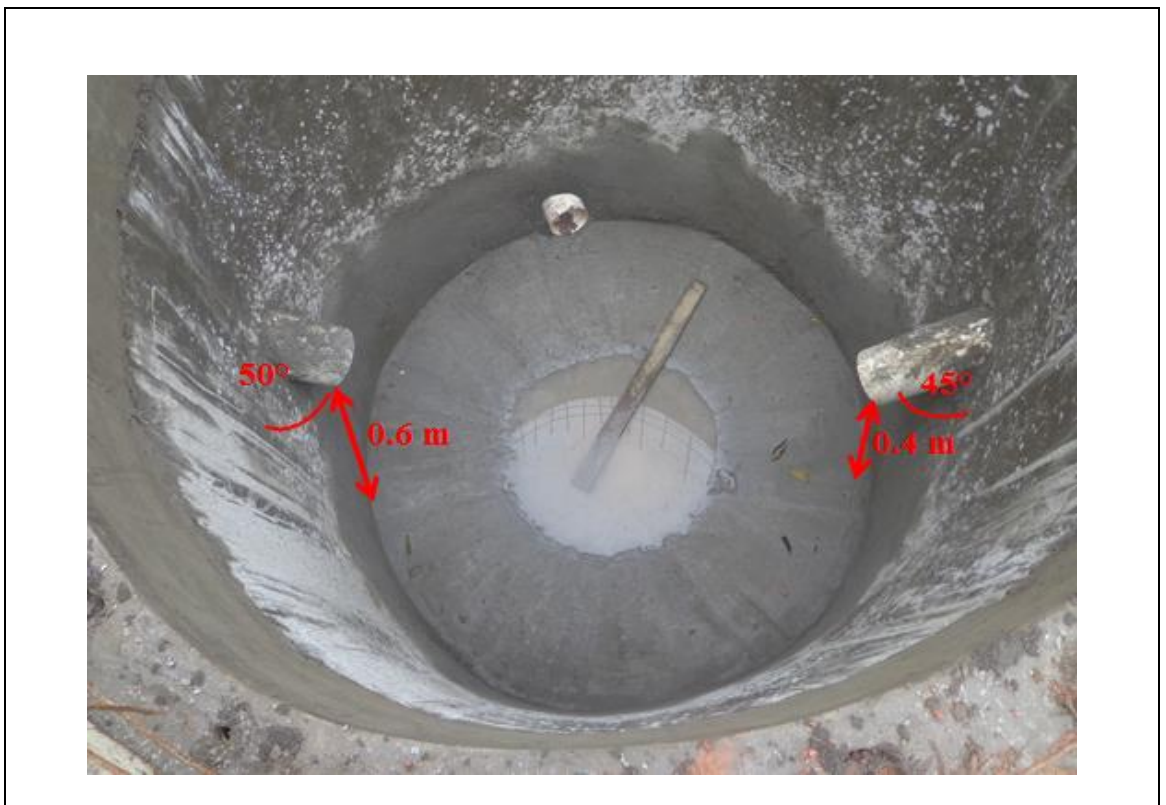
MC22001-04

Página 1 de 1

**Anexo H: Cuantificación de la carga diaria de estiércol.**

	
<p>Muestreo aleatorio simple</p>	<p>Pesado diario de la materia prima</p>

**Anexo I: Altura del extremo interno de la tubería para conducir el biol desde el biodigestor a la caja de salida.**



Anexo J: Temperatura en la finca Isabel durante el funcionamiento del biodigestor.

HOJA DE REGISTRO DE TEMPERATURA DE LA FINCA "ISABEL"								
DÍA	FECHA	TEMPERATURA EN °C			TEMPERATURA PROMEDIO	CONDICIONES CLIMÁTICAS		
		M	T	No		S	N	LI
1	23-12-2015	29	30	27	28.7	///T		
2	24-12-2015	30	32	28	30.0	///T		
3	25-12-2015	31	33	28	30.7	///T		
4	26-12-2015	30	28	29	29.0	///		T
5	27-12-2015	31	32	30	31.0	///T		
6	28-12-2015	30	31	27	29.3	///		T
7	29-12-2015	31	31	30	30.7	///T		
8	30-12-2015	31	32	31	31.3	///T		
9	31-12-2015	32	33	29	31.3	///T		
10	01-01-2016	31	31	32	31.3	///T		
11	02-01-2016	30	30	31	30.3	///T		
12	03-01-2016	33	32	30	31.7	///T		
13	04-01-2016	31	33	32	32.0	///T		
14	05-01-2016	30	31	31	30.7	///T		
15	06-01-2016	32	32	32	32.0	///T		
16	07-01-2016	31	32	30	31.0	///T		
17	08-01-2016	32	33	31	32.0	///T		
18	09-01-2016	31	34	33	32.7	///T		
19	10-01-2016	30	32	28	30.0	///T		
20	11-01-2016	31	32	31	31.3	///T		
21	12-01-2016	31	26	28	28.3	///		T
22	13-01-2016	32	34	30	32.0	///T		
23	14-01-2016	32	33	31	32.0	///T		
24	15-01-2016	31	32	29	30.7	///T		
25	16-01-2016	31	32	29	30.7	///T		
26	17-01-2016	32	33	27	30.7	///T		
27	18-01-2016	31	34	28	31.0	///T		
28	19-01-2016	30	32	29	30.3	///T		
29	20-01-2016	31	32	30	31.0	///T		
30	21-01-2016	31	26	28	28.3	///	T	
31	22-01-2016	33	34	31	32.7	///		T
32	23-01-2016	32	33	32	32.3	T	///	No
33	24-01-2016	31	32	30	31.0	///T		
34	25-01-2016	32	33	29	31.3	///T		
35	26-01-2016	31	33	28	30.7	///T		
36	27-01-2016	30	34	29	31.0	///T		
37	28-01-2016	31	32	30	31.0	///T		
38	29-01-2016	32	34	28	31.3	///T		
39	30-01-2016	28	28	29	28.3	///T		
40	31-01-2016	27	34	28	29.7	///T		
TOTAL		1236	1275	1183				
PROMEDIO °C		30.9	31.87	29.57				
PROMEDIO DIARIO °C		30.78						
		M= mañana		T= tarde	No= noche			
		S= soleado		N= nublado		LI= lluvia		

**Anexo K: Registro del pH en el biodigestor.**

REGISTRO DEL pH DENTRO DEL BIODIGESTOR CHINO					
Día	Fecha	pH	Día	Fecha	pH
1	23-12-2015	7.35	21	12-01-2016	7.80
2	24-12-2015	7.28	22	13-01-2016	7.80
3	25-12-2015	7.15	23	14-01-2016	7.79
4	26-12-2015	7.12	24	15-01-2016	7.81
5	27-12-2015	7.12	25	16-01-2016	7.81
6	28-12-2015	7.05	26	17-01-2016	7.81
7	29-12-2015	6.50	27	18-01-2016	7.82
8	30-12-2015	7.10	28	19-01-2016	7.85
9	31-12-2015	7.65	29	20-01-2016	7.84
10	01-01-2016	7.88	30	21-01-2016	7.86
11	02-01-2016	8.10	31	22-01-2016	7.86
12	03-01-2016	8.10	32	23-01-2016	7.92
13	04-01-2016	8.12	33	24-01-2016	7.94
14	05-01-2016	8.20	34	25-01-2016	7.95
15	06-01-2016	8.25	35	26-01-2016	7.99
16	07-01-2016	7.60	36	27-01-2016	8.00
17	08-01-2016	7.7	37	28-01-2016	8.10
18	09-01-2016	7.8	38	29-01-2016	8.14
19	10-01-2016	7.8	39	30-01-2016	8.15
20	11-01-2016	7.8	40	31-01-2016	8.16
Total					310.05
Promedio					7.75





**Anexo L: Temperatura dentro del biodigestor.**

HOJA DE REGISTRO DE TEMPERATURA DENTRO DEL BIODIGESTOR.								
DÍA	FECHA	TEMPERATURA EN °C			TEMPERATURA PROMEDIO	CONDICIONES CLIMÁTICAS		
		M	T	No		S	N	LI
1	23-12-2015	28	29	27	28.0	///T		
2	24-12-2015	28	30	28	28.7	///T		
3	25-12-2015	27	29	27	27.7	///T		
4	26-12-2015	28	28	27	28.3	///		T
5	27-12-2015	31	32	31	31.3	///T		
6	28-12-2015	30	30	30	30.0	///		T
7	29-12-2015	34	33	32	33.0	///T		
8	30-12-2015	35	34	33	34.0	///T		
9	31-12-2015	34	35	34	34.3	///T		
10	01-01-2016	35	35	36	35.3	///T		
11	02-01-2016	37	37	37	38.3	///T		
12	03-01-2016	40	42	40	40.7	///T		
13	04-01-2016	41	42	39	40.7	///T		
14	05-01-2016	42	43	44	43.0	///T		
15	06-01-2016	43	42	44	43.0	///T		
16	07-01-2016	33	37	33	34.3	///T		
17	08-01-2016	34	38	32	34.7	///T		
18	09-01-2016	35	37	37	36.3	///T		
19	10-01-2016	35	36	37	36.0	///T		
20	11-01-2016	36	36	36	36.0	///T		
21	12-01-2016	34	31	33	32.7	///		T
22	13-01-2016	35	39	40	38.0	///T		
23	14-01-2016	38	39	41	39.3	///T		
24	15-01-2016	40	41	43	41.3	///T		
25	16-01-2016	41	42	42	41.7	///T		
26	17-01-2016	39	40	41	40.0	///T		
27	18-01-2016	38	41	42	40.3	///T		
28	19-01-2016	38	40	41	39.7	///T		
29	20-01-2016	37	38	39	38.7	///T		
30	21-01-2016	35	33	38	35.3	///	T	
31	22-01-2016	32	34	39	35.0	///		T
32	23-01-2016	37	39	36	37.3	///	T	No
33	24-01-2016	40	37	40	39.0	///T		
34	25-01-2016	38	40	38	38.7	///T		
35	26-01-2016	39	38	40	39.0	///T		
36	27-01-2016	39	40	41	40.0	///T		
37	28-01-2016	38	39	41	39.3	///T		
38	29-01-2016	39	40	40	39.7	///T		
39	30-01-2016	39	40	40	40.3	///T		
40	31-01-2016	39	40	41	40.0	///T		
TOTAL		1443	1478	1486				
PROMEDIO °C		36.07	36.95	37.15				
PROMEDIO DIARIO °C		36.73						
		M= mañana	T= tarde	No= noche				
		S= soleado	N= nublado	LI= lluvia				



**Anexo M: Construcción e instalación del biodigestor.**



**Anexo N: Carga diaria de la materia prima.**



**Anexo O: Toma de muestra post-tratamiento (biol).**



**Anexo P: Medición de la producción de biogás.**



Medición de biogás mediante columna de agua.

**Anexo Q: Quema del biogás.**




Caracterización de la llama producida por el biogás



Poder calorífico del biogás

**Anexo R: Resultados de laboratorio, muestras de biol post-tratamiento.**

 <p>Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas</p>	VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefon: (593)06- 2881105		Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003
	<b>INFORME DE ENSAYO N°: 105 929</b>		
SPS: 15 - 0 506		Análisis de Suelos	

Coca, 26 de febrero de 2016

**Srta. Janeth Arias / Sr. José Salazar.**

Dirección: Taracoa

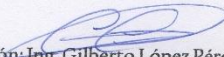
**1.- Datos generales:**

Recogidas por..... Srta. Janeth Arias / Sr. José Salazar  
 Fecha hora de toma de muestra..... 2016 02 09 14:30  
 Fecha hora ingreso a Laboratorio..... 2016 02 09 15:58  
 Fecha del análisis..... 2016 02 09 a 2016 02 26  
 Condiciones Ambientales del Análisis... T. Máx. 25.0 °C T. Min. 21,0 °C  
 Código de LabSu..... **Identificación de la muestra.**  
 a 333..... **Muestra de biol finca Isabel**

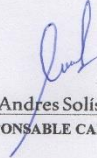
**2.- Resultados / Parámetros y métodos / referencias:**

Ítem	Parámetros	Unidad	s12157	PEE-LABSU	Método / Norma / Referencia	Incertidumbre (K = 2)
1	Potencial Hidrógeno	~	7,81	PEE-LABSU-02	SM 4500-H+B	± 0,05
2	*Sólidos totales	%	1,17	PEE-LABSU-49	SM 2540 B	± 10%
3	*Sólidos totales volátiles	%	0,78	PEE-LABSU-38	Gravimetría	~
4	*Materia orgánica	%	1,38	PEE-LABSU-67	GRAVIMÉTRICO	~
5	*Nitrógeno total	%	2,81	PEE-LABSU-71	KJELDAHL,EPA351.2	~
6	*Fósforo	mg / L	16,17	PEE-LABSU-719	Booker Tropical Soil Manual	~
7	*Potasio	mg / L	568,09	PEE-LABSU-06/76	Booker Tropical Soil Manual	~
8	*Coliformes fecales	Col /ml	1,8 x10 <sup>3</sup>	PEE-LABSU-43	SM 9222 B	± 12%
9	* Coliformes totales	Col /ml	2,1 x10 <sup>4</sup>	PEE-LABSU-44	SM 9222 D	± 5%

**3.- Responsable del Informe:**

  
 Autorización: Ing. Gilberto López Pérez.  
 DIRECTOR TÉCNICO



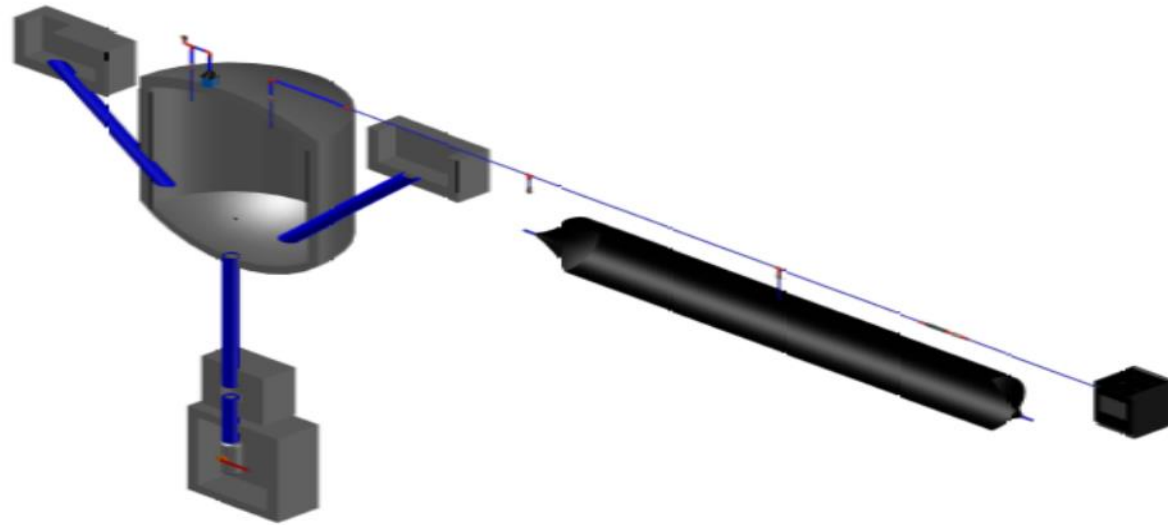
  
 Téc. Andres Solís Plaza  
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.  
 Prohíbe la reproducción total o parcial; por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
 Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.

MC22001-04

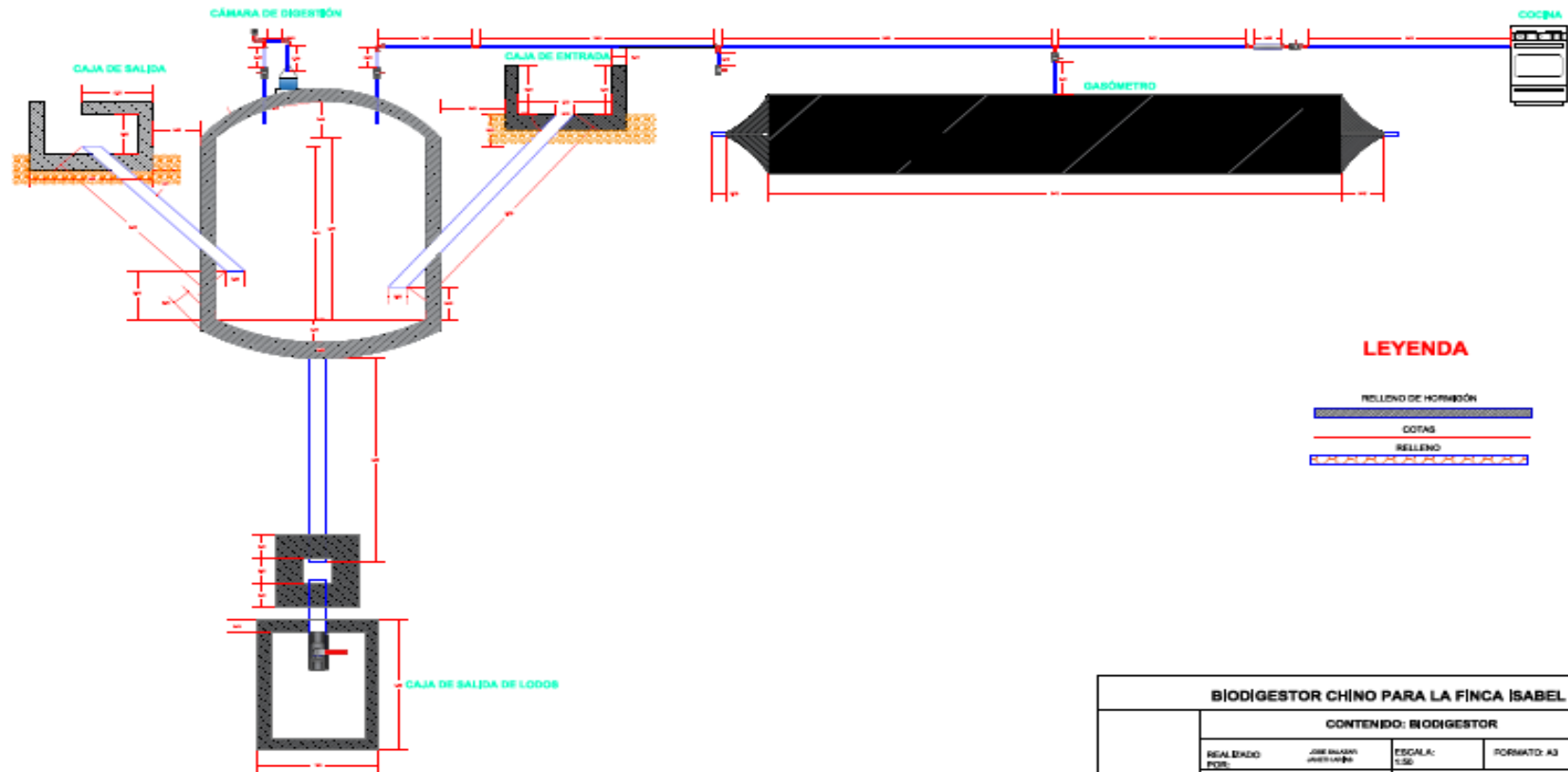
## Anexo S: Planos del biodigestor chino

Planos del biodigestor chino en 3D

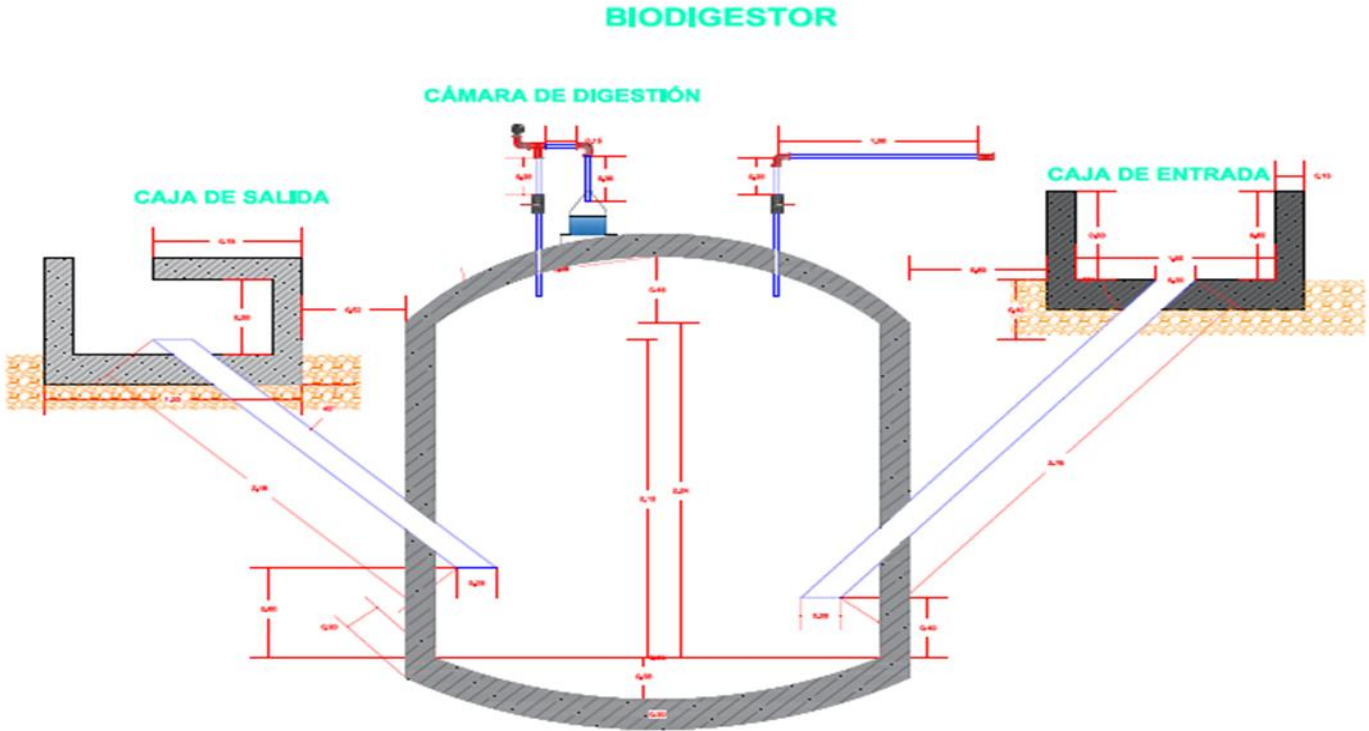


BIODIGESTOR CHINO PARA LA FINCA ISABEL			
CONTENIDO: BIODIGESTOR			
REALIZADO POR:	JOSÉ MARIÁ MARTÍNEZ	ESCALA:	FORNITO A3
APROBADO POR:	DR. FRANCISCO M. GARCÍA	FECHA:	02/02/2010
ESPECIENA:			

## DIMENSIONES DEL BIODIGESTOR



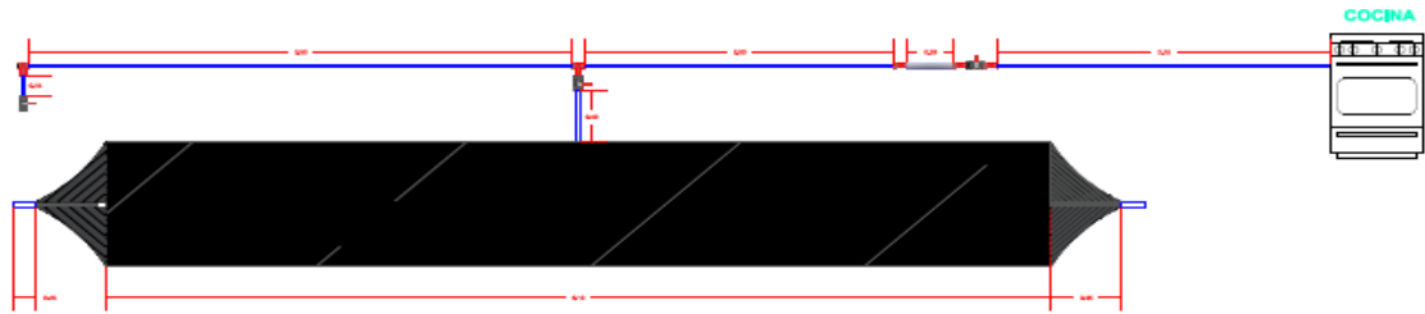
Camara de biodigestión, caja de entrada y caja de salida



<b>BIODIGESTOR CHINO PARA LA FINCA ISABEL</b>			
<b>CONTENIDO: BIODIGESTOR</b>			
REALIZADO POR:	JOSÉ RAFAEL ARISTÓTELES	ESCALA:	FORMATO: A3
APROBADO POR:	DR. PALMERINO M. ANTONIO	FECHA:	10/05/2010
ESPECIENSA			



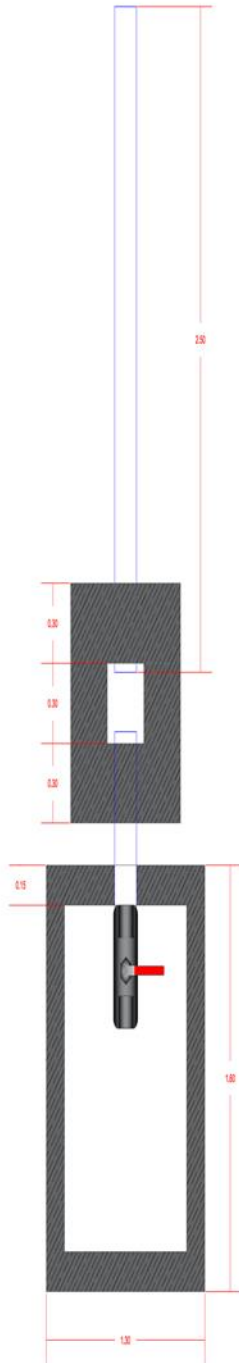
# Gasómetro



BIODIGESTOR CHINO PARA LA FINCA ISABEL			
CONTENIDO: GASÓMETRO			
ESPECIFICINA	REALIZADO POR: JESÚS BLANCO JARDÍN MORA	ESCALA: 1:50	FORMATO: A3
	APROBADO POR: DR. INGENIERO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE	FECHA: NOVIEMBRE DE 2018	

Plano de la caja de salida

CAJA DE SALIDA DE LODOS



<b>BIODIGESTOR CHINO PARA LA FINCA ISABEL</b>			
<b>CONTENIDO: CAJA DE SALIDA DE LODOS</b>			
REALIZADO POR:	JOSE SALDOR JIMENEZ	ESCALA:	FORMATO: A3 1:50
APROBADO POR:	DRA. YOLANDA DÍAZ ING. JUAN SANCHEZ	FECHA:	NOVIEMBRE DE 2015
ESPOCHENA			

**Anexo T:** Diagrama esquemático de la metodología seguida en el desarrollo del trabajo de titulación.

