



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

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA PRODUCIR
BIOGÁS A PARTIR DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS
EN EL CENTRO DE FAENAMIENTO MUNICIPAL TENA, NAPO.”**

TESIS DE GRADO
PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTOR: ERREYES SALAGAJE EDISON ANTONIO
PÉREZ URQUIZO OMAR DIEGO
TUTOR: ING. MARÍA F. RIVERA

RIOBAMBA – ECUADOR
2015

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL

El Tribunal de Tesis certifica que: El trabajo de investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA ELIMINAR LA MATERIA ORGÁNICA QUE SE GENERA EN EL CENTRO DE FAENAMIENTO MUNICIPAL TENA, NAPO.”, de responsabilidad de los Sres. Egresados Edison Antonio Erreyes Salagaje y Omar Diego Pérez Urquizo ha sido difusamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Fernanda Rivera

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Gerardo León

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Yo, Edison Antonio Erreyes Salagaje soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado, pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

Edison Antonio Erreyes Salagaje

Yo, Omar Diego Pérez Urquizo soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado, pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

Omar Diego Pérez Urquizo

AGRADECIMIENTO

Primordialmente agradecer a Dios por darnos su bendición y fortaleza cobijándonos con su manto misericordioso al no dejarnos rendir guiándonos con su luz redentora para alcanzar este gran sueño. Dar gracias a nuestros padres por el apoyo mutuo durante este camino lleno de obstáculos y sacrificio más a un por enseñarnos que todo por lo que una lucha en la vida tiene su recompensa, hoy podemos decir lo hemos logrado por ustedes padres queridos.

Como no agradecer a nuestra querida universidad “Escuela Superior Politécnica de Chimborazo” por acogernos en sus aulas haciendo de nosotros unos profesionales y en especial a la Facultad de Ciencias por guiarnos en este sendero del conocimiento.

Un agradeciendo muy sincero y especial a nuestros queridos tutores Ing. Fernanda Rivera, Dr. Gerardo León, ya que con su ayuda y paciencia ha sido posible esta investigación.

Al Centro de faenamiento Tena por abrirnos sus puertas dándonos su apoyo y enseñanza en el ámbito laboral más a un al permitirnos desarrollar nuestro tema de tesis para formarnos como Ingenieros en Biotecnología Ambiental.

Édison Antonio

Omar Diego

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado primeramente a Dios y a mis padres Antonio Erreyes y María Salagaje que con su esfuerzo, apoyo, dedicación lograron guiarme en este camino para obtener un éxito más en mi vida.

A mis hermanos Richar Erreyes y Adrián Erreyes que con su apoyo y fortaleza me llenaron de fuerza para seguir adelante alcanzado los objetivos propuestos. Hoy les doy las gracias por estar siempre a mi lado llenando mi vida de alegrías y momentos especiales que nunca olvidare.

A mi familia y en especial a dos mujeres que llegaron a mi vida Angely Erreyes y Pamela Novillo que con su fuerza y amor me ayudaron a superar todos los obstáculos que se me han presentado.

Edison Antonio Erreyes Salagaje

El esfuerzo y constancia plasmada en esta tesis quiero dedicarlos a:

Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar mis metas y sueños siendo guía y brindándome la fortaleza espiritual para poder seguir adelante y encaminarme en los pasos de mi vida.

A mis padres y hermanos por el apoyo amoroso, sus estímulos y la valiosa confianza en mi destino, jamás habría llegado a la cima, la cual constituye la herencia más valiosa que pudiera recibir, por eso, con gratitud permanente, emoción y respeto. Hoy les digo: gracias he cumplido, inicio el camino. De hoy en adelante la responsabilidad es mía.

A mis hijos Kevin Nicolay y Shirley Esmeralda como un testimonio de gratitud, porque su presencia ha sido y será siempre el motivo más grande que me ha impulsado para lograr esta meta.

Finalmente a mis queridos profesores y compañeros ya que con ellos compartí los mejores momentos de mi juventud y de mi vida universitaria. Quiero desearlos de todo corazón éxitos en su vida profesional.

Omar Diego Pérez Urquizo

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	2
CAPÍTULO I	
1. Introducción.....	4
1.1 Centro de Faenamiento Tena (CEFATE-CEM).....	4
1.2 Biodigestor.....	5
1.2.1 Clasificación de los Biodigestores.....	5
1.2.1.1 Sistemas Batch y Discontinuos.....	6
1.2.1.2 Sistemas Semicontínuos.....	6
1.2.1.2.1 Ventajas.....	7
1.2.1.2.2 Desventajas.....	7
1.2.1.3 Sistemas continuos.....	7
1.2.1.3.1 Ventajas.....	8
1.2.2 Tipos de biodigestores.....	8
1.2.2.1 Digestor tipo chino o de campana fija.....	8
1.2.2.2 Biodigestor tipo tubular o de salchicha.....	9
1.2.2.3 Biodigestor tipo flotante.....	10
1.2.2.4 Ubicación del biodigestor de domo flotante.....	11
1.2.2.5 Biodigestor con tanque de almacenamiento tradicional.....	11
y cúpula de polietileno	
1.2.2.6 Digestor tipo hindú o de campana flotante.....	12
1.2.3 Componentes principales del biodigestor.....	13
1.2.3.1 Determinación tiempo de retención hidráulica.....	13
1.2.4 Cámara de mezclado.....	14
1.2.5 Cámara de fermentación.....	14
1.2.6 Cámara de descarga.....	15
1.2.7 Cámara de almacenamiento de biogás.....	16
1.2.8 Tubería de entrada y salida del biodigestor.....	16
1.2.9 Tubería de gas.....	16
1.2.10 Válvulas de seguridad.....	17
1.2.11 Purificador del gas.....	17
1.3 Tipo de materia prima.....	17
1.3.1 Principales materias primas según sus productos.....	18
1.3.2 Rumen.....	18
1.3.3 Estiércol.....	18
1.3.3.1 Aplicaciones del estiércol.....	18
1.3.3.2 Factores que influyen en la cantidad producida y el contenido.....	19
de nutrientes en el estiércol	
1.3.4 Biomasa.....	20
1.3.4.1 Fuentes de biomasa para fines energéticos.....	20
1.3.4.1.1 Biomasa natural.....	20
1.3.4.1.2 Biomasa residual (seca y húmeda).....	20

1.3.4.2	Ventajas medioambientales del uso de la biomasa como recurso energético.....	20
1.3.4.3	Procesos de transformación para los diferentes usos de la biomasa.....	21
1.4	Digestión anaeróbica.....	22
1.4.1	Ciclos de la digestión anaeróbica.....	22
1.4.1.1	Hidrólisis.....	22
1.4.1.2	Acitogénesis.....	23
1.4.1.3	Metanogénesis.....	23
1.4.2	Factores influyentes en la degradación anaeróbica.....	24
1.4.2.1	Temperatura.....	24
1.4.2.2	pH.....	25
1.4.2.3	Nutrientes.....	25
1.4.2.4	Tiempo de retención hidráulica.....	26
1.4.2.5	Contenido de sólidos.....	26
1.4.2.6	Inhibidores.....	27
1.4.2.7	Agitación.....	28
1.4.3	Tecnología empleada en la digestión anaeróbica.....	28
1.5	Productos obtenidos de la materia orgánica.....	29
1.5.1	Biogás.....	29
1.5.2	Características del biogás.....	30
1.5.2.1	Metano.....	30
1.5.2.2	Aplicaciones del biogás.....	30
1.5.2.3	Factores que afectan a la producción de biogás.....	31
1.5.3	Obtención del bioabono.....	31
1.5.4	Producción del biogás y el bioabono.....	32
1.5.5	Biol.....	32
1.5.5.1	Composición del biol.....	32

CAPÍTULO II

2.	Parte experimental.....	33
2.1	Lugar de localización.....	33
2.2	Procesos en el centro de faenamiento tena CEFATE-CEM.....	34
2.2.1	Captación de animales.....	34
2.2.2	Faenamiento bovino.....	34
2.2.3	Faenamiento de porcinos.....	35
2.3	Cuantificación de la muestras.....	35
2.3.1	Materiales.....	35
2.3.2	Equipo.....	35
2.3.3	Método.....	36
2.4	Pruebas de laboratorio.....	36
2.4.1	Prototipo de laboratorio.....	36
2.4.1.1	Determinación del tiempo de retención.....	36
2.4.1.1.1	Materiales.....	36
2.4.1.1.2	Método.....	37
2.4.1.2	Volumen de biogás.....	37
2.4.1.2.1	Materiales.....	37
2.4.1.2.2	Método.....	38

2.4.2	Prueba de inflamación de biogás.....	38
2.4.2.1	Materiales.....	38
2.4.2.2	Método.....	38
2.5	Propuesta del diseño.....	39
2.5.1	Elección del tipo de biodigestor implementado.....	39
2.6	Diseño del biodigestor.....	39
2.6.1	Dimensionamiento.....	39
2.6.2	Elaboración de planos del biodigestor.....	39
2.7	Construcción del biodigestor.....	40
2.7.1	Localización de la implementación del biodigestor.....	40
2.7.2	Excavación del terreno.....	41
2.7.3	Relleno y compactación del terreno.....	41
2.7.3.1	Materiales.....	41
2.7.3.2	Equipo.....	41
2.7.3.3	Método.....	42
2.7.4	Construcción de la base del tanque de digestión.....	42
2.7.4.1	Materiales.....	42
2.7.4.2	Método.....	42
2.7.5	Construcción de la estructura de hierro y colocación.....	43
	en el tanque de digestión	
2.7.5.1	Materiales.....	43
2.7.5.2	Método.....	43
2.7.6	Fundición del tanque del biodigestor.....	43
2.7.6.1	Materiales.....	43
2.7.6.2	Equipo.....	44
2.7.6.3	Método.....	44
2.7.7	Construcción de los tanques carga y descarga.....	45
2.7.7.1	Materiales.....	45
2.7.7.2	Método.....	46
2.7.8	Elaboración de la campana.....	46
2.7.8.1	Materiales.....	46
2.7.8.2	Equipo.....	46
2.7.8.3	Método.....	47
2.7.9	Colocación de los implementos para el monitoreo del.....	47
	gas en la campana	
2.7.9.1	Manómetro.....	47
2.7.9.1.1	Materiales.....	47
2.7.9.1.2	Equipo.....	48
2.7.9.1.3	Método.....	48
2.7.9.2	Flujómetro.....	48
2.7.9.2.1	Materiales.....	48
2.7.9.2.2	Equipo.....	48
2.7.9.2.3	Método.....	49
2.7.9.3	Filtro de H_2S	49
2.7.9.3.1	Materiales.....	49
2.7.9.3.2	Sustancias.....	49
2.7.9.3.3	Método.....	49
2.8	Arranque de la planta.....	50

2.8.1	Mezclado de la materia prima.....	50
2.8.1.1	Materiales.....	50
2.8.1.2	Método.....	50
2.8.2	Control de parámetros de funcionamiento.....	51
2.8.2.1	Medición de la presión.....	51
2.8.2.1.1	Materiales.....	51
2.8.2.1.2	Equipo.....	51
2.8.2.1.3	Método.....	51
2.8.2.2	Medición de la temperatura.....	51
2.8.2.2.1	Materiales.....	51
2.8.2.2.2	Método.....	52
2.8.2.3	Medición del biogás.....	52
2.8.2.3.1	Materiales.....	52
2.8.2.3.2	Método.....	52
2.8.2.4	Análisis fisicoquímico de pre y pos tratamiento.....	52
	de los residuos orgánicos del biodigestor	
2.8.2.4.1	Materiales.....	52
2.8.2.4.2	Pre tratamiento.....	52
2.8.2.4.2.1	Método.....	53
2.8.2.4.3	Pos tratamiento.....	53
2.8.2.4.3.1	Método.....	53
2.8.2.5	Pruebas del consumo de gas y biogás.....	54
2.8.2.5.1	Materiales.....	54
2.8.2.5.2	Equipo.....	54
2.8.2.5.3	Método.....	54
2.8.2.5.4	Tanque de gas (GLP).....	54
2.8.2.5.5	Biogás.....	55
2.9	Estudio de impacto ambiental.....	55
2.9.1	Cálculo de la importancia del impacto.....	55
2.9.2	Determinación de la magnitud del impacto.....	56
2.9.2.1	Tipo de impacto.....	56
2.9.2.2	Área de influencia.....	56
2.9.2.3	Importancia.....	56
2.9.2.4	Duración.....	56
2.9.2.5	Reversibilidad.....	57

CAPÍTULO III

3.	Dimensionamiento del biodigestor de campana flotante.....	58
3.1	Cálculo del tiempo de retención.....	58
3.2	Volumen de biogás del prototipo.....	58
3.2.1	Cálculo de la cantidad de los residuos sólidos.....	59
3.2.2	Cálculo de la cantidad de la mezcla.....	60
3.2.3	Cálculo del volumen del biodigestor.....	60
3.2.4	Cálculo de la producción de biogás.....	61
3.3	Diseño de la estructura del biodigestor.....	61
3.3.1	Cámara de digestión.....	62
3.3.2	Cálculo de la pared divisoria dentro del biodigestor.....	63

3.3.3	Cálculo de la cámara de alimentación y descarga.....	63
3.3.4	Cálculo de la tubería de entra y salida del biodigestor.....	63
3.3.4.1	Estructura de la tubería del biodigestor.....	64
3.3.5	Cálculo de la campana.....	65
3.3.5.1	Altura de la campana.....	65
3.3.5.2	Cálculo de la cabeza del gasómetro.....	66
3.3.5.3	Estructura de la tubería del gas.....	66
3.3.6	Compuerta de limpieza.....	66

CAPÍTULO IV

4.	Discusión de resultados.....	67
4.1	Diagrama de flujo del faenamiento del CEFATE-CEM.....	67
4.2	Resultado de la cuantificación de la materia orgánica.....	68
4.3	Resultados de pruebas de laboratorio a nivel piloto.....	71
4.3.1	Prototipo.....	71
4.3.1.1	Determinación del tiempo de retención.....	74
4.3.1.2	Generación del volumen de biogás.....	75
4.4	Propuesta del diseño del biodigestor.....	75
4.4.1	Esquema del funcionamiento de la planta de biogás.....	76
4.4.2	Resultado de la selección del biodigestor y dimensionamientos.....	77
4.5	Resumen del diseño del biodigestor.....	78
4.6	Construcción del biodigestor.....	79
4.7	Caracterización de residuos del biodigestor.....	80
4.7.1	pH.....	81
4.7.2	Humedad.....	82
4.7.3	Sulfuros.....	83
4.7.4	Sólidos volátiles.....	83
4.7.5	Análisis de DQO.....	84
4.7.6	Análisis de DBO.....	85
4.7.7	Análisis de relación carbono nitrógeno.....	85
4.7.8	N.K.P.....	86
4.7.8.1	Nitrógeno (N).....	87
4.7.8.2	Fósforo (P).....	87
4.7.8.3	Potasio.....	88
4.8	Arranque de la planta de biogás.....	89
4.8.1	Temperatura.....	90
4.8.2	Presión.....	91
4.8.3	Caudal de biogás del biodigestor (flujómetro).....	92
4.9	Pruebas de consumo de biogás.....	93
4.10	Almacenamiento del biol.....	94
4.11	Mitigaciones en la etapa de diseño.....	94
4.11.1	Evaluación de impactos durante la etapa de construcción.....	94
4.11.2	Descripción de los impactos ambientales principales.....	99
4.11.3	Evaluación de impactos durante la etapa de operación y mantenimiento	99

CONCLUSIONES.....	103
RECOMENDACIONES.....	105
BIBLIOGRAFÍA.....	106
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Tipo de sistemas de los biodigestores.....	8
Tabla 2-1	Cantidad de estiércol por distintos animales y el rendimiento..... de Biogás	19
Tabla 3-1	Generación de biogás de estiércol bovino.....	19
Tabla 4-1	Proceso de transformación de la biomasa.....	21
Tabla 5-1	Tipo de temperaturas.....	25
Tabla 6-1	Variaciones del pH.....	25
Tabla 7-1	Tiempo de retención hidráulica con variaciones de temperatura.....	26
Tabla 8-1	Principales inhibidores de la digestión anaeróbica.....	27
Tabla 9-1	Tipo de bigestores.....	28
Tabla 10-1	Composición del biogás.....	29
Tabla 11-1	Consumo de para algunas actividades.....	31
Tabla 12-1	Peso del ganado vivo y después del faenamamiento.....	68
Tabla 13-1	Determinación del estiércol y rumen promedio semana 1..... de CEFATE-CEM	69
Tabla 14-4	Determinación del estiércol y rumen promedio semana 2..... de CEFATE-CEM	69
Tabla 15-4	Determinación del estiércol y rumen promedio semana 3..... de CEFATE-CEM	69
Tabla 16-4	Determinación del estiércol y rumen promedio semana 4..... de CEFATE-CEM	70
Tabla 17-4	Determinación del estiércol y rumen promedio mensual..... De CEFATE-CEM	70
Tabla 18-4	Prototipo biodigestor total en galones.....	72
Tabla 19-4	Determinación del tiempo de retención a nivel de laboratorio.....	72
Tabla 20-4	Características de selección del biodigestor.....	77
Tabla 21-4	Dimensionamiento del biodigestor.....	78
Tabla 22-4	Resultado de los análisis de laboratorio del biodigestor.....	80
Tabla 23-4	Monitoreo de los parámetros de control del funcionamiento..... del biodigestor	89
Tabla 24-4	Resultados de la prueba de consumo del GLP vs biogás.....	93
Tabla 25-7	Costos de la implementación del biodigestor.....	111
Tabla 26-7	Costos indirectos en la construcción del biodigestor.....	112

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1	Sistema batch.....	6
Ilustración 2-1	Sistema Semicontinuo.....	7
Ilustración 3-1	Biodigestor tipo chino de campana fija.....	9
Ilustración 4-1	Biodigestor tipo salchicha.....	10
Ilustración 5-1	Biodigestor tipo flotante.....	10
Ilustración 6-1	Biodigestor con tanque de almacenamiento tradicional..... y cúpula de polietileno	11
Ilustración 8-1	Biodigestor tipo chino o de campana fija.....	12
Ilustración 9-1	Tiempo de retención tomado de varios autores.....	13
Ilustración 10-1	Grafica con logaritmo natural.....	13
Ilustración 11-1	Cámara de mezclado.....	14
Ilustración 12-1	Cámara de fermentación.....	15
Ilustración 13-1	Cámara de descarga.....	15
Ilustración 14-1	Porcentaje de gas en la cámara de fermentación.....	16
Ilustración 15-1	Digestión anaeróbica.....	24
Ilustración 16-1	Biogás.....	29
Ilustración 17-1	Equivalencia del bioabono.....	32

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1	Centro de Faenamiento Tena.....	33
Fotografía 2	Mapa de las instalaciones del centro de faenamiento tena.....	113
Fotografía 3	Corrales de animales.....	113
Fotografía 4	Pila de rumen y estiércol.....	114
Fotografía 5	Limpieza de corrales.....	114
Fotografía 6	Ubicación del CEFATE-CEM.....	115
Fotografía 7	Excavación del tanque de digestión.....	115
Fotografía 8	Relleno de la superficie excavada.....	116
Fotografía 9	Fundición de la base del tanque de digestión.....	116
Fotografía 10	Fabricación de la malla de 8 mm.....	117
Fotografía 11	Estructura de hierro del tanque de digestión.....	117
Fotografía 12	Encofrado y contrachapado.....	118
Fotografía 13	Colocación de topes y alambre galvanizado.....	118
Fotografía 14	Unión de la primera y segunda fase.....	119
Fotografía 15	Fundición de la primera y segunda fase.....	119
Fotografía 16	Desmontaje del encofrado y enchapado de la primera fundición.....	120
Fotografía 17	Desmontaje de la tercera fase y verificación de fugas.....	120
Fotografía 18	Construcción de la loza para la campana de acero.....	121
Fotografía 19	Cimentación de la caja de carga y de descarga.....	121
Fotografía 20	Cajas de carga y descarga vista frontal.....	122
Fotografía 21	Levantamiento y ubicación de la campana.....	122
Fotografía 22	Instalación de los equipos de medición de gas.....	123
Fotografía 23	Equipos instalados manómetro y flujómetro.....	123
Fotografía 24	Identificación de la materia orgánica.....	127
Fotografía 25	Mezcla de la materia orgánica rumen – estiércol.....	127
Fotografía 26	Prototipo biodigestor terminado.....	128
Fotografía 27	Peso de la funda y biogás.....	128
Fotografía 28	Prueba de la llama y el biogás.....	129
Fotografía 29	Mezclado M.O.....	129
Fotografía 30	Ingreso de la materia orgánica al biodigestor.....	130
Fotografía 31	Medición del caudal del biogás.....	130
Fotografía 32	Muestras para el análisis del biol.....	131
Fotografía 33	Prueba de gas vs biogás.....	131

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4	Cuantificación de la M.O.....	71
Gráfico 2-4	Variación de temperatura del prototipo.....	73
Gráfico 3-4	Determinación del TRH.....	74
Gráfico 4-4	Volumen de biogás a nivel de laboratorio.....	75
Gráfico 5-4	Control de pH.....	81
Gráfico 6-4	Variación de humedad.....	82
Gráfico 7-4	Variación de Sulfuros.....	83
Gráfico 8-4	Variación de sólidos volátiles.....	83
Gráfico 9-4	Variación de DQO.....	84
Gráfico 10-4	Control de DBO.....	85
Gráfico 11-4	Control de C/N.....	85
Gráfico 12-4	Variación de nitrógeno del biol y materia orgánica.....	87
Gráfico 13-4	Control del fosforo del biol y materia orgánica.....	87
Gráfico 14-4	Variación del potasio del biol y materia orgánica.....	88
Gráfico 15-4	Variación temperatura del biodigestor.....	90
Gráfico 16-4	Variación de presión vs temperatura interna del biodigestor.....	91
Gráfico 17-4	Control del biogás (L/S).....	92
Gráfico 18 -4	Variación del consumo del GLP vs biogás.....	93

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

CEFATE-CEM	Centro de Faenamiento Tena
MO	Materia Orgánica
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
NH ₃	Amoniac
CO ₂	Dióxido de Carbono
CH ₄	Metano
N ₂ O	Óxido de nitrógeno
CFC	Compuestos Halogenados de Carbono
PVC	Policloruro de vinilo
HCl	Ácido Clorhídrico
NaOH	Hidróxido de Sodio
Fe ₂ O ₃	Óxido de Hierro
pH	Potencial de Hidrogeno
N	Nitrógeno
P	Fosforo
K	Potasio
CO	Monóxido de Carbono
NO _x	Óxidos de Nitrógeno
MOR	Materia Orgánica no Degradable
H ₂	Hidrógeno Molecular
PPM	Partes por Millón
UTM	Universal Transversal de Mercator
PSI	Pounds per Square Inch (mide la presión en unidades de L/Ft ²)
DBO	Demanda Biológica de Oxigeno
DQO	Demanda Química de Oxigeno
EPP	Equipos de Protección Personal
GLP	Gas Licuado de Petróleo
TRH	Tiempo de Retención Hidráulica
Ce	Cantidad de Estiércol y Rumén
V _{CH₄}	Volumen de Metano
Cm	Cantidad de mezcla
Ga	Biogás acumulado
D	Diámetro del Biodigestor
H	Altura del Biodigestor

Hpd	Altura de la pared divisora del Biodigestor
Gin	Biogás almacenado en el interior del biodigestor
Hc	Altura de la Campana
Cd	Carga Diaria
Lcp	Longitud del tanque de entra y salida del biodigestor
ST	Solidos Totales
Vst	Volumen de los sólidos totales
Ht	Altura de la Tubería del biodigestor
At	Altura total

RESUMEN

Se implementó el Biodigestor de domo flotante como una de las medidas influyentes en el entorno agrícola y ambiental para producir biogás a partir de los residuos orgánicos que generan animales rumiantes. La investigación tuvo lugar en la ciudad del Tena en las instalaciones del Centro de Faenamiento Tena (CEFATE-CEM) con la finalidad de producción de biogás a partir de los residuos orgánicos generados por 15 cabezas de ganado obteniendo el 30 % de operación de la empresa cuyo biogás será utilizado únicamente en el chamuscado de las patas del ganado bovino. Con propósito de buscar uno de los mejores diseños y eficiencia de un modelo de biodigestor se hizo comparaciones de varias tesis en condiciones diferentes como temperatura, humedad, presión etc. Dando como resultado un solo modelo idóneo de biodigestor denominado domo flotante o tipo Hindú que permite captar un volumen de materia orgánica de 18 m³ con una producción de 10 m³ de biogás generando un total de 277,2 m³ de biogás al mes con una producción de rumen y estiércol de 15 cabezas de ganado bovino. Las condiciones de operación del biodigestor se los realizó con una temperatura que oscila entre 25 a 35 °C, un tiempo de retención de 30 días debido a los experimentos realizados in situ y una presión de 57, 91 Kpa al mes, estos son datos obtenidos por la instalación de un flujómetro y manómetro en el biodigestor. Se efectuó un manual de operación para evitar que se ocasionen errores y fallas en su funcionamiento donde la cantidad exacta que ingresa al biodigestor pesa 300 Kg y, a esta se le añadirá 300 L correspondientes, debido a que 1 Kg de estiércol es igual a 1 L de agua, obteniendo una mezcla de 600 Kg/día, de esta manera una vez ingresada al biodigestor se realizó el debido control de pH, temperatura, presión, caudal de gas, análisis de laboratorio de la materia orgánica y biol como producto final para su riego en las diferentes áreas. El biodigestor tuvo una efectividad del 87 %, la misma que satisfago a la empresa con la producción de biogás para el proceso de chamuscado, valores representados con un volumen de 277,2 m³/mes, así se genera un total de 8 tanques de gas al mes. Se recomienda el control de calidad y revisiones del biodigestor, para mantener el equilibrio dentro de los procesos que se generen en el mismo.

Palabras claves:

<BIODIGESTOR><MATERIA ORGÁNICA><RUMEN><FERMENTACIÓN
ANAERÓBICA><BACTERIAS METANOGENÉTICAS><HIDRÓLISIS>
<ACITOGÉNESIS><BIOGÁS><BIOL><METANO>

SUMMARY

A floating dome biodigester was implemented as one of the influential measures in the agricultural and environmental fields to produce biogas from organic waste generated by ruminants. The research was conducted in the facilities of Slaughtering Tena (CEFATE-CEM), Tena City, Napo Province, to develop the production of biogas from organic waste generated by 15 heads of cattle getting 30 % of the company which biogas will be used only to scorch the legs of cattle.

To design efficient digester model, comparisons of various investigations are made, in different conditions such as temperature, humidity, pressure etc. Resulting in one ideal model called floating dome biodigester or Hindu which can capture a volume of organic matter of 18 m³ with an output of 10 m³ of biogas generating a total of 277,2 m³ of biogas per month with a production of rumen and manure of 15 head of cattle.

The operating conditions of the biodigester is performed with a temperature ranging from 25 to 35 degrees Celsius, a retention time of 30 days due to the experiments performed in situ and a pressure of 57,91 Kpa per month, these data are obtained by installing a flow meter and pressure gauge inside incurred in the operation where the exact amount that enters to the biodigester weighs 300 Kg and 300 L will be added corresponding, because 1 Kg of manure is equal to 1 L water, obtaining a mixture of 600 Kg a day, so once it enters to the biodigester proper control of pH, temperature, pressure, gas flow, laboratory analysis of organic matter and biological was performed as final product for irrigation in different areas.

The biodigester had an effectiveness of 87 % which met the company's requirements with the production of biogas for singeing process, values represented with a volume of 277,2 m³ per month, so it generates a total of 8 gas tanks monthly. Quality control and revision of the digester is recommended to maintain balance in the processes that are generated in it.

INTRODUCCIÓN

Debido a las diversas acciones que se ejecutan en el sector agropecuario de nuestro país, se ha evidenciado una excesiva contaminación del suelo y agua, especialmente en lo que tiene que ver a residuos orgánicos, los cuales se han constituido mayoritariamente en un factor de riesgo para los diferentes recursos naturales que se relacionan directamente con estas actividades, debido a que no se cuenta con una estructura específica de concentración y manejo de estos residuos, dichos recursos se ven directamente afectados, al igual que los seres humanos que habitan cerca a estos espacios.

Las investigaciones que se han propuesto por varios autores nos mencionan que los animales al eliminar sus heces fecales es decir los excrementos causan diversas molestias y contaminación en el agua, aire y suelo además de causar daños en la salud por los patógenos presentes en los excrementos.

La presencia de los excrementos y contenido estomacal procedente del ganado bovino generan la presencia de varios compuestos entre ellos el NH_3 , CO_2 , CH_4 , etc. Mismos que llegan a causar el efecto invernadero por su llegada a la atmosfera provocando la degradación de la capa de ozono.

Debido a las molestias que generan los excrementos de animales la tesis se enfoca al tratamiento de los mismos y a crear conciencia entre las personas para no degradar más el ambiente, la presente investigación se la realizará para un camal que tiene problemas con la disposición final de las excretas de los animales y en el faenamiento el rumen de ganado vacuno, generando contaminación excesiva en los alrededores de las instalaciones lo que provoca la alteración de los recursos naturales como son agua, suelo y aire. En la ciudad del Tena no se cuenta con un adecuado manejo del rumen, en la parroquia se produce 40 toneladas por día, de los cuales el 40% es residuos inorgánicos y el 60% son orgánicos, estos datos son obtenidos del GAD de Tena (2002), convirtiéndose de esta manera en un foco permanente de amenaza para la salud y contaminación ambiental.

Justificación

Debido a la creciente cantidad de residuos orgánicos y líquidos que se genera en los centros de faenamiento, resultado de los diferentes procesos y actividades que se realizan en el lugar, ha originado que el medio ambiente este constantemente contaminado por el inadecuado tratamiento y disposición final de los mismos.

Hoy en la actualidad el precio del gas licuado de petróleo ha aumentado siendo un gasto alto para las industrias, es por esto que nuestra investigación va a incentivar al Centro de Faenamiento Tena (CEFATE - CEM) al uso de Biogás. En este sentido la Biodigestión anaerobia de los residuos orgánicos como el rumen y excretas de ganado bovino presenta alternativas factibles, por un lado tenemos el aprovechamiento de los residuos orgánicos para obtener biogás, y por otro lado se reducen el riesgo de contaminación ambiental, ayuda a la economía de la empresa CEFATE – CEM y garantiza un desarrollo sostenible. (Mendez, 2009, p. 1-2)

La concentración del rumen y de las excretas del ganado bovino se relaciona con los malos olores, la contaminación que se produce en el lugar es considerada un factor de riesgo en la salud para todas las personas aledañas y las que se encuentran laborando dentro de la empresa CEFATE-CEM. Las emisiones importantes del rumen y las excretas corresponden a los gases del infecto invernadero como el metano, dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) y los compuestos halogenados del carbono (CFC), los cuales son considerados la principal causa del cambio climático de la Tierra. (Eatón 2014, p. 20)

Por esta razón, se ha propuesto la implementación de un biodigestor anaerobio para obtener biogás en el centro de faenamiento Tena, en el cual aprovecharemos estos residuos orgánicos como: el rumen y las excretas del ganado bovino. Un biodigestor es un sistema hermético donde se fermenta el desecho orgánico para producir biogás, y puede ser utilizado para los procesos que necesiten gas en la empresa CEFATE-CEM.

Objetivos

General

1. Implementación de un Biodigestor para producir biogás a partir de los residuos orgánicos generados en el centro de Faenamiento municipal Tena, Napo.

Específicos

1. Cuantificar los residuos orgánicos generados en el Centro de Faenamiento Municipal (CEFATE- CEM) en la parroquia Tena Provincia de Napo.
2. Caracterizar la calidad de los residuos orgánicos del ganado bovino mediante el análisis físico-químico y microbiológico a nivel de laboratorio.

3. Establecer los parámetros óptimos de diseño para producir biogás a partir de residuos orgánicos.
4. Diseñar y contruir el biodigestor para la producción de biogas
5. Comprobar la eficiencia del biodigestor tipo Hindú en la generación de biogás.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se mencionan temas de un alto realce en lo que son un enfoque al manejo y educación sobre la materia orgánica de como se la debe manipular, alternativas para su uso, como afectan al ambiente y dar una cultura ambientalista debido a que muchas de las personas e industrias lo que hacen es arrojar estos residuos a los recursos naturales sin darse cuenta que los mismos pueden generar una alternativa sustentable y sostenible en la sociedad como es la de generar subproductos necesarios en este caso la generación de Biogás y biol para la industria agropecuaria.

1.1 Centro de Faenamiento Tena (CEFATE-CEM)

El Centro de Faenamiento Tena CEFATE-CEM es una empresa de Economía Mixta, donde confluyen el capital estatal (51% de las acciones) representado por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Tena, a través de su Empresa Municipal de Desarrollo Productivo EMPRUDEPRO; y, el capital privado (49% de las acciones) representado por la Empresa Servicios de Carnes y Balanceados Ecuador SERVICARNES S.A (CEFATE-CEM, 2008, 155 p)

Esta alianza estratégica ha permitido la rápida implementación operativa del Centro de Faenamiento, no solamente para Usuarios del cantón Tena, sino también de los cantones vecinos de Archidona y Carlos Julio Arosemena Tola, de la provincia de Napo, así como el cantón Loreto en la provincia de Orellana. (CEFATE-CEM, 2008, 155 p)

A estos usuarios se suman otros que provienen de otras regiones del país, y que están utilizando nuestras instalaciones como plataforma logística y de procesamiento, pues el CEFATE-CEM ofrece, aparte del simple faenamiento, el servicio de cortes, con lo cual se permite la obtención de un mayor valor agregado de la carne. (CEFATE-CEM, 2008, 155 p)

La capacidad diaria de producción del CEFATE-CEM está limitada a su área de cuartos fríos, lo que permite procesar al día los animales.

Actualmente el Centro de Faenamiento Tena procesa diariamente en sus instalaciones un promedio de 15 reses, tasa de producción que queda muy distante del punto de equilibrio establecido en los estudios, donde se determina que se deben faenar 30 reses/día, con lo que se está ocupando apenas el 25% de la capacidad instalada. (CEFATE-CEM, 2008, 155 p)

Cabe anotar que los usuarios no acuden con regularidad, entre semana su flujo es mínimo, casi nulo, y los días sábados se presentan picos, los mismos que no llegan a ser de más de cinco animales; esto en el caso del ganado bovino; en cuanto al porcino, hasta la fecha no se ha faenado ningún animal, situación que ha sido constantemente informada a las autoridades de control, sin que hasta el momento haya algún tipo de sanción. (CEFATE-CEM, 2008, 155 p)

1.2 Biodigestor

El biodigestor es un tanque cerrado herméticamente con ausencia de oxígeno donde ingresa el rumen y el estiércol de los animales en el cual mediante una fermentación se produce gas metano, bioabono y un líquido fertilizante denominado biol, que sirve como abono y alimento para peces y patos. (Chavarria, 2014, p. 23-26)

Básicamente el funcionamiento del biodigestor se determina por el ingreso de materia orgánica con agua, que dentro del cilindro cerrado durante unos días produce un crecimiento de microorganismos (bacterias metanogénicas), óptimos para degradar esta materia y dar como resultado el gas metano, siendo este amigable para el ambiente y otros compuestos como el biol y el bioabono, para luego ser usado como combustible generador de calor. (Garzón, 2011 p. 11-17)

Los digestores o biodigestores pueden adoptar la forma cilíndrica, cúbica, rectangular, y ovoide pero en la actualidad se construyen la mayoría de forma cilíndrica. Los digestores modernos son fabricados con cubiertas fijas y flotantes permitiendo el control de la presión por su forma herméticamente sellada en el cual se da un control de temperatura, pH, Humedad. Además de poseer un filtro de olores realizado con virutas de metal que neutralizan el olor fétido del Biogás. (Eatón. 2014 p. 16-20)

La construcción de los biodigestores depende de varias disposiciones en las que dos son las fundamentales la economía y su material para su implementación siendo los idóneos los de concreto y polietileno. (Zepeda, 2013, p. 12-13)

1.2.1 Clasificación de los Biodigestores

Los biodigestores anaerobios se clasifican de la siguiente manera:

1.2.1.1 *Sistemas Batch y Discontinuos*

Son aquellos sistemas que; el llenado a la cámara del digestor se realiza al principio pero cuando se quiera descargar se debe realizar solo al finalizar el proceso, lo cual requiere mayor mano de obra, un lugar donde se pueda almacenar la materia orgánica y un tanque de almacenamiento para el gas metano. (Ingeniería Alemana, 2009, p. 23-30)

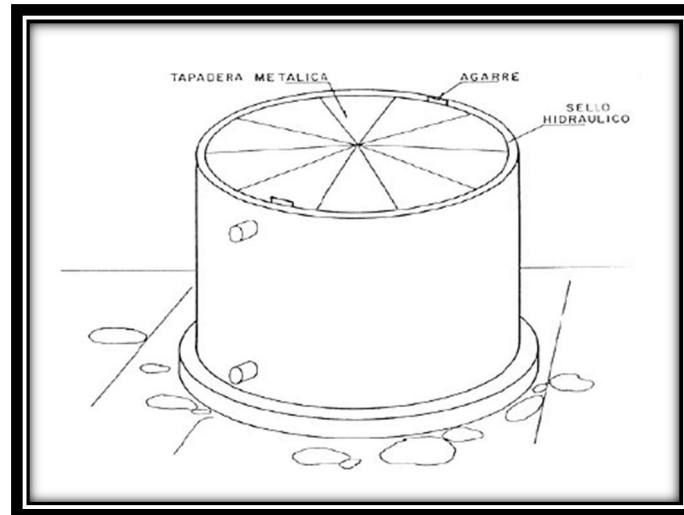


Ilustración 1-1 Sistema batch

FUENTE: (Ingeniería Alemana, 2009, p. 23-30)

1.2.1.2 *Sistemas Semicontinuos*

Son aquellos digestores más utilizados actualmente en zonas rurales para lo que es uso casero y su tamaño es pequeño; los modelos más comunes son los de tipo Hindú y Chino.

El tipo Hindú tiene algunas formas para su fabricación y construcción pero la más común es la forma vertical y enterrados ya que la entrada de la carga de sustancias orgánicas se realiza por gravedad, su alimentación se hace una vez al día dependiendo de la mezcla y tomando en cuenta su fermentación, tiempo de retención y obtenemos un caudal de gas constante controlando las condiciones de operación. (Salazar, 2012, p. 20-30)

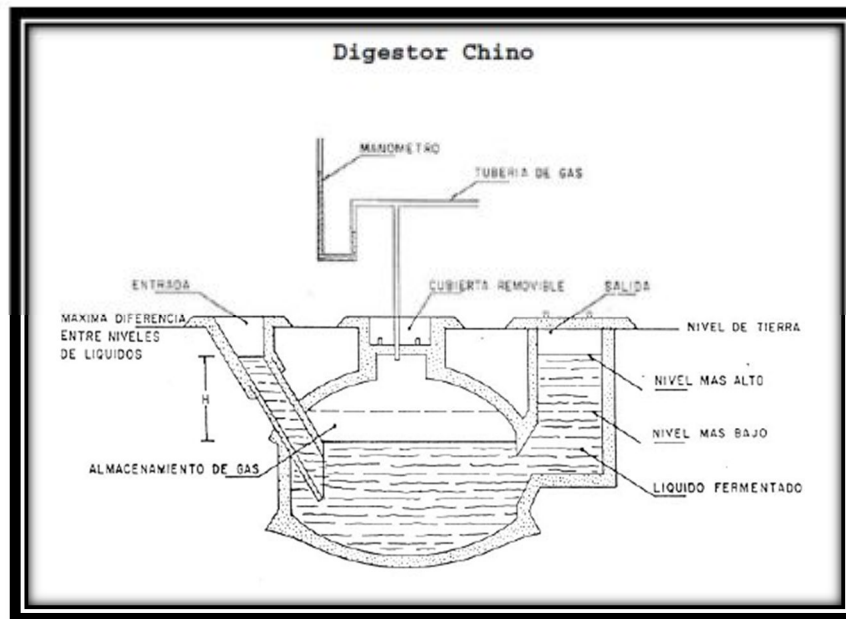


Ilustración 2-1 Sistema semicontinuo

FUENTE: (Salazar, 2012, p. 20-30)

1.2.1.2.1 Ventajas

- ✓ Pueden procesar una variedad de materiales, y se puede almacenar la materia prima a campo abierto.
- ✓ Admiten carga seca que no absorba humedad así permite la existencia de materiales que flotan en el agua.
- ✓ Su trabajo es en ciclos y no es necesario almacenar mucha materia orgánica ya que se va alimentado diariamente.
- ✓ No es necesario un cuidado específico. (Suntagsi, 2010, p. 23-26)

1.2.1.2.2 Desventajas

- ✓ La carga necesita de una buena mezcla de la materia con el agua y es trabajoso.
- ✓ Y la descarga también es trabajosa. (Suntagsi, 2010, p. 23-26)

1.2.1.3 Sistemas continuos

Estos digestores necesitan que la descarga se realice diariamente y la mezcla sea bien fluida y mecanizada, además se necesita un depósito para el gas. (Solari, 2008, p. 1-4)

Tabla 1-1 Tipo de Sistemas de los Biodigestores

CARACTERÍSTICAS	CHINO	HINDÚ	HORIZONTAL	OLADE-GUATEMALA
SISTEMA DE DIGESTIÓN	BATCH Y DE MEZCLA	DESPLAZAMIENTO VERTICAL	DESPLAZAMIENTO VERTICAL	BATCH
CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO	CIRCULAR, PEQUEÑO, ATACHADO	CILINDRO VERTICAL, TANQUE DE GAS	HORIZONTALES, DIFERENTES SECCIONES, CÚPULA FIJA	CILINDRO, VERTICAL, TANQUE DE GAS
SUBSTRATOS	RESIDUOS AGRARIOS Y EXCRETAS HUMANAS	ESTIÉRCOL	ESTIÉRCOL	RESIDUOS AGRÍCOLAS ESTIÉRCOL
TIEMPO DE RETENCIÓN	45 – 90	30 – 60	30 – 60	120
PRODUCCIÓN DE BIOGÁS (M ³)	0.1 – 0.4	0.4 - 0.6	0.8 – 1.0	0.5 – 1.0

FUENTE: (Solari, 2008, p. 1-4)

1.2.1.3.1 Ventajas

- ✓ Se debe permitir controlar la digestión con precisión previniendo cualquier imprevisto.
- ✓ Con estos digestores podemos corregir cualquier anomalía que se presente en el proceso.
- ✓ Permite manejar las variables tanto de la cantidad de la carga, tiempo de retención y temperatura.
- ✓ Se puede realizar la carga inicial solo cuando se tenga que vaciarlo por motivos de mantenimiento.
- ✓ Las operaciones de carga y descarga no necesitan de una operación en especial es de fácil trabajo. (Solari, 2008, p. 1-4)

1.2.2 Tipos de biodigestores

La existencia de diversos tipos de biodigestores nos permite escoger uno con características óptimas para el tipo de material orgánico a utilizarse en la investigación. (Méndez, 2009, p. 1-2)

1.2.2.1 Digestor tipo chino o de campana fija

Este tipo de biodigestores son de forma cilíndrica con el techo y piso en forma cónica y también se construyen enterrados dependiendo del diseño de profundidad. (Silva, 2002, p. 30-39)

El proceso comienza llenando el digester de materiales orgánicos mezclados con lodos activos de otro digester es decir se aprovecha el líquido que sale y no se desperdicia, al momento que ya está cargado debe ser alimentado diariamente según la materia orgánica que esté disponible ya sea de letrinas o de animales a través de un tubo de carga que se encuentra en la caja de carga y de mezcla que posee el digester. (Chavarria, 2014, p. 23-26)

Estos digestores también podemos citar que la carga de la materia orgánica es de forma semicontinua llegando a un máximo de 70 % para posteriormente con un tiempo de retención de 120 a 180 días se descarga totalmente tiempo después se debe reiniciar el ciclo, esto es por el mantenimiento que se debe dar después de un tiempo a este tipo de digestores. (Salazar, 2012, p. 20-30).

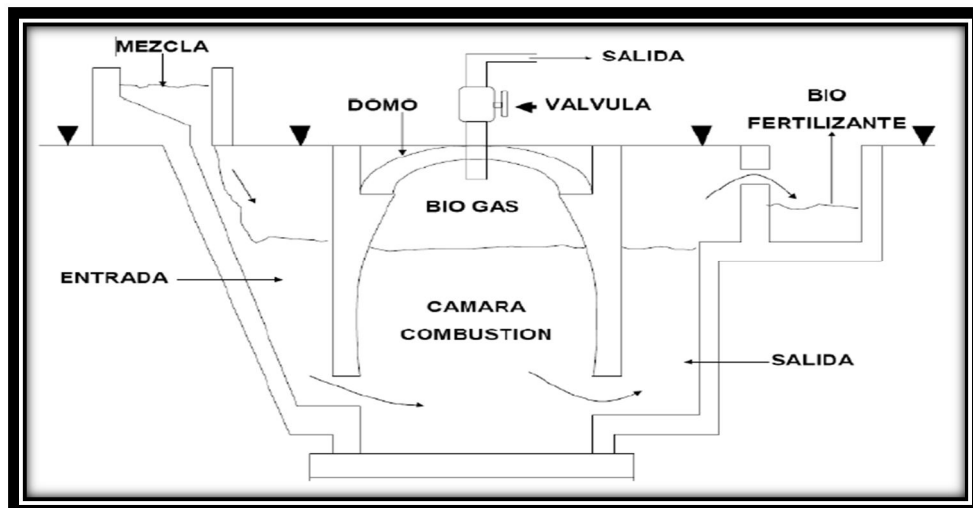


Ilustración 3-1 Biodigestor tipo chino de campana fija

FUENTE: (Salazar, 2012, p. 20-30)

1.2.2.2 Biodigestor tipo tubular o de salchicha

Para este tipo de biodigestor se debe realizar una excavación aproximadamente de alto comprendido entre 1 a 1.50 metros y de largo según el diseño que se proponga pero oscila de 4 a 7 metros de largo, el modelo de salchicha se lo realiza de material plástico (polietileno, OVC, y una combinación de estos), debe estar totalmente sellado en la entrada y salida que están ubicadas a cada extremo de las paredes donde se realizó la excavación. (Chavarría, 2014, p. 23-26)

En la parte inferior del digester tipo salchicha se encuentra un 75% del volumen que constituye la masa de fermentación, y en la parte superior con el 25% que está el almacenamiento de gas.

Este tipo de digestores se recomienda para aquellos lugares en donde las condiciones climáticas sean favorables para sus respectivos procesos de operación. (Ingeniería Alemana, 2009, p. 23-30).

Entre sus ventajas podemos citar que sus materiales de construcción son fáciles de transportar, la instalación es sencilla, debe instalarse en lugares con nivel freático alto por su construcción horizontal, y la comparación de los otros digestores es el costo de construcción y operación que relativamente es menor.

Entre sus desventajas la presión de biogás es baja, la vida útil es corta y oscila de 3 a 8 años.
(Chavarría, 2014, p. 23-26)

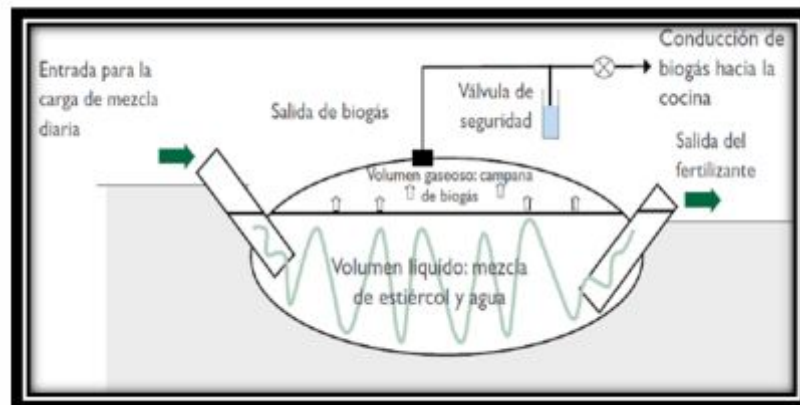


Ilustración 4-1 Biodigestor tipo salchicha

FUENTE: (Chavarría, 2014, p. 23-26)

1.2.2.3 Biodigestor tipo flotante

Este tipo de digestor es de un material polietileno tubular el cual permite la flotación en cualquier superficie de agua con la mitad sumergida, la entrada de alimentación está localizada en la parte superior del agua, por lo tanto la toma de corriente debe estar flotando. (Estrada, 2013, p. 1-16)



Ilustración 5-1 Biodigestor tipo flotante

FUENTE: (Estrada, 2013, p. 1-16)

1.2.2.4 Ubicación del biodigestor de domo flotante

- a) El acceso para la construcción debe estar libre de obstáculos facilitando su operación.
- b) La situación climática del lugar debe estar dentro de las especificaciones del tipo de biodigestor seleccionado, evitando imprevistos durante en funcionamiento del biodigestor.
- c) La implementación debe estar cerca de la captación de agua y de los residuos orgánicos facilitando así la operación para el funcionamiento del biodigestor.
- d) Se debe evitar zonas posibles de inundaciones y zonas freáticas.
- e) La topografía del lugar debe poseer un declive para facilitar la posible carga y descarga de los residuos orgánicos al tanque de fermentación o cámara de digestión.

Su ubicación se efectuara en zonas que no presenten un peligro para los trabajadores y personas que visiten las instalaciones evitando riesgos laborales. (Chavarría, 2014, p. 23-26)

- f) Se debe evitar que su ubicación sea más de 40- 50 metros del lugar de captación de los residuos debido a que distancias largas perjudican el trabajo de carga haciéndolo complicado y agotador. (Chavarría, 2014, p. 23-26)

1.2.2.5 Biodigestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno

Este tipo de biodigestor en la actualidad ha logrado la disminución en los costos de implementación y construcción hasta un 30% en comparación con los digestores tradicionales, tiene una estructura semiesférica de polietileno de película delgada y sustituye a los biodigestores de estructuras fijas realizadas con materiales rígidos. (McGarry, 1978, 91 p.)



Ilustración 6-1 Biodigestor con tanque de almacenamiento tradicional y Cúpula de polietileno

FUENTE: (McGarry, 1978, 91 p.)

1.2.2.6 Digestor tipo hindú o de campana flotante

El biodigestor de tipo Hindú fue creado en la India y para este tipo de digestores hay varios modelos pero los más utilizados son de formas verticales y enterradas en forma de pozo. Se cargan por gravedad la materia orgánica en la cámara del digestor y por medio de la fermentación y el tiempo de retención se obtiene cierta cantidad de biogás siempre y cuando se mantenga los procesos de operación. (Fernández, 2006, 20 p.)

El gasómetro se debe integrar al sistema en la parte superior del tanque por medio de un canal donde se debe construir una campana en la que se almacena el gas; la campana sube y baja dependiendo del volumen de biogás que contiene, debido a que se debe tener una guía central o rieles. (Estrada, 2013, p. 1-16)

El digestor se puede construir normalmente de ladrillos pero en la actualidad se construye de lámina de hierro, fibra de vidrio, hormigón armado, y acero inoxidable; es con el fin de que no exista fuga del biogás. (Estrada, 2013, p. 1-16)

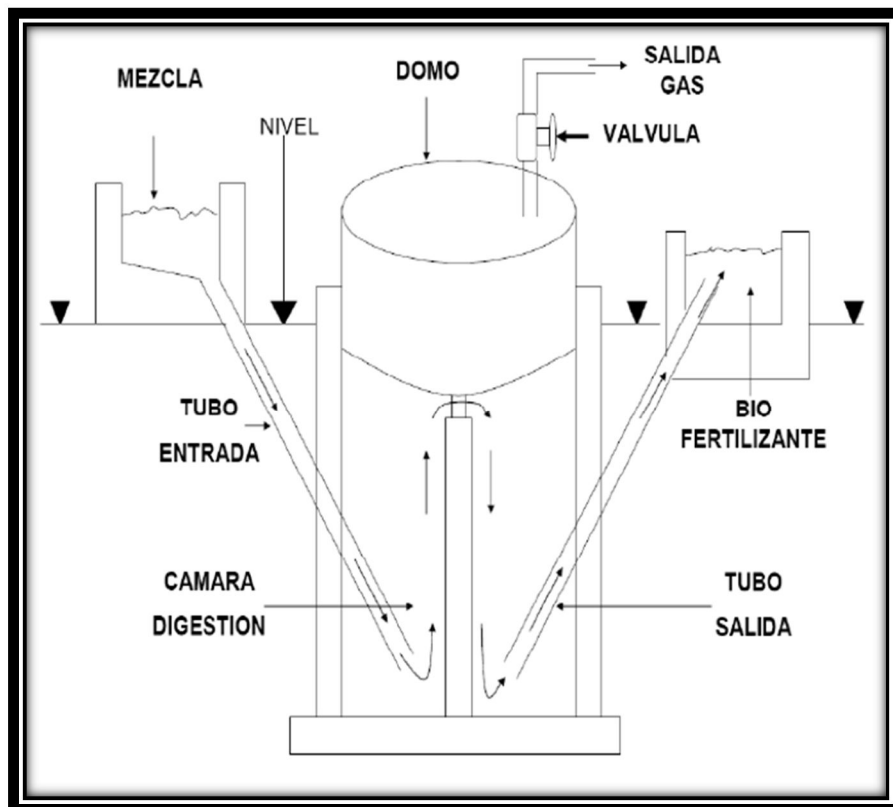


Ilustración 7-1 Biodigestor tipo chino o de campana fija

FUENTE: (Estrada, 2013, p. 1-16)

1.2.3 Componentes principales del biodigestor

1.2.3.1 Determinación tiempo de retención hidráulica

El tiempo de retención hidráulica va de la mano con la temperatura mientras mayor temperatura tendremos menor tiempo de retención hidráulica y si posee una menor temperatura se obtendrá mayor tiempo de retención, varios autores mencionan en sus libros que se deben estimar entre 20 a 60 días pero para tener un dato exacto se realizó una simulación con diversos datos que son descritos por autores, se generara una curva la cual nos permite obtener una función logarítmica con una constante de correlación de 0.88 siendo esta la más idónea para poseer una precisión del día de retención correcto. (AENEC, 2003, p. 12-30)

Temperatura °C	BRITISH BIOGEN	EPA	GTZ	IIT	CIPAV	CONCIT
5	ND	ND	ND	ND	ND	ND
10	ND	ND	100	ND	ND	ND
15	ND	ND	ND	ND	ND	ND
20	ND	ND	40	ND	ND	ND
25	ND	ND	ND	ND	50	ND
26	ND	ND	ND	30	ND	ND
30	30	ND	ND	ND	40	30
35	15	20	20	ND	30	20
40	ND	15	ND	ND	ND	ND
45	ND	ND	ND	ND	ND	ND
50	14	ND	8	ND	ND	ND
55	12	ND	ND	ND	ND	ND
60	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Ilustración 8-1 Tiempo de retención tomado de varios autores

FUENTE: (AENEC, 2003, p. 12-30)

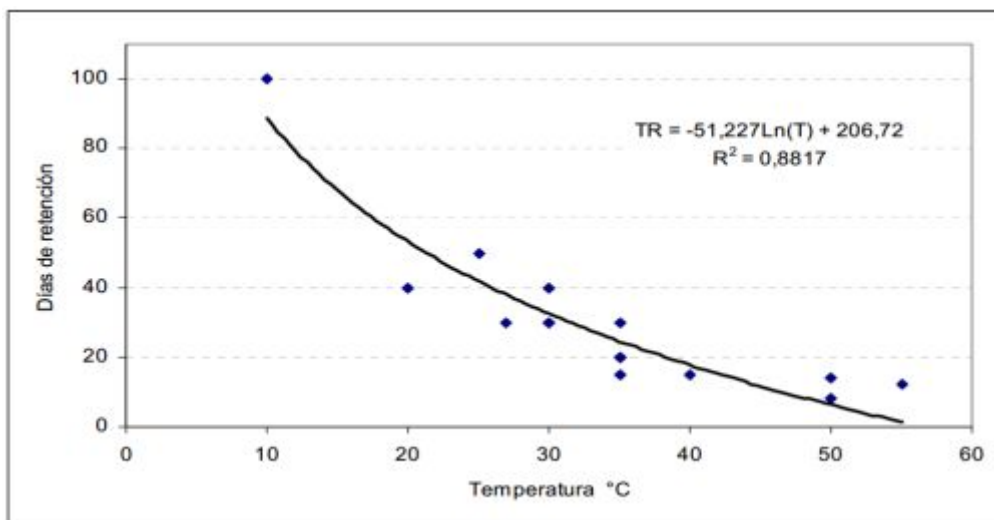


Ilustración 9-1 Gráfico con logaritmo natural

FUENTE: (AENEC, 2003, p. 12-30)

1.2.4 Cámara de mezclado

Cámara de máxima importancia por la cual ingresa los residuos orgánicos para poder llegar a la siguiente cámara denominada cámara de fermentación.

El diseño de esta cámara va a depender de la cantidad diaria de producción de los residuos orgánicos cuya función primordial es la de mezclar los residuos orgánicos con el agua teniendo una mezcla homogénea, es recomendable equiparlo con un equipo automatizado para realizar la mezcla debido a que la densidad de los residuos orgánicos con el agua es muy alta y necesita de mucha fuerza para su mezclado. (Fernández, 2006, 20 p.)

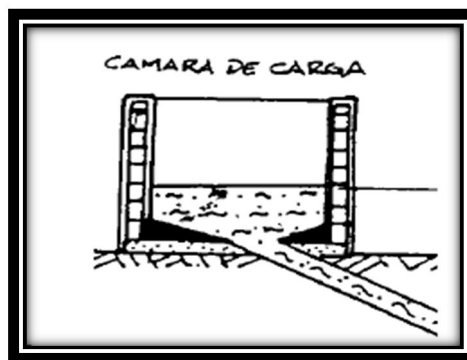


Ilustración 10-1 Cámara de mezclado

FUENTE: (Fernández, 2006, 20 p.)

1.2.5 Cámara de fermentación

La cámara de fermentación debe ser una de las más indispensables en el lugar donde se realiza la descomposición o fermentación de los residuos mediante la existencia de bacterias en cada proceso a medida que vaya avanzando su degradación para ser posible la cámara debe cumplir con las siguientes características. (Olaya, 2009, 32 p.)

- ✓ Debe ser impermeable dado que no debe salir ni entrar oxígeno o agua, mucho menos existir fugas de gas del interior del tanque, si esto no se cumple provocará la contaminación del lugar y si existe fugas provocará una ineficiencia de la producción además de que el lugar se vuelva inestable y peligroso al tener presencia de gas inflamable.
- ✓ Colocar aislantes para que no se produzca la pérdida de calor debido a que la temperatura debe ser regular dentro del tanque de fermentación.
- ✓ Evitar zonas freáticas en el lugar de ubicación del tanque para reducir el deterioro del mismo.

- ✓ Tener un estudio del lugar de instalación como es de suelo, biodiversidad, meteorología, etc.
- ✓ Los diferentes materiales que se pueden emplear para su construcción va a determinar la vida útil del mismo entre ellos tenemos: cemento, metal, madera, mampostería, plástico. Además dependerá mucho del costo y disponibilidad que se tendrá de cada uno de estos.
- ✓ Se debe incluir un modo de agitación de tipo mecánico siendo los más fundamentales los de forma de paletas, hélices y tornillos. (Montes, 2008, p. 22-55)

Para determinar el volumen del tanque se determina la cantidad exacta de los residuos orgánicos y la relación de la mezcla (Vera, 2006).

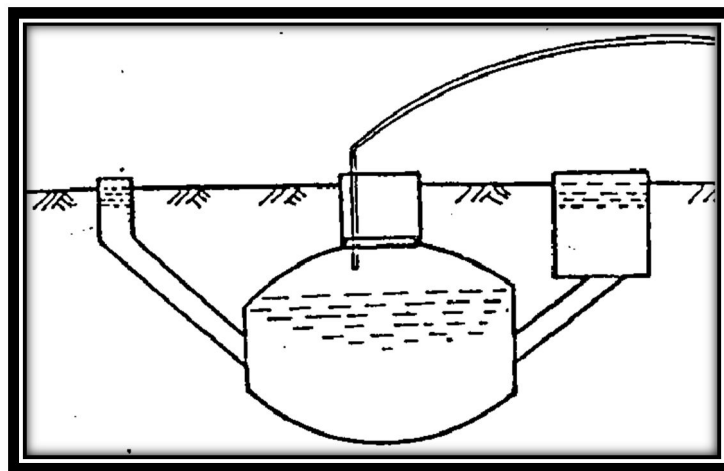


Ilustración 11-1 Cámara de fermentación

FUENTE: (Fernández, 2006, 20 p.)

1.2.6 Cámara de descarga

Las dimensiones recomendadas para esta cámara son de 2 a 3 veces a la de la descarga diaria debido a que la salida del efluente va a ser del mismo volumen que ingresa. (Olaya, 2009, 32 p.)

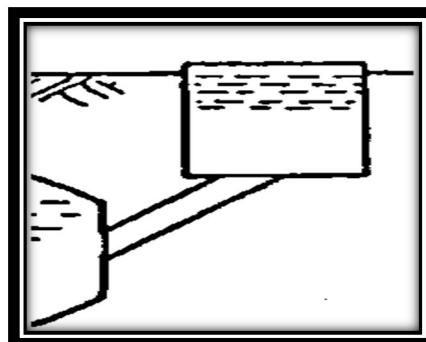


Ilustración 12-1 Cámara de descarga

FUENTE: (Olaya, 2009, 32 p.)

1.2.7 Cámara de almacenamiento de biogás

Se comprende que la relación entre el tanque de fermentación y la cámara de almacenamiento de gas es de 25% de gas y 75% de residuos sólidos los estudios realizados por (J & J, 1985) determinan que la cantidad de gas generado se debe al consumo que se dará dentro de cualquier empresa, industria, hogar, etc.

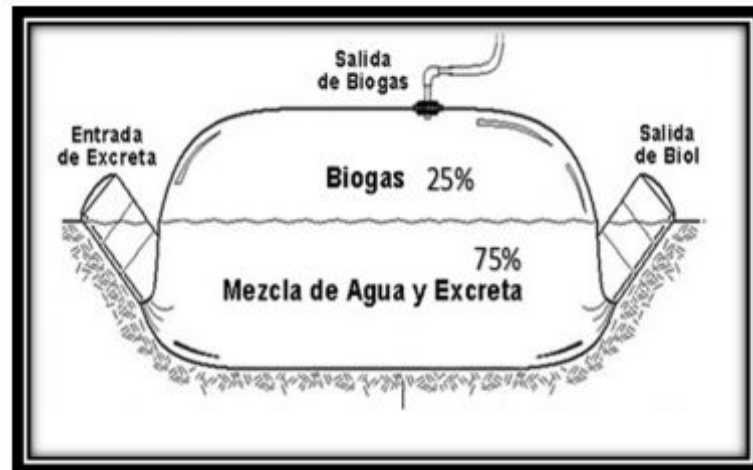


Ilustración 13-1 Porcentaje de gas en la cámara de fermentación

FUENTE: (Olaya, 2009, 32 p.)

1.2.8 Tubería de entrada y salida del biodigestor

La tubería del biodigestor va a depender de su tamaño, es recomendable poner tubos de PVC entre 4 a 8 pulgadas, la ubicación de la tubería de entrada para la alimentación del biodigestor se lo coloca en la parte superior y la de descarga se localiza a unos 20 cm del nivel del suelo del biodigestor para la salida del biofertilizante debido a la densidad del agua y de los residuos sólidos. (Guerrero, 2011, p. 30-46)

1.2.9 Tubería de gas

En la trayectoria que conduce el gas generado en el biodigestor, a la cámara de almacenamiento o directamente para los diferentes usos que lo den en el lugar implementado, se debe tener en cuenta la situación del lugar, es recomendable buscar tuberías que soporten altas presiones como son las de cobre, galvanizado y de polietileno, esta tiene un resistencia al desgaste químico y baja toxicidad siendo muy económica. (Salazar, 2012, p. 20-30)

1.2.10 Válvulas de seguridad

Las válvulas de seguridad permiten que se tenga regulada la presión del gas para evitar que sucedan accidentes debido a que en circunstancias el biodigestor a su máxima capacidad puede sobrepasar los niveles de biogás establecidos en el diseño, por ello la implementación de estas permite que el biogás salga y se dé alivio a la excesiva presión que se encuentra constituyendo uno de los instrumentos muy indispensables de seguridad. (Montes, 2008, p. 22-55)

1.2.11 Purificador del gas

La formación de H_2S en el proceso de generación de biogás es muy inevitable por lo que debe ser necesaria la eliminación por medio de un purificador, este componente es muy corrosivo y venenoso para las personas expuestas en el manejo del biodigestor se lo puede notar con facilidad por su olor característico a un huevo podrido. (Finck, 2009, 104 p.)

El funcionamiento del purificador es atrapar el azufre de los residuos orgánicos o biomasa evitando la generación del H_2S , esto se realiza cuando el vapor del agua procedente del biogás se elimina mediante la condensación evitando que se genere ácido sulfúrico una vez eliminado se debe:

- ✓ Primeramente lavar con detergente, con la finalidad de quitar las grasas.
- ✓ Introducir en una solución de ácido clorhídrico (HCl) entre 5 a 10 minutos.
- ✓ Introducir en una solución de hidróxido de sodio (NaOH).
- ✓ Esto permitirá que las virutas se transformen en óxido ferroso (Fe_2O_3) los cuales forman una reacción inmediata con el H_2S . (Finck, 2009, 104 p.)

1.3 Tipo de materia prima

Podemos entender que materia prima son aquellas sustancias líquidas, sólidas y gaseosas que se utilizan para elaborar otros productos, también podemos nombrar algunas que son fermentables como son los excrementos de animales y humanos, aguas residuales, residuos vegetales, y basuras como los efluentes provenientes de industrias químicas. (Cabanelas, 2012 p. 1-10)

1.3.1 Principales materias primas según sus productos

- ✓ En los Productos orgánicos tenemos al petróleo, gas natural, carbón, extractos de animales y vegetales.
- ✓ En los productos Inorgánicos tenemos a los minerales, aire, agua y carbón.
- ✓ En los metales tenemos a los minerales y sales disueltas.
- ✓ En las que consideramos como energéticos tenemos al petróleo, gas natural, carbón, uranio.
- ✓ En los renovables tenemos a los hidráulicos, eólico, geotérmico, mareomotriz y solar.
(Cabanelas, 2012 p. 1-10)

1.3.2 Rumen

El rumen se encuentra en el pre-estómago y el más grande, representa el 80% y ocupa la parte izquierda de la cavidad abdominal del bovino, el cual está formado por dos sacos en los cuales están el dorsal y ventral. (Van, 2008, p.16-48)

- ✓ El pH del rumen puede variar entre los 5.8 a 7.0
- ✓ La Temperatura del rumiante esta por los 38 a 42 °C

1.3.3 Estiércol

El estiércol esta denominado por los excrementos y la purina en la que consta la orina de los animales y esta materia orgánica puede ser bovina, porcina, vacuno, caprina, caballos, mula etc. Pero tenemos los denominados ricos en Nitrógenos que son el estiércol de aves, gallinaza y palomas, el guano proviene de las aves marinas que se acumulan en el litoral. (Mcgarry, 1978, 91 p.)

1.3.3.1 Aplicaciones del estiércol

Décadas atrás se utilizaba el estiércol como abono orgánico para los suelos en la agricultura ya que este abono enriquecía la fertilidad de los suelos y los reponía satisfactoriamente. A esto viene la utilización para elaborar compost que se obtiene de un bioproceso. (Martínez, 1995, 60 p.)

También podemos decir que el estiércol es una fuente de elementos nutritivos para las plantas como el Nitrógeno(N), Fosforo (P) y Potasio (K). (Martínez, 1995, 60 p.)

1.3.3.2 Factores que influyen en la cantidad producida y el contenido de nutrientes en el estiércol.

Entre ellos podemos destacar:

- ✓ TIPO DE GANADO: Van a variar tanto con la especie y dentro de esta el tipo de ganado.
- ✓ ALIMENTACIÓN: Esto hace que varíe tanto la cantidad del estiércol como la cantidad de nutrientes (N, P, y K).
- ✓ CONDICIONES AMBIENTALES: Hay que considerar factores como la adición de agua.
- ✓ DURACIÓN Y CONDICIONES DE ALMACENADO: El almacenado debe ser básico para evitar una pérdida de nutrientes. (Martínez, 1995, 60 p.)

Tabla 2-1 Cantidad de estiércol por distintos animales y el rendimiento de biogás

ESPECIE	PESO VIVO	Kg ESTIÉRCOL/día	L/kg. S.V.	% CH4
Cerdos	50	4,5 - 6	340 - 550	65 - 70
Vacunos	400	25 -40	90 - 310	65
Equinos	450	12 - 16	200 - 300	65
Ovinos	45	2,5	90 - 310	63

FUENTE: Soria, 2009, p. 49,80)

Tabla 3-1 Generación de biogás de estiércol bovino

1 Kg de estiércol Fresco (EF)	0,20 Kg de solidos totales (ST)
1 Kg de Solidos Totales (ST)	0,8 Kg de solidos volátiles (SV)
1 Kg de Solidos Totales (ST)	0,3 m3 de biogás @ (35 °C Y Pr.Atm)
1 Kg de Solidos Totales (ST)	0,25 m3 de biogás @ (30 °C Y Pr.Atm)
1 Kg de Solidos Totales (ST)	0,2 m3 de biogás @ (25 °C Y Pr.Atm)
1 Kg de Solidos Totales (ST)	0,16 m3 de biogás @ (22 °C Y Pr.Atm)
1 Kg de Solidos Totales (ST)	0,10 m3 de biogás @ (18 °C Y Pr.Atm)
1 Kg de Solidos Totales (ST)	0,08 m3 de biogás @ (15 °C Y Pr.Atm)

FUENTE: (Soria, 2009, p. 49,80)

1.3.4 Biomasa

La biomasa abarca un conjunto de materia orgánica tanto por su origen como por su naturaleza, y la energía de la biomasa deriva del material vegetal y animal, tal como madera de bosques, residuos de procesos agrícolas y forestales, y de la basura industrial, humana o animal. (Fernández, 2006, 20 p.)

También debemos tomar en consideración que la biomasa se utiliza actualmente para procesos eficientes y limpios para convertirla en energía transformándola por ejemplo en biocombustibles líquidos (biohidrocarburos, aceites vegetales derivados de ellos, aceites de pirolisis, alcoholes, etc.), sólidos (paja, astillas, leña sin procesar, carbón vegetal, etc.) y gaseosos (biogás, hidrógeno, gas de gasógeno , etc.) (Fernández, 2006, 20 p.)

1.3.4.1 Fuentes de biomasa para fines energéticos

1.3.4.1.1 Biomasa natural

Es la que se produce en la naturaleza sin ninguna intervención humana. Siendo una utilizada en la antigüedad por la humanidad para cocinar y como medio para calentarse en la noche, pero este tipo de biomasa no es método el primordial como energía alternativa ya que por la tala de los bosques puede llegar a producir alteraciones en los ecosistemas llegando a producir un sobreconsumo que genera problemas de desertización. (Montes, 2008, p. 22-55)

1.3.4.1.2 Biomasa residual (seca y húmeda)

Son los residuos que se generan como consecuencia de procesos que hayan utilizado la biomasa en actividades de agricultura (leñosa y herbácea) y ganadería, en las forestales, en la industria maderera y agroalimentaria, entre otras y que todavía pueden ser utilizados y considerados subproductos. (Fernández, 2006, 20 p.)

1.3.4.2 Ventajas medioambientales del uso de la biomasa como recurso energético

En lugar de combustibles fósiles que se utiliza actualmente debemos tomar conciencia al uso de la biomasa y dar beneficios al ambiente como son:

- ✓ Disminuir las emisiones de azufre.
- ✓ Disminuir las emisiones de las partículas.

- ✓ Reducir emisiones de contaminantes como CO, HC y NOx.
- ✓ Que el CO₂ no contribuya al efecto invernadero.
- ✓ Aprovechar los residuos agrícolas, evitando su quema en terreno.
- ✓ Mejora socioeconómica en las áreas rurales.
- ✓ Promover energías alternativas para producir energía mediante la biomasa.

Estas ventajas convierten a la biomasa en una fuente de gran importancia y haciéndola potencialmente una herramienta para el equilibrio territorial y empleándola en el futuro con nuevas energías. (Rico, 207, 112 p.)

1.3.4.3 Procesos de transformación para los diferentes usos de la biomasa

Los procesos que sufren cada tipo de biomasa son modificados de acuerdo a la transformación de la composición de la materia prima dando como resultado final candidades indispensables de energía para el funcionamiento de los diferentes usos como se lo determina en la siguiente Tabla. (López, 2006, p. 40-96)

Tabla 4-1 Proceso de Transformación de la biomasa

MATERIA	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	TRANSFORMACIÓN DE BIOMASA	PRODUCTO FINAL	USOS
MATERIALES ORGÁNICOS CON HUMEDAD ALTA	ESTIÉRCOL	DIGESTIÓN ANAERÓBICA	BIOGÁS	MOTORES DE COMBUSTIÓN
	RESIDUOS DE ALIMENTO		METANOL	TURBINAS DE GAS
	EFLUENTES INDUSTRIALES	FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA	ETANOL	HORNOS Y CALDERAS
	RESIDUOS URBANOS		BIODIESEL	ESTUFAS DOMESTICAS
MATERIAL LIGNOCELULOSICOS(CULTIVOS ENERGÉTICOS; RESIDUOS FORESTALES: COSECHAS Y URBANOS)	POLVO	DENSIFICACIÓN	CALOR	HORNOS Y CALDERAS
	ASTILLAS	COMBUSTIÓN DIRECTA	HIDROGENO	TURBINAS DE GAS
	PELLETS	PIROLISIS		MOTORES DE COMBUSTION
	LEÑOS	GASIFICACIÓN	BIODIESEL	ESTUFAS DOMESTICAS
	CARBÓN VEGETAL			

Fuente: (López, 2006, p. 40-96)

1.4 Digestión anaeróbica

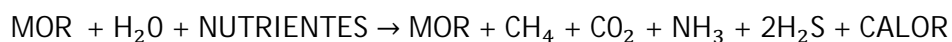
La digestión anaeróbica también conocida como fermentación anaeróbica es un proceso muy complejo que se realiza sin la presencia de oxígeno cuyo principio fundamental es la degradación de la materia orgánica (MO) con la ayuda de microorganismos llegando a producir emanaciones de diferentes tipos de gases como son el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂) siendo los principales componentes del biogás que son aprovechados para diferentes procesos que requieran energía. (Ponsuelo, 2001, p. 21-55)

1.4.1 Ciclos de la digestión anaeróbica

El proceso de digestión anaeróbica tiene un ciclo en el que cada proceso que se realiza es un tipo de conversión, dando variaciones de tipos de bacterias que son. (Finck, 2009, 104 p.)

- ✓ Hidrólisis
- ✓ Acetogénesis
- ✓ Metanogénesis

Durante cada proceso se debe contener en un sistema cerrado dependiendo del tiempo en el que se va a producir intervalos de temperatura dentro del sistema provocando que se generen primeramente metano (CH₄); dióxido de carbono (CO₂); Amoníaco (NH₃) y materia orgánica no degradable (MOR) como se efectúa en la siguiente ecuación: (Metcalf, 2003, p. 563-644)

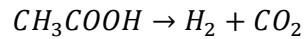


1.4.1.1 Hidrólisis

Durante la hidrólisis la degradación que se efectúa en la materia orgánica es producida por las bacterias hidrolíticas ejerciendo un proceso enzimático, transformando la materia orgánica en compuestos orgánicos solubles producidos por la despolimerización de monómeros o polímeros y por último los lípidos pero con estructura simple obteniendo CO₂ Y H₂. (Santianes, 2012, p. 110)

1.4.1.2 Acetogénesis

En el ciclo de la Acetogénesis actúan las bacterias acetogénicas realizando una degradación a los compuestos de menos peso molecular como son los ácidos grasos expresados en la siguiente ecuación: (Finck, 2009, 104 p.)



El proceso de degradación requiere una excesiva demanda de energía lo cual es posible por la relación con bacterias metanogénicas obteniendo productos como ácidos grasos volátiles (Amoníaco, Butírico, Ac acético, etc.).

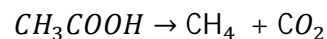
Se recomienda dar un debido control al porcentaje de hidrogeno que se produce para que no se afecte el metabolismo de las bacterias. (Metcalf, 2003, p. 563-644)

1.4.1.3 Metanogénesis

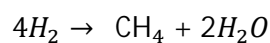
La presencia de las bacterias en este ciclo son las achibacterias que son muy antiguas considerándolas con características propias de este género estas actúan en la degradación de los compuestos sencillos del ciclo Acitogénesis dando como producto el metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) (Gonzales, 2009).

Para la obtención de los productos ya mencionados se debe hacer dos tipos de reacciones explicadas en las siguientes ecuaciones:

- 1) Obtención del metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) por la presencia de las bacterias acetófilas:



- 2) La formación de metano y agua basado en condiciones termodinámicas por la presencia de las bacterias methanosaeta :



Cada microorganismo tiene propiedades únicas que lo hacen indispensable para cada etapa o proceso en el que actúen facilitando así el funcionamiento del biodigestor. (Hilbert, 2009, 57 p.)

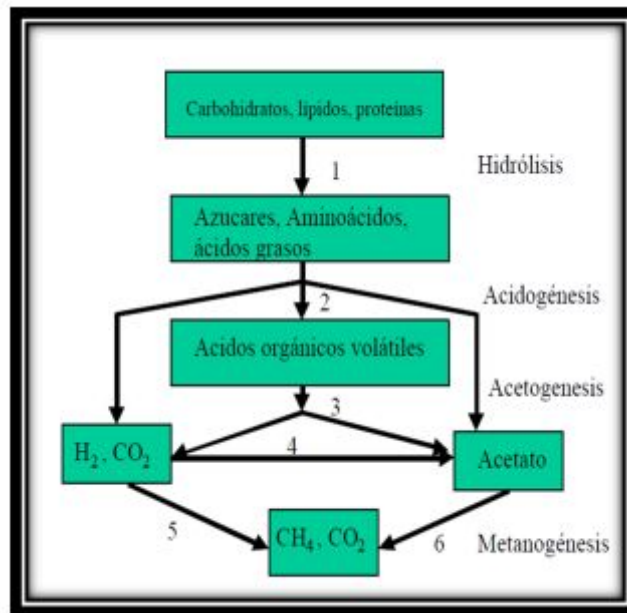


Ilustración 14-1 Digestión anaeróbica
 FUENTE: (Silva, 2002, p. 30-39)

1.4.2 Factores influyentes en la degradación anaeróbica

La degradación anaeróbica presenta factores que pueden limitarse debido a que son sensibles a las diferentes variaciones en los siguientes parámetros físicos y químicos tanto dentro del reactor como en las reacciones bioquímicas. (Montes, 2008, p. 22-55)

1.4.2.1 Temperatura

La temperatura es uno de los parámetros fundamentales para la digestión, se ha demostrado que la oscilación dentro del proceso de digestión puede ser de 20° - 40 °C donde no se producen alteraciones absolutas por consiguiente se trabaja en tres tipos de rangos explicados en la Tabla 5. Se recomienda que a mayor aumento de temperatura hay la posibilidad de aumento de la actividad metabólica provocando un tiempo de retención mínimo. (Fernández, 2006, 20 p.)

Vale recalcar que si se supera la temperatura de 60 °C se provocara la inhibición de las bacterias ni tampoco tener una temperatura menor a los 20 °C ya que se provocara que el tiempo de retención hidráulica es muy corto dando, lugar a que las bacterias sean expulsadas fuera del sistema cerrado. (Finck, 2009, 104 p.)

Tabla 5-1 Tipo de temperaturas

TEMPERATURAS	MÍNIMO	MÁXIMO	OPTIMO
Sicrofílica	4- 10	25 – 30	15 - 18
Mesofílico	15 - 20	35 – 45	28 - 33
termofílico	25 - 45	75 – 80	50 - 60

FUENTE: (Finck, 2009, 104 p.)

1.4.2.2 pH

Para que el proceso de degradación tenga una estabilidad se recomienda controlar el pH dando una variación entre 6 a 8.3 como máximo. Se debe recalcar que si se tiene un pH ácido se producirá una toxicidad dentro del proceso de digestión que afecta a las bacterias metanogénicas, se realizó estudios donde se determinó que si el pH disminuye se corre el peligro de generar mínimas cantidades de gas y cambiando la composición del gas generando malos olores si esto sucede se está generando un gas con más presencia de CO₂ y un aumento de H₂S. (Montes, 2008, p. 22-55)

Tabla 6-1 Variaciones del pH

pH		EFECTO
MÍNIMO	MÁXIMO	
7.2	7.2	OPTIMO
≤	6.2	RETARDA LA ACIDIFICACIÓN
≥	7,6	RETARDA LA AMONIZACIÓN

FUENTE: (Finck, 2009, 104 p.)

1.4.2.3 Nutrientes

Los nutrientes necesitan un medio muy estable para poder desarrollarse que sea rico en NKP (Nitrógeno, Potasio, Fósforo) que le proporcione una fuente de energía permitiendo que se tenga una óptima relación entre el carbono y nitrógeno facilitando la digestión anaeróbica con una oscilación de 20 a 30 si se trabaja con valores menores a 20 se disminuirá la velocidad de la reacción y en altas concentraciones se producirá que el nitrógeno se degrade rápidamente por los metanógenos causando una mínima cantidad de biogás. (Moncayo, 2008 37 p.)

1.4.2.4 *Tiempo de retención hidráulica*

El tiempo de retención hidráulica se lo determina como el tiempo en el que el sustrato permanece en el sistema cerrado donde actúan las bacterias solo puede ser válido en sistemas batch (sistemas discontinuos) pero en sistemas semicontinuos o continuos su tiempo de retención hidráulica va a ser determinado por el volumen del tanque de fermentación y la entrada inicial para la alimentación en el sistema cerrado. (Metcalf, 2003, p. 563-644)

El diseño, su forma, y características que se encuentre empleado en el sistema cerrado es fundamental para que el tiempo de retención hidráulica pueda evitar variaciones para determinar el tiempo de retención líquido con el sólido ya que son datos muy diferentes pero indispensables para cada sistema cerrado. (Finck, 2009, 104 p.)

Es importante mencionar que el tiempo de retención hidráulica con la temperatura va de la mano debido a que a mayor temperatura se va a acelerar la digestión provocando menor tiempo de retención hidráulica por consiguiente el diseño del tanque de fermentación será menor, es decir que va a requerir menor volumen.

El tiempo de retención hidráulica nunca va a ser igual en todos los sistemas cerrados empleados ya que van a tener variaciones dependiendo en la zona que se encuentran como se lo explica en la siguiente tabla. (Chavarría, 2014, p. 23-26)

Tabla 7-1 Tiempo de retención hidráulica con variaciones de temperatura

TRH (DÍAS)	TEMPERATURA
15	30 y 35° C
25 - 30	10 a 25 °C
80 a 90	8 A 12 °C

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

1.4.2.5 *Contenido de sólidos*

La operación de los sólidos debe mantenerse en un porcentaje de 10 dando a conocer que la biomasa tenga un alto contenido de humedad de acuerdo a estudios realizados, se ha revelado que mayor al 10 % del contenido de sólidos se llegara a inhibir el proceso de digestión. (Soria, 2009, p. 49,80)

1.4.2.6 Inhibidores

Para no provocar la inhibición de las bacterias se recomienda que al ingresar la biomasa no se encuentre con metales pesados y detergentes ya que si se encuentran con cualquiera de estos productos puede causar que las bacteria se mueran por consiguiente para el proceso de digestión ya que poseen altas concentraciones de ácidos volátiles como es de. (Santianes, 2012, p. 110)

- ✓ ≥ 2.000 ppm Mesofílicos
- ✓ ≥ 3.600 ppm Termófila

Se debe tener en cuenta también que no solo estos compuestos pueden causar la inhibición si no se tiene un debido control en los siguientes aspectos:

- ✓ El oxígeno aunque no tiene un grado de inhibición permanente debido a que los microorganismos van digiriendo o consumiendo el oxígeno.
- ✓ La biomasa al poseer un alto contenido de hidrogeno tiene la facilidad de que en el medio produzca amoniaco provocando la inhibición del proceso. (Moncayo, 2008 37 p.)

La siguiente tabla mencionara los principales inhibidores que ocasionen que la digestión se detenga.

Tabla 8-1 Principales inhibidores de la digestión anaeróbica

INHIBIDORES	CONCENTRACIÓN INHIBIDORA
Sulfuro	200
Cu	10-250
Cr	200-2.000
Zn	350-1.000
Ni	100-1.000
CN	2
Na	8.000
Ca	8.000
Mg	3.000

FUENTE: (Santianes, 2012, p. 110)

1.4.2.7 Agitación

El sistema de agitación permite que la mezcla se homogenice, esto ayuda a mantener una temperatura homogénea, permitiendo con esto la generación de gases y minimizando la formación de una especie de nata con espuma, el no tener este mezclado puede ocasionar una sedimentación. (Martínez, 1995, 60 p.)

Los tipos de mezclado o agitación son de dos formas mecánica o neumática facilitando que se tenga una presión equilibrada en el tanque de fermentación al momento de producir biogás, vale mencionar que no puede ser muy rápido el mezclado debido a que se puede destruir el consorcio bacteriano

Estudios realizados demuestran que en la antigüedad se trabajaba con un mezclado muy convencional de manera que según. (Montes, 2008, p. 22-55)

1.4.3 Tecnología empleada en la digestión anaeróbica

Debido a los procesos de digestión y a la necesidad de obtener gas de la materia degradada se necesita que para que se dé una adecuada digestión se debe mantener un funcionamiento, crecimiento y un diseño bien estructurado logrando el desarrollo óptimo de degradación dando lugar a una serie de tipos de digestores que se los simplificara y analizara en función de la carga, la intensidad de la mezcla del contenido orgánico y el manejo del sustrato. (López, 2006, p. 40-96)

Tabla 9-1 Tipo de digestores

1.- Carga	a) Sistema Batch b) Sistema Continuo o Semicontinuo
2.- Intensidad de Mezcla	a) Mezcla Completa b) Mezcla Parcial o Nula
3.- Manejo del Sustrato	a) Contacto Anaeróbico b) U.A.S.B. :(Upflow Anaerobic Sludge Blanket c) Lecho Fluidizado d) Filtro Anaeróbico
4.- Manejo Bioquímico	a) Una Etapa b) Dos Etapas

FUENTE: (Hilbert, 2009, 57 p.)

1.5 Productos obtenidos de la materia orgánica

1.5.1 Biogás

El biogás es una mezcla de gases que se obtiene por la fermentación anaerobia que ocurre en los residuos orgánicos denominado como Biomasa, obteniendo dos principales compuestos el (CH_4) y (CO_2). (Santianes, 2012, p. 110)

Este gas está compuesto de un 54-70 % de gas metano, 27-45 % de dióxido de carbono, Hidrógeno (H_2) 0-1 %, Nitrógeno (N_2) 0.5-3 % y unas pequeñas cantidades con 1% de ácido sulfhídrico (H_2S). La producción de biogás tiene un potencial energético de 5300 a 5800 Kcal/ m^3 y se lo puede utilizar para algunos usos energéticos y así disminuimos el consumo de otros combustibles que son el queroseno, carbón o leña. (Hilbert, 2009, 57 p.)

Tabla 10-1 Composición del biogás

METANO (CH_4)	54 – 70 %
ANHÍDRIDO CARBÓNICO (CO_2)	27 – 45 %
HIDRÓGENO (H_2)	0 – 1 %
NITRÓGENO (N_2)	0.5 – 3 %
ÁCIDO SULFHÍDRICO (H_2S)	1 %

FUENTE: (Ingeniería Alemana, 2009, p. 23-30)

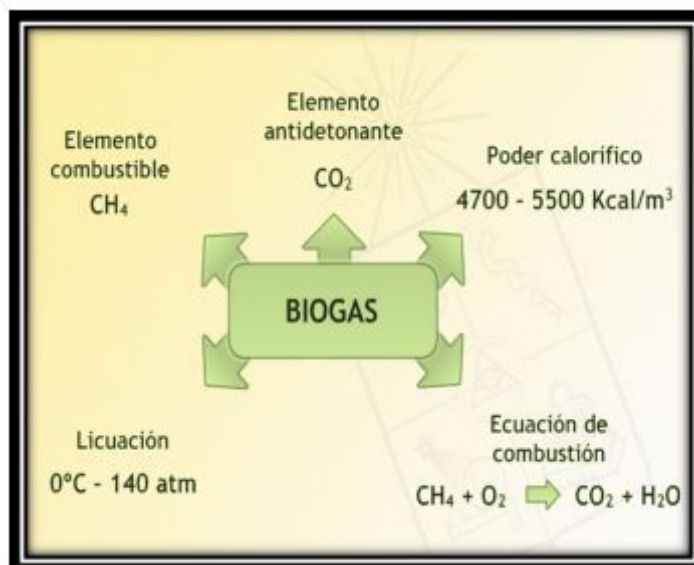


Ilustración 15-1 Biogás

FUENTE: (Varnera, 2011, 119 p.)

1.5.2 Características del biogás

El principal componente para obtener biogás es el rumen, estiércol y materias vegetales, que pueden ser transportadas por medio de tuberías para utilizarlas para diferentes necesidades por ejemplo: para cocción de alimentos. (Hilbert, 2009, 57 p.)

No es fácil construir una planta para obtener gas, se necesita tiempo, dinero y trabajo para esto debemos tomar algunas consideraciones. (Hilbert, 2009, 57 p.)

- ✓ La unidad debe ser ubicada lo más cercana al lugar donde se encuentre la materia orgánica.
- ✓ Las temperaturas ideales para obtener biogás está comprendida entre 32 °C a 37 °C y si tenemos temperaturas inferiores de 10 °C totalmente no vamos a tener gas.
- ✓ La materia prima como el rumen, estiércol y la materia orgánica se debe tener en abundancia. (Hilbert, 2009, 57 p.)

1.5.2.1 Metano

El metano proviene de forma natural por la fermentación anaerobia de las sustancias orgánicas, también se produce en los sistemas digestivos de los rumiantes, en la explotación de combustibles fósiles y la quema de biomasa. La mitad de la producción de biogás proviene de los sembríos de arroz y de la actividad animal; en cambio la cuarta parte proviene de las partes pantanosas y húmedas, los rellenos de basura y otras sustancias orgánicas en descomposición contribuyen un 5% de las emisiones de metano. (Lara, 2011, p. 5-43)

1.5.2.2 Aplicaciones del biogás

La aplicación del biogás ha sido muy diversa debido a su poder calorífico las personas para su uso personal empleándolo al cocinar, como energía eléctrica en alumbrados, utilizándolo como calefacción dando como resultado el remplazo total de los combustibles fósiles. (Suntagsi, 2010, p. 23-26)

Tabla 11-1 Consumo de biogás para algunas actividades

ACTIVIDAD	UNIDADES
Cocina	0.20 – 0.45 m ³ /h
Lámpara	0.07 – 0.17 m ³ /h
Refrigerador tamaño medio	2.00 – 2.20 m ³ /h
Motor de cuatro tiempos	0.45 – 0.55 m ³ /HP/h
Campana calefactor	0.16 – 0.23 m ³ /h
Horno de asar	0.42 – 0.44 m ³ /h
Electricidad (1 Kwh)	0.62 m ³ /h
Ducha a gas	0.80 m ³ /h
Hervir agua a 100 °C	0.08 m ³ /l

FUENTE: (Hilbert, 2009, 57 p.)

1.5.2.3 Factores que afectan a la producción de biogás

Existen algunos factores que influyen para que el biogás no pueda producirse en la actividad metabólica debido a la intervención de microorganismos en cada etapa que pueden alterar su conversión anaerobia. (Vamera, 2011, 119 p.)

Entre ellos tenemos los más principales que debemos tomar en cuenta que son:

- ✓ Tipo de sustrato (materia prima).
- ✓ Temperatura del sustrato.
- ✓ Tiempo de retención.
- ✓ Nivel de acidez (pH).
- ✓ Relación C/N.
- ✓ Concentración del sustrato.
- ✓ Grado de mezclado.
- ✓ Presencia de compuestos inhibidores del proceso. (Vamera, 2011, 119 p.)

1.5.3 Obtención del bioabono

El bioabono se obtiene de la descomposición anaerobia de los residuos orgánicos siendo un residuo inerte e inodoro el cual podemos encontrarlo en forma líquida o sólida, también depende de la materia prima que podemos utilizar conjuntamente con el tiempo de fermentación y las condiciones climáticas y ambientales. (Vamera, 2011, 119 p.)



Ilustración 16-1 Equivalencia del bioabono
 FUENTE: (Varnera, 2011, 119 p.)

1.5.4 Producción del biogás y el bioabono

Para obtener el biogás y el bioabono se realiza una mezcla de los residuos orgánicos con agua y se introduce en la cámara de digestión. (Ingeniería Alemana, 2009, p. 23-30)

Esta mezcla se descompone dentro del digestor por la acción de microorganismos, en ausencia de oxígeno y se cumple en tres fases donde; la primera fase la denominamos hidrólisis fermentativa, la segunda es formación de ácidos y la última fase es la formación del metano.

El bioabono se obtiene en forma sólida la cual es utilizada para cultivos siendo la más adecuada elevar los nutrientes de las plantas. (Ingeniería Alemana, 2009, p. 23-30)

1.5.5 Biol

El biol procede de la degradación de la materia orgánica luego de pasar por un proceso de digestión efectuado por los microorganismos existentes en la misma materia orgánica además se lo puede obtener mediante una filtración de bioabono que se encuentra en un estado sólido. (Zepeda, 2013, p. 12-13)

1.5.5.1 Composición del biol

Para la composición bioquímica del biol nos fijamos en el estiércol y el rumen del ganado que recibe una ración diaria de 60% de alfalfa, 30% de maíz ensilado y 10% de alimentos concentrados. (Solari, 2008, p. 1-4)

CAPITULO II

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Lugar de localización

El Centro de Faenamiento Tena se encuentra ubicado en la Provincia de Napo, Cantón Tena, ciudad Tena, Barrio 21 de Enero, Sector Chimbadero teniendo una extensión de 1,2 hectáreas de terreno. Para su acceso se localiza, a través de una vía lastrada, a 300 metros de la avenida principal que conduce a Archidona y la distancia al área protegida más cercana es Colomso Chalupas con una extensión de 93000 hectáreas. Las condiciones geográficas del CEFATE-CEM están determinadas por la topografía del lugar de ubicación teniendo una temperatura promedio de 28 - 30 °C, con una altura de 500 m.s.n.m. Se debe georeferenciar el sitio de montaje del Biodigestor cuya ubicación está en coordenadas UTM: Este 186107 y al Sur 9895947, Datum WGS84, Zona 17 S (16 de Agosto de 2014 a las 14H00).



2.2 Procesos en el centro de faenamiento Tena cefate-cem

2.2.1 Captación de animales

El centro de faenamiento Tena tiene captación de dos tipos de animales (Bovino, Porcino) por el momento, con una visión futura de iniciar con el faenamiento de ovejas y cabras. Los animales deben tener un periodo de descanso de 12 horas como mínimo después del viaje y cumpliendo con todos los requisitos principales como es la revisión de la documentación de cada camión que ingresa (Guías de Movilización) para posteriormente proceder a la desinfección del camión.

2.2.2 Faenamiento bovino

Incluye las siguientes fases:

Arreo y Pesaje: consiste en la movilización de los animales desde los corrales hasta el área de pesaje y duchado. Los animales son pesados uno a uno para registrar su peso vivo, dato necesario para posteriormente determinar el rendimiento de cada animal y de lote.

Insensibilización y Sangrado: los animales son insensibilizados por acción de un noqueador de tipo neumático (pistola de aire comprimido) que funciona a una presión de 185 psi. Consiste en el seccionamiento transversal del paquete vascular a nivel del cuello para producir sangrado profuso, luego se aplica un choque eléctrico para mejorar el sangrado, mediante la estimulación por corriente directa al corazón.

Corte de cabeza y brazos: separación de la cabeza y brazos del animal. Los animales son suspendidos a un sistema de rieles para facilitar las operaciones subsecuentes y evitar el contacto de los animales con el suelo, se cortan las patas y se enrolla el ano para evitar contaminación.

Corte de esternón y Evisceración: proceso que facilita el eviscerado del animal mediante una sierra eléctrica. Extracción de los órganos de la cavidad torácica y abdominal, lavado y despacho de las vísceras. Mediante una sierra eléctrica se procede a dividir al canal en dos medias canales.

Despacho y Transporte: los canales se embarcan en cuartos, octavos, décimos, cortes a granel, o empaquetados al vacío dependiendo del cliente en furgones refrigerados o al menos de tipo isotérmico.

2.2.3 Faenamiento de porcinos

Arreo y Pesaje: movilización de los animales desde los corrales hasta el área de duchado. Los animales son pesados uno a uno para registrar su peso vivo, dato necesario para posteriormente determinar el rendimiento de cada animal y de lote.

Aturdimiento y Sangrado: los animales son insensibilizados con un aturridor eléctrico que funciona a 220 V, con una descarga de 1,5 A por 5 segundos. Consiste en el seccionamiento transversal del paquete vascular a nivel del cuello para producir sangrado profuso.

Escaldado y Raspado: se utiliza agua caliente a 63 °C por 7 segundos para lograr el desprendimiento de pelos y cerdas. Por medio de unas copas especiales se termina de remover el pelo luego del escaldado, en esta etapa también se separan los cascos y de acuerdo al cliente se pueden o no desprender las patas.

Eviscerado: se procede a extraer los órganos internos, se lavan y clasifican.

Despacho y Transporte: los canales se embarcan en enteros, en medios canales, cuartos, cortes a granel, o empaquetados al vacío dependiendo del cliente en furgones refrigerados o al menos de tipo isotérmico.

2.3 Cuantificación de la muestras

2.3.1 Materiales

- ✓ Gaveta de plástico
- ✓ 1 pala para la recolección de los residuos orgánicos
- ✓ Overoles
- ✓ Guantes de plástico
- ✓ Botas de caucho

2.3.2 Equipo

- ✓ Balanza digital (150 Kg)

2.3.3 Método

El monitoreo se efectuó durante un periodo de tres semanas con excepción de los sábados y domingos, recolectando las muestras de 15 cabezas de ganada bovino solo en la mañana debido a que se faenan desde las 8H00 pm hasta las 4H00 am los cuales fueron depositados en una esquina de las instalaciones en forma de una pila.

La cuantificación se la determinó de la siguiente manera:

- ✓ Con la ayuda de una gaveta se determinó el peso de la materia orgánica.
- ✓ Se pesó primeramente la gaveta para poder calcular el peso exacto de la materia orgánica.
- ✓ Con una pala se colocó la materia orgánica en la gaveta solo hasta el filo sin sobrepasar la gaveta para evitar alteraciones en el peso.
- ✓ Se colocó en la balanza digital y se anotó el peso de cada gaveta para obtener el peso total de la materia orgánica
- ✓ Se realizó tablas para la cuantificación del monitoreo de las cuatro semanas y obtener el peso diario de rumen y estiércol que genera en CEFAT-CEM

2.4 Pruebas de laboratorio

2.4.1 Prototipo de laboratorio

2.4.1.1 Determinación del tiempo de retención

2.4.1.1.1 Materiales

- ✓ Botellón de 20 L
- ✓ Guantes
- ✓ Botas
- ✓ Pala
- ✓ Tubería plástica de ½ (PVC)

2.4.1.1.2 Método

El prototipo construido para las diferentes pruebas se lo hizo de la siguiente manera:

- ✓ Para el almacenado de la materia orgánica se escogió un botellón de 20 L en el cual se introdujo agua en su totalidad para descartar fugas.
- ✓ En la tapa se hizo un orificio para introducir la tubería por la cual conduciría el biogás.
- ✓ En la tapa del botellón lista con la tubería se colocó una capa de cinta adhesiva y otra capa de silicona líquida para evitar fugas del biogás.
- ✓ En la tubería que conduce el biogás se hizo colocó una T $\frac{1}{2}$ en la cual se colocó una funda donde se almacenara el biogás en el transcurso de los días.
- ✓ Al final de la tubería se colocó una llave de seguridad para la salida del biogás

Construido el prototipo se añadió residuos orgánicos, para esta investigación se utilizó el rumen que se encuentra en la panza del animal, además se introdujo el estiércol que se genera en los corrales donde se encuentra el ganado durante su llegada al Camal realizando una mezcla de residuos orgánicos.

Llenado el prototipo con el rumen y estiércol se colocó la misma cantidad de agua para obtener la relación una relación de la mezcla de 1:1 la cual se homogenizó bien si se la selló con cinta adhesiva y silicona líquida.

2.4.1.2 Volumen de biogás

2.4.1.2.1 Materiales

- ✓ Botellón de 20 L
- ✓ Guantes
- ✓ Manguera de $\frac{1}{2}$
- ✓ Probeta

2.4.1.2.2 *Método*

Para la prueba experimental del biogás se utilizó el método descrito en el apartado 2.5.1 en el cual se especifica el proceso de llenado del prototipo, posteriormente se hizo un seguimiento para determinar la producción de gas generado además de controlar parámetros como es temperatura, pH.

El monitoreo se lo realizó tres veces en el día (Mañana, Tarde, Noche) controlando la temperatura tanto externa e interna del prototipo para determinar el crecimiento bacteriano y la variación de producción de biogás en cada día. Además de controlar el pH debido a que son las condiciones en las que se va a desarrollar la investigación.

Se colocó una manguera que salga desde el prototipo a una probeta la que nos dará el desplazamiento del agua, se midió la cantidad de volumen de biogás en cada día en las que se tomó la temperatura del prototipo con un termómetro de láser y el pH con la ayuda del peachímetro. Vale recalcar que en los primeros días de producción de biogás se obtuvo presencia de malos olores.

2.4.2 *Prueba de inflamación de biogás*

2.4.2.1 *Materiales*

- ✓ Funda (4,320 L)
- ✓ Prototipo
- ✓ Tubería plástica de ½ (PVC)

2.4.2.2 *Método*

Realizado los apartados 2.5.1 y 2.5.2 se dejó que todo el biogás se acumule en la funda, los datos se los tomó en la segunda semana de producción de biogás para determinar la cantidad de biogás generado en el transcurso del tiempo de retención.

Al momento que se generó una mínima cantidad de gas se abrió la llave de seguridad colocada en la tubería de plástico de ½ (PVC) para observar las características de la flama, del mismo modo se dejó que la funda se llene hasta la mitad y totalmente para proceder a observar la calidad de la flama generada a partir del biogás.

2.5 Propuesta del diseño

El diseño del biodigestor se lo realizó teniendo en cuenta las diversas características que el sector nos proporciona como la climatología, cantidad de materia y demás.

2.5.1 Elección del tipo de biodigestor implementado

Para la elección del biodigestor se tomó en cuenta lo siguiente:

- ✓ Se identificó el problema que afecta al CEFATE-CEM este punto se lo efectuó visitando las instalaciones.
- ✓ Conocido el problema de la investigación se realizó una cuantificación y caracterización de la materia orgánica.
- ✓ Se analizó la vida útil para soportar las condiciones climáticas.
- ✓ Se determinó el lugar de implementación como por ejemplo las situaciones meteorológicas, áreas freáticas, fácil acceso, áreas freáticas, áreas de inundación.
- ✓ Se estimó el costo del proyecto, la factibilidad de los materiales, complejidad del proyecto, control de operación y el rendimiento.

Es así que se determinó la realización de un biodigestor de domo flotante, ya que este al poseer una campana nos proporciona mayor presión para la salida del biogás que va a ser utilizado para la chamuscada de patas de los animales.

2.6 Diseño del biodigestor

2.6.1 Dimensionamiento

Para el dimensionamiento del biodigestor escogido en la investigación se empleó las ecuaciones y cálculos basados en la tesis de (Lara & Hidalgo, 2009) la que aplicamos para obtener las características idóneas y únicas del biodigestor de modo flotante.

2.6.2 Elaboración de planos del biodigestor

Obtenidos los resultados de los diferentes cálculos realizados para el dimensionamiento del biodigestor se elabora los planos para cada vista como son:

- ✓ Vista Superior
- ✓ Vista Longitudinal
- ✓ Vista Frontal
- ✓ Vista Sección Á

Los planos de cada vista del biodigestor abarcan toda la información necesaria para la construcción y ejecución manteniendo la información relevante en las gráficas realizadas en los planos las que contienen:

- ✓ Las acotaciones en cada parte del biodigestor para la interpretación de las diferentes medidas con las que fueron diseñado el biodigestor.
- ✓ Nombre de las estructuras.
- ✓ Ejes permitiendo la ubicación de cada cimiento en la construcción
- ✓ Las escalas correspondientes de cada plano.
- ✓ Simbología de líneas de cada elemento colocada en el biodigestor para evitar equivocaciones.

2.7 Construcción del biodigestor

2.7.1 Localización de la implementación del biodigestor

Para la ubicación del sitio específico de implementación del biodigestor se consideró los siguientes puntos:

- ✓ El biodigestor ser lo implemento en un zona con una leve inclinación en el terreno para facilitar la operación del biodigestor.
- ✓ Se consideró que el lugar implementado no obstaculice al personal que labora en el camal y vehículos que transitan en las instalaciones.
- ✓ Se lo implanto los más cerca a las instalaciones de agua para que no se dificulte la operación del mezclado en el biodigestor.
- ✓ Se realizó estudio topográfico del tipo de tierra donde se realizará la excavación para evitar derrumbamientos durante la construcción debido a terrenos flojos, terrenos con presencia de acuíferos.
- ✓ La zona de ubicación del biodigestor es de fácil acceso y posee un amplio terreno para facilitar la construcción del biodigestor. Además para realizar el cercado para evitar que ingresen personas no autorizadas.

- ✓ Se evitó las zonas posibles de inundaciones y zonas freáticas para que no se ocasionen deslizamiento del terreno durante la construcción del biodigestor y evitarnos riesgos laborales.

2.7.2 Excavación del terreno

La preparación de la excavación se efectuara de la siguiente manera:

- ✓ El terreno escogido para la excavación se lo marco con cal con un ancho de 5 m y un largo de 6 m determinado de acuerdo al tamaño del biodigestor aumento 1 m más para poder tener la facilidad de trabajar al contorno de la construcción del tanque de digestión.
- ✓ Una vez delimitada el área se esperó a la retro excavadora para realizar la excavación del lugar el tiempo que se efectuó en la obra fue de 2H00.
- ✓ El tipo de excavación a realizarse fue de talud debido a que en la zona de implementación tenia declive ocasionando que el agua de lluvia circule justo en la excavación provocando que el terreno se afloje y después existan derrumbos los cuales pueden causar daño a los trabajadores.
- ✓ El material de la excavación se captó cerca de su misma excavación material necesario para el relleno una vez culminada la obra.
- ✓ La profundidad de la excavación fue de 4 m siendo indispensable el uso de una retro excavadora.

2.7.3 Relleno y compactación del terreno

2.7.3.1 Materiales

- ✓ Volqueada de piedras
- ✓ Volqueada de lastre

2.7.3.2 Equipo

- ✓ Retro excavadora

2.7.3.3 *Método*

- ✓ Con la ayuda de la retro excavadora se depositó una capa de 20 cm de piedras con la finalidad de dar un terreno estable y firme.
- ✓ Posteriormente se colocó una capa de lastre grueso dándole al terreno una superficie plana para la construcción del tanque de digestión.
- ✓ Para terminar con la ayuda de la cuchara metálica de la retro excavadora se compacto permitiendo la estabilización de las dos capas de material.

2.7.4 *Construcción de la base del tanque de digestión*

2.7.4.1 *Materiales*

- ✓ 1 Armex de (8 mm 10 X 10 cm)
- ✓ 1 Piola
- ✓ 4 Tablas
- ✓ 1 Clavo
- ✓ 2 Quintales de Cemento

2.7.4.2 *Método*

Para la fundición del piso del tanque de digestión se lo efectuó con una altura de 20 cm en la cual se introdujo una malla de 8 mm de forma circular con mucho cuidado al descenderla dentro de la excavación para evitar accidentes laborables.

La fabricación de la malla se realizó de la siguiente manera con un clavo en una superficie plana que sirvió de eje y con una piola se marcó el tamaño exacto de la circunferencia diseñada para el tanque, de esta manera se hizo el corte de la malla con las dimensiones de 2,50 m. Una vez lista la malla se colocó un cajón de madera con la altura de 20 cm y posteriormente se realizó la fundición del concreto con la malla.

2.7.5 Construcción de la estructura de hierro y colocación del tanque de digestión

2.7.5.1 Materiales

- ✓ 7 Armex (8 mm 10 X 10 cm)
- ✓ 2 Soga
- ✓ 2 Quintales de Cemento

2.7.5.2 Método

La estructura del tanque se realizó completamente con un armazón de hierro de varilla de 8 mm al cual se le dio la forma circular del biodigestor, esta estructura se la compro ya electro soldada a la que denominan armex. Una vez tomada la forma se colocó en la excavación para hacer los respectivos amarres con alambre dejándola lista para la fundición. Además se realizó dos agujeros por los cuales se introdujo la tubería correspondiente de la cámara de alimentación y la de descarga.

2.7.6 Fundición del tanque del biodigestor

2.7.6.1 Materiales

- ✓ EPP
- ✓ 40 Quintales de Cemento
- ✓ Lastre fino
- ✓ 1 Carretilla
- ✓ Agua
- ✓ 2 Palas
- ✓ 5 fundas de Clavos (2 pulgadas)
- ✓ 2 Codos (45°)
- ✓ Alambre de amarre
- ✓ 15 Triplex
- ✓ 20 Tablones
- ✓ 70 Varengas (2,40 m x 10 cm)

2.7.6.2 *Equipo*

- ✓ Concretera

2.7.6.3 *Método*

Primero antes de realizar la fundición del tanque se dio la forma circular al tanque donde se colocó las planchas de triplex sujetándolas con unas varengas tanto interno como externo donde está colocada la malla electrosoldada.

Entre el encofrado y el contrachapado se debe poner unos topes de 20 cm ya que esta medida será la pared circular del biodigestor, luego colocamos entre cada varenga alambres y lo cruzamos para sujetarlos bien y así nos aseguramos que el encofrado y el contrachapado quede listo para la fundición de la primera fase con hormigón armado.

Cuando la primera fase está terminada y lista, se comenzó por la siguiente fase del segundo piso que trata de unir las dos secciones siguiendo la misma secuencia como guía tenemos a las varengas que colocamos anteriormente, se colocó los topes y el alambre galvanizado también en esta sección para que al momento de la fundición del hormigón armado no tenga complicaciones al llevar a cabo lo esperado.

Se realizó la mezcla del concreto con lo siguiente: un quintal de cemento, agua y lastre, para facilitar la obra, se utilizó una concretera, para ser depositadas en carretillas y llevadas al lugar de la fundición, construimos anteriormente andamios de tablonos con puntales de guadua o contratar andamios prefabricados de estructura metálica para que sea más accesible la entrada y salida de las carretillas en el lugar donde se realizó dicha labor.

Se dejó secar la primera fundición por el lapso de tres días, luego de esto se retiró tanto el encofrado y el enchapado de la primera y segunda fase, aquí cabe mencionar que se revisó bien si la fundición tuvo éxito y procedió a coger fallas por necesidad a esto se sumó la verificación de la tubería que se colocó en la parte inferior del tanque, si se acoplo bien durante la fundición y si no fue así de igual manera tratar de coger las fallas para que no exista ninguna fuga, gracias a esta precaución estamos garantizando cubrir con material de relleno (lastre grueso) y se procedió a tapar alrededor del tanque ya fundido.

Por tercera vez al realizar el encofrado y enchapado para la tercera fase en la cual se efectuó el mismo trabajo como se hizo en las anteriores fases pero aquí se verifico que la otra tubería debe estar colocada en la parte superior del tanque pues en esta se va alimentar de materia orgánica en el tanque.

Comenzamos con la fundición de la tercera y última fase, la que corresponde con una medida de 4m de profundidad, con un diámetro interno de 2.5 m y el grosor del circulo de 0.20 cm. Se procedió a desmontar el encofrado y enchapado, verificando si el terminado de la fundición quede satisfactoriamente sin fugas.

Luego de verificar nuestro tanque construimos una loza de 0.20 cm, esta se utilizó para fundir una ceja de 0.10 cm y es donde va a ir la campana de acero acoplada en la misma, con una altura desde la parte superior de 1.10 m, entonces quiere decir que la loza debe ser lo suficientemente resistente para que soporte un peso de 12 quintales que comprende la totalidad de construcción de la campana de acero de 6 mm.

Al realizar las especificaciones anteriores se reforzó con puntales que son nada más palos, que se puso alrededor, donde está la ceja internamente para tratar de dar la forma circular lo más precisa que se pudo, esto es porque la campana se fabricó con un diámetro exacto y nos ayudó a que la campana se acople sin problema alguno.

La fundición final se dejó secar bien durante 3 días, después se retiró todo lo que respecta al encofrado, enchapado de la ceja y los puntales. Además en la ceja se debe hacer una prueba ya que ahí se va a llenar de agua (sello hidráulico), y no debe existir ninguna falla por motivos de que el agua nos servirá como un bloqueo para que el biogás que se genere en el biodigestor no escape.

2.7.7 Construcción de los tanques carga y descarga

2.7.7.1 Materiales

- ✓ 5 Quintales de Cemento
- ✓ 2 Codos (45°)
- ✓ 10 tablas
- ✓ 1 funda de clavos (2 pulgadas)
- ✓ Lastre
- ✓ 1 Carretilla

- ✓ Agua
- ✓ 2 Palas

2.7.7.2 *Método*

El tanque de carga se construyó encima del tubo de carga y sirve como sitio de mezcla del material a ser digerido, el cual debe tener un volumen mínimo igual al volumen de carga diaria que va ingresar al biodigestor.

El tanque de descarga es aquel que puede ser una protección para la extremidad del tubo de descarga y sirve para que dirija el flujo del material digerido (efluente).

La construcción de los tanques de carga y descarga se utilizó una malla prefabricada electrosoldada y hormigón armado con una mezcla de cemento, agua y lastre con arena.

Se procedió a fundir las paredes de las cajas tanto de carga y descarga teniendo cuidado con las tuberías que encontramos en la parte inferior de las cajas, para esto se procede a tapar con papel para que no ingrese algún material por lo general el concreto con lo que se está manipulando, llegando a la terminación de las cajas.

2.7.8 *Elaboración de la campana*

2.7.8.1 *Materiales*

- ✓ 6 planchas de acero (6 mm)
- ✓ 2 fundas de electrodos (7018)
- ✓ Pintura

2.7.8.2 *Equipo*

- ✓ Baroladora
- ✓ Equipo de suelda
- ✓ Compresor de aire

2.7.8.3 *Método*

La elaboración de la campana de acero es de una lámina de espesor de 6 mm debido que entre más gruesa la lámina se tendrá una mayor vida útil ya que el lugar donde se va a ser implementado es un lugar húmedo y al mismo tiempo seco siendo más propenso a corrosión.

Durante la construcción se lo realizó por partes debido a que las dimensiones de las planchas de acero son de 2,40 m por 1.22 m se necesitó 6 planchas de acero para la elaboración de la campana, para tener la forma circular se lo coloco en un rodillo el cual se lo denomina como la baroladas de las planchas.

Para la soldadura de la campana se utilizó electrodos de 7018 para tener más resistencia a la humedad debido al bajo contenido de hidrogeno siendo un tipo de soldadura suave y que no produce salpicaduras al momento de utilizarlas es indispensable para trabajos como calderas, hornos, tanques de combustibles, etc.

Terminado el trabajo de soldadura de la campana es recomendable aplicar dos manos de pintura para evitar el deterioro de la campana estando lista para la ubicación en el tanque de digestión para quedar totalmente hermetizado listo para su funcionamiento. Vale recalcar que se contrató una grúa para el levantamiento de la campana.

2.7.9 *Colocación de los implementos para el monitoreo del gas en la campana*

2.7.9.1 *Manómetro*

2.7.9.1.1 *Materiales*

- ✓ 1 unión (1 Pulgada)
- ✓ 2 neplos (1 pulgada)
- ✓ 1 unión reductora (1 Pulgada a ½)
- ✓ 1 codo de ½
- ✓ 1 Teflón
- ✓ 1 Permatex
- ✓ 1 Llave de tubo

2.7.9.1.1.1 Equipo

- ✓ Manómetro (40 psi)

2.7.9.1.2 Método

Para instalar el manómetro se colocó una unión de 1 pulgada en la campana de acero que permite la facilidad para colocar el mencionado aparato, para la instalación se realizó de la siguiente manera:

- ✓ En cada proceso de instalación se colocó en las roscas, teflón y permatex.
- ✓ Primeramente se colocó la llave de seguridad de 1 pulgada.
- ✓ Se añade encima de la llave de seguridad 1 unión reductora que va de 1 pulgada a ½.
- ✓ Para posteriormente ser colocado el manómetro.

2.7.9.2 Fluómetro

2.7.9.2.1 Materiales

- ✓ 1 unión (1 Pulgada)
- ✓ 2 neplos (1 pulgada)
- ✓ 1 unión reductora (1 Pulgada a ½)
- ✓ 1 codo de ½
- ✓ 1 Teflón
- ✓ 1 Permatex
- ✓ 1 Llave de tubo

2.7.9.2.1.1 Equipo

- ✓ flujómetro (L/s)

2.7.9.2.2 *Método*

El flujómetro nos sirve para medir el caudal de gas emitido por el biodigestor y para la instalación se debe efectuar de la siguiente manera:

- ✓ En cada proceso de instalación se colocó en las roscas teflón y permatex.
- ✓ Se colocó la llave de seguridad de 1 pulgada.
- ✓ Se añadió encima de la llave de seguridad 1 unión reductora que va de 1 pulgada a ½.
- ✓ Para posteriormente colocar un codo de ½ donde se instaló el flujómetro.

2.7.9.3 *Filtro de h_2S*

2.7.9.3.1 *Materiales*

- ✓ Tubería de plástico 1/2
- ✓ Viruta metálica

2.7.9.3.2 *Sustancias*

- ✓ Ácido Clorhídrico (HCl 5%)
- ✓ Hidróxido de Sodio (NaOH 5%)

2.7.9.3.3 *Método*

La viruta metálica se la puede conseguir en mecánicas o las que realizan trabajos de torno para que la viruta mecánica no llegue a colapsarse se le añade dos sustancias importantes como son el ácido clorhídrico e hidróxido de sodio de la siguiente manera:

- ✓ En un vaso de precipitación se colocó el ácido clorhídrico y se le añade la viruta metálica dejándola reposar durante 10 minutos como máximo tiempo para después dejarlo secar.
- ✓ Después se la introdujo en NaOH por el mismo lapso de tiempo, esto permitió que la virutas metálicas se transformen en Fe_2O_3 las que van a atrapar el H_2S .
- ✓ Ya lista la viruta metálica se la coloco en la tubería de pvc de 1/2 y así se logró controlar los olores en la salida del biogás

2.8 Arranque de la planta

2.8.1 Mezclado de la materia prima

2.8.1.1 Materiales

- ✓ Guantes.
- ✓ Botas.
- ✓ Manguera de agua.
- ✓ Un agitador (palo de madera).
- ✓ Carretilla.
- ✓ Overoles.

2.8.1.2 Método

- a) La muestra se recogió del lugar donde se depositó el rumen después del faenamiento y el estiércol de los corrales.
- b) Se colocó en la carretilla y lleno al ras para evitar el desperdicio de los R.O durante el trayecto donde se va realizar la mezcla.
- c) El mezclado se lo realizó con una relación de 1:1 (mitad de estiércol y la mitad de agua), como se menciona en el capítulo I que menciona el autor. (Estrada, 2013, p. 1-16)
- d) En el tanque de mezclado se colocó primero la cantidad de rumen y estiércol, posteriormente se le añadió agua en partes iguales y por último se debe homogenizar toda la mezcla.
- e) Se tomó los siguientes parámetros temperatura y pH en la mezcla antes de ingresar a la cámara de digestión con la finalidad de tener una fermentación adecuada.
- f) Cuando este bien equilibrada la mezcla entre el agua, rumen y estiércol, se alzó el tapón que se encuentra en la parte inferior del tanque de mezclado para evitar la salida del biogás.
- g) Cuando haya ingresado toda la mezcla en la cámara de digestión se colocó el tapón rápidamente.

2.8.2 Control de parámetros de funcionamiento

2.8.2.1 Medición de la presión

2.8.2.1.1 Materiales

- ✓ Hoja de registro.
- ✓ EPP (equipo de protección personal)

2.8.2.1.2 Equipo

- ✓ Manómetro (40 psi).

2.8.2.1.3 Método

- a) El manómetro se debe mantener con un perfecto estado de limpieza y cuidado
- b) Se realizó una inspección cuidadosa del estado del manómetro observando si el cristal estaba roto y la aguja se encontraba dañada, evitando la lectura de la presión procedente del biodigestor.
- c) La lectura se realizará tres veces al día.
- d) Se anotó las lecturas en la hoja de registro de presión que permitirá sistematizar los datos.

2.8.2.2 Medición de la temperatura

2.8.2.2.1 Materiales

- ✓ EPP (equipo de protección personal).
- ✓ Termómetro mecánico.
- ✓ Hoja de registro.

2.8.2.2.2 *Método*

Se realizó las diferentes lecturas del termómetro que se encuentra instalado en la campana del biodigestor, anotando en la hoja de registro para poder sistematizar los datos, con la finalidad de controlar la temperatura de la cámara de digestión.

2.8.2.3 *Medición del biogás*

2.8.2.3.1 *Materiales*

- ✓ EPP (equipo de protección personal).
- ✓ Flujómetro (mide el caudal del gas).
- ✓ Hoja de registro.

2.8.2.3.2 *Método*

Se dio seguimiento a las mediciones de biogás con el flujómetro que se encuentra instalado en la campana del biodigestor, anotando en la hoja de registro para continuar con la recolección de datos y poder sistematizarlos, esta medida ayudo a verificar cuanto biogás está produciendo y si la fermentación dentro de la cámara de digestión es efectiva.

2.8.2.4 *Análisis fisicoquímico de pre y pos tratamiento de los residuos orgánicos del biodigestor*

2.8.2.4.1 *Materiales*

- ✓ Guantes
- ✓ 2 Recipiente de plástico (ESTÉRILES)
- ✓ Mascarillas
- ✓ Embudo

2.8.2.4.2 *Pre tratamiento*

2.8.2.4.2.1 Método

Se tomó dos muestras de la mezcla previamente homogenizada antes de ingresarla al biodigestor de la siguiente manera:

- ✓ Se homogeniza un recipiente de 1 L con la mezcla de la materia orgánica tres veces.
- ✓ Se tomó dos muestras y se las etiqueto para ser llevada al laboratorio para los análisis respectivos.
- ✓ Se realizó una cadena de custodia para el laboratorio donde consta los datos más relevantes como; fecha, hora, lugar, coordenadas de la muestra tomada.
- ✓ La primera muestra fue llevada al laboratorio de Calidad de agua para determinar DBO, DQO, Sólidos Volátiles, Humedad, pH, Sulfuros.
- ✓ La segunda muestra fue llevada al laboratorio de suelos para determinar N, K, P, C/N.
- ✓ Cada análisis de las muestras se determinó según (APHA-AWWA-WPCF)

2.8.2.4.3 Post tratamiento

2.8.2.4.3.1 Método

Se tomó una muestra de la mezcla degradada a los 25 días y la segunda muestra ha los 30 días después de haber ingresado al biodigestor de la siguiente manera:

- ✓ Se homogeniza un recipiente de 1 L con la mezcla de la materia orgánica tres veces.
- ✓ Se tomó dos muestras y se las etiqueto para ser llevada al laboratorio para los análisis respectivos.
- ✓ Se realizó una cadena de custodia para el laboratorio donde consta los datos más relevantes como; fecha, hora, lugar, coordenadas de la muestra tomada.
- ✓ La muestra de 25 días fue llevada al laboratorio de Calidad de agua para determinar DBO, DQO, Sólidos Volátiles, Humedad, pH, Sulfuros.
- ✓ La muestra de 30 días fue llevada al laboratorio de suelos para determinar N, K, P, C/N.
- ✓ Cada análisis de las muestras se determinó según (APHA-AWWA-WPCF)

2.8.2.5 Pruebas del consumo de gas y biogás

2.8.2.5.1 Materiales

- ✓ EPP
- ✓ Tanque de gas (GLP)
- ✓ Soplete con válvula
- ✓ Fosforo
- ✓ Hoja de registro

2.8.2.5.2 Equipo

- ✓ Cronometro

2.8.2.5.3 Método

Se dejó que el biodigestor se llene totalmente hasta su punto máximo de acumulación de biogás como se lo estimo en el capítulo I, haciendo un monitoreo de las variaciones que se encuentran en relación de la temperatura, pH y Presión en las cuales se evitó alteraciones en los diferentes procesos del biodigestor para no tener errores adversos.

Para estimar el tiempo óptimo de consumo del biodigestor se lo comparo con el tanque de gas industrial (GLP) esto se lo efectuó durante el proceso de faenamamiento que es en la noche de la siguiente manera:

2.8.2.5.4 Tanque de gas (GLP)

- ✓ Se realizó la conexión del soplete al tanque de gas (GLP) el cual ya viene provisto de una manquera propia para gas con una válvula.
- ✓ Las patas de los animales son previamente cortadas en el área de descuero dentro de las instalaciones del camal
- ✓ Se colocó las patas con pesuña en una parrilla de acero para proceder a chamuscarlas.
- ✓ Con la ayuda de un cronometro se calculó el tiempo que demora el chamuscado de las patas.

- ✓ Este tiempo se lo anoto en una hoja de registro debido a que el periodo de chamuscado es por secciones ya que los animales faenados son uno por uno y primeramente se deja una acumulación de 8 patas.
- ✓ Con los tiempos tomados desde el comienzo de faenamiento desde las 8H00 pm hasta las 4H00 am se obtuvo cuantos tanques de gas son necesarios para el chamuscado.

2.8.2.5.5 *Biogás*

- ✓ Se conectó una válvula en la salida de la tubería del biodigestor en la que se instaló una manguera de gas de ½ al soplete para los respectivos análisis.
- ✓ Se colocó las patas en la parrilla de acero y con la ayuda del cronometro se tomó el tiempo de demora en chamuscar.
- ✓ Los datos se los debe anotar en una hoja de registro para los posteriores análisis.

Una vez terminada la recolección de datos se realizará una cuantificación del tiempo que se demora el taque de gas en chamuscarlas y el biogás para determinar si cumple satisfactoriamente la necesidad de consumo de gas en el centro de faenamiento Tena.

2.9 **Estudio de impacto ambiental**

Para la ejecución de la matriz de Leopold se debe calificar los impactos en términos de Magnitud e Importancia. Siendo la Magnitud la forma como la acción afecta al factor ambiental, esta debe calificarse de 1 al 10 dependiendo de la influencia de la acción, si afecta benéficamente o perjudicialmente al factor; en tanto que los valores de Intensidad se cuantifican de +1 a +10, como representación de cuál es el peso relativo del factor ambiental en el ecosistema, se determinarán las formas de calcular los términos.

2.9.1 *Cálculo de la importancia del impacto*

Dado que la Importancia se define como el peso específico que el factor ambiental tiene en el ecosistema considerado (la cuenca o las actividades de generación), se requiere valorar esas de + 1 a +10, así y con la ayuda del método DelpHi se ejecutará la valoración del peso específico que para los diferentes expertos que trabajarán en el proyecto, tendrán los factores ambientales, luego de ello se procederá a realizar un ajuste de las calificaciones para hallar los valores de importancia que serán utilizados en la valoración de las matrices.

2.9.2 Determinación de la magnitud del impacto

Se calificará la magnitud de los impactos que las acciones producirán en los factores ambientales de acuerdo a los siguientes criterios:

2.9.2.1 Tipo de impacto

El efecto de la acción sobre el factor se calificará como
Benéfico (B) o (+) = si existe mejora en las condiciones del factor
Deprimente (D) o (-) = si esta produce un efecto negativo en el factor.

2.9.2.2 Área de influencia

El impacto se calificará en cuanto su alcance geográfico:

Puntual (a) = 2.5

Local (b) = 5.0

Regional (c) = 10.0

2.9.2.3 Importancia

Ese se lo calificará como el peso del impacto

Baja (1) = 2.5

Media (2) = 5.0

Alta (3) = 10.0

2.9.2.4 Duración

En función al tiempo que dure el impacto por efectos de la acción se los calificará como

Inmediata (i) = 2.5

Temporal (t) = 5.0

Permanente (p)= 10.0

2.9.2.5 *Reversibilidad*

Los impactos se clasificarán en:

Reversible (R) = 2.5

Medianamente = 5.0

Irreversible (I) = 10.0

De esta manera se establecerá una matriz cualitativa factor ambiental – magnitud, la cual se transformará a través de operaciones aritméticas en una matriz de magnitud numérica.

A partir de esa matriz se determinan diferentes acciones que podrían alterar diversos componentes del medio ambiente, y que corresponden a las etapas de construcción del proyecto y a la fase de operación y mantenimiento del mismo las cuales serán mitigadas.

CAPITULO III

3. DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR DE CAMPANA FLOTANTE

3.1 Cálculo del tiempo de retención

Aplicaremos la siguiente ecuación basada en logaritmos para determinar el tiempo de retención teórica como se lo especifica en el capítulo I según (AENEC, 2003, p. 12-30) y con el tiempo de retención experimental se obtuvo un promedio, el cual nos dio un dato exacto.

DATOS:

Temperatura promedio del biodigestor: 31 °C

TRH experimental: 27 Días

TRH teórico: 30 Días

$$TRH = (-52.227 \times \ln (T^{\circ}C) + 206.72) \text{ (Ecuación 1)}$$

$$TRH = (-52.227 \times \ln (31^{\circ}c) + 206.72)$$

$$TRH = 31 \text{ dias}$$

$$TRH \text{ Promedio} = 27 + 31 \text{ dias}$$

$$TRH \text{ Promedio} = \frac{58}{2}$$

$$TRH \text{ Promedio} = 29 \text{ dias}$$

3.2 Volumen de biogás del prototipo

Cuanto Biogás genera 1 kg de estiércol con rumen se aplicó la siguiente ecuación.

DATOS

Temperatura del prototipo: 25 a 35 °C

Cantidad de materia orgánica total: 9,5 Kg/mezcla

Volumen de gas del prototipo: 152,9 L

1 Kg DE Sólidos totales: 0,20 m³ de biogás (35° C y Pr. Atm)

$$\begin{array}{rcl} 9,5 \text{ Kg} & \rightarrow & 152,9 \text{ l de biogas} \\ 600 \text{ kg} & \times & = 7895,62 \text{ L de Biogas} \end{array}$$

Es dividida para los 30 días de retención

$$V_{CH_4} = \frac{9656,84 \text{ L de Biogas}}{30}$$

$$V_{CH_4} = 321,89 \frac{\text{L de Biogas}}{\text{Día}}$$

$$V_{CH_4} = 0,3 \frac{\text{m}^3 \text{ de Biogas}}{\text{Día}}$$

Los datos se encuentran en los rangos estipulados en la tabla 3 del capítulo I siendo los datos correctos para proceder al dimensionamiento dando como resultado que cada 1 Kg de sólidos totales de estiércol vacuno genera 0.3 m³ de Biogás/Día.

3.2.1 Cálculo de la cantidad de los residuos sólidos

DATOS

Animales Bovinos = 15 (número de animales)

Numero de Gavetas= 2

Peso de la Gaveta= 150

Peso total del rumen

$$Ce = 2 \times 150 = 300 \text{ Kg/Día} \quad (\text{Ecuación 2})$$

3.2.2 Cálculo de la cantidad de la mezcla

Debido a que estamos realizando el tratamiento de los residuos orgánicos del ganado bovino se tendrá una relación 1:1 con la cantidad de 300 kg de rumen y estiércol por día dándonos una mezcla de 600 Kg mezcla/día.

DATOS

CE (Cantidad de estiércol) = 300 Kg/día

CA (Cantidad de agua) = 300 L

Mezcla total

$$Cm = 300 \frac{\text{kg}}{\text{día}} + 300 \text{ Kg de agua} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$Cm = 600 \text{ Kg mezcla /Día}$$

3.2.3 Cálculo del volumen del biodigestor

El volumen del biodigestor los obtuvo con los datos del tiempo de retención y la cantidad de la mezcla total de los residuos orgánicos con la siguiente formula:

$$V = TR(\text{DIAS}) \times Cm \text{ (Cantidad de la mezcla)}$$

DONDE:

TRH (Tiempo de Retención): 30 días

Cm (Cantidad de la Mezcla): 600 Kg mezcla /Día

Volumen del biodigestor

$$V = 30 \text{ día} \times 600 \text{ mezcla} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$V = 18000 \text{ L de residuos orgánico}$$

Transformación de los litros en m³ del volumen de los residuos orgánicos.

$$V = 18000 \text{ L} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 18 \text{ m}^3$$

El volumen de nuestro biodigestor de campana flotante será de 18 m³ que se colocaran en la cámara de digestión para la producción de gas y biol.

3.2.4 Cálculo de la producción de biogás

Los residuos orgánicos son procedentes del ganado bovino, seleccionamos la producción de gas para este tipo de animal que es 0,03 m³.

DONDE:

CE (Cantidad de estiércol) = 300 Kg/día

Eb (Estiércol Bovino) = 0,03 m³

Producción de gas

$$GA = 300 \frac{kg}{dia} \times 0,03 m^3 \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$GA = 9 m^3 \text{ de Biogas/dia}$$

Biogás necesario para llenar un tanque de GLP

$$15 Kg \times \frac{1 m^3}{0,45 Kg GLP} = 33,33 m^3 \text{ de Biogás}$$

Biogás producido en el mes

$$9 m^3 \text{ de Biogás} \times 30 \text{ dias} = 270 m^3 \text{ de Biogás/mes}$$

Comparación de Biogás necesaria para llenar tanques de GLP.

$$270 m^3 \text{ de Biogás} \times 33,3 \text{ dias} = 8 \text{ tanques de GLP}$$

3.3 Diseño de la estructura del biodigestor

La forma geométrica del biodigestor es circular y el dimensionamiento de las diferentes cámaras se da a partir del cálculo del volumen.

3.3.1 Cámara de digestión

Teniendo el volumen procederemos al cálculo de la profundidad y el diámetro de la cámara de digestión, tomando en cuenta que es circular su diámetro es igual a la profundidad vertical.

$$D=H$$

DONDE:

V (Volumen del Biodigestor)= 18 m³

$$V = \frac{(\pi*d^2)}{4} \times h \quad \text{(Ecuación 6)}$$

Remplazando el d (diámetro) por la h (altura) obtendremos.

$$d = \sqrt[3]{\frac{V*4}{\pi}} \quad \text{(Ecuación 7)}$$

Aplicando la ecuación final tenemos

$$d = \sqrt[3]{\frac{18 \text{ m}^3 * 4}{3,14}} = 2,8 \text{ m}$$

La cámara de digestión tendrá un diámetro de 2,8 m y una altura de 2,8 m debido a la relación del diámetro y la altura, pero no necesariamente su relación va hacer de uno a uno así que se propuso un diámetro de 2,5 m.

Procedemos a calcular con la altura del biodigestor

$$V = \frac{(\pi*d^2)}{4} \times h \quad \text{(Ecuación 8)}$$

Remplazando

$$h = \frac{V*4}{\pi * d^2} \quad \text{(Ecuación 9)}$$

$$h = \frac{18 \text{ m}^3 * 4}{3,14 * (2,5)^2}$$

$$h = 3,7 \text{ m}$$

El diámetro del biodigestor será de 2.5 m aumentándole un espesor de 20 cm de hormigón y una altura de 3,7 m con 20 cm de hormigón en el fondo

3.3.2 Cálculo de la pared divisoria dentro del biodigestor

La pared divisoria se calculara de la siguiente forma:

Donde

H (Altura del biodigestor)= 3,7 m

Hm (Altura de la materia orgánica)= 0,75 m

Hg (Altura del gas)= 0,25 m

$$H_{pb} = H - H_m - H_g \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$H_{pb} = 3,7 - 0,75 - 0,25 = 2,7 \text{ m}$$

3.3.3 Cálculo de la cámara de alimentación y descarga

DONDE:

Cd (Carga diaria)= 0,6 m³ de mezcla diaria

$$L_{cp} = \sqrt[3]{Cd} \quad (\text{Ecuación 11})$$

$$L_{cp} = \sqrt[3]{0,6 \text{ m}^3} = 0,8 \text{ m}$$

Cada lado de la cámara de alimentación y descarga tendrá 0.8 m de longitud, ancho y altura abasteciendo la carga diaria de producción de residuos orgánicos, sus medidas serán de 1,20 m para evitar rebosamientos como un factor de seguridad, cuando existe el faenamiento de más ganado vacuno.

3.3.4 Cálculo de la tubería de entrada y salida del biodigestor

Para el cálculo de la tubería se debe considerar los sólidos totales que se producen en el biodigestor a partir de la cantidad de los residuos sólidos.

Donde:

CE (Cantidad de residuos orgánicos) = 300 Kg/día

$$300 \frac{Kg}{dia} \times 30 dias = 9000 \frac{Kg}{mes}$$

Al mes se ingresan 9000 Kg / mes de residuos orgánicos, los análisis de laboratorios realizados determinan que por cada Kg de residuos orgánicos el 16% son sólidos totales en el mes.

$$St = \frac{Kg \text{ de residuos orgánicos} \times 16\%}{100 \%} \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$St = \frac{9000 \times 16\%}{100 \%} = 1440 Kg \text{ de rg}$$

Realizamos la transformación de Kg a m³

$$1440 Kg \text{ de rg} \times \frac{1L}{1 Kg \text{ de rg}} \times \frac{1 m^3}{1000L} = 1,4 m^3$$

Aplicando la siguiente fórmula obtendremos la altura de la tubería

$$Ht = \frac{Vs * 4}{\pi * d^2} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Reemplazando

$$Ht = \frac{1,4 * 4}{3,14 * 2,5^2} = 0,29 m$$

La limpieza del biodigestor se efectuará en 12 meses

$$1,4 - 6,27 = 4,8 m^3$$

$$Ht = \frac{4,8 * 4}{3,14 * 2,5^2} = 0,98 m$$

Altura total

$$Ht = 0,98 + 0,29 = 1,28 m$$

3.3.4.1 Estructura de la tubería del biodigestor

La tubería para la conducción de los residuos orgánicos y la salida del biofertilizante será de PVC de 30 cm con una inclinación de 45 ° desde la cámara de alimentación y descarga a la cámara de digestión.

3.3.5 Cálculo de la campana

Para el cálculo de la campana se requiere el valor de la producción del gas diario que se genera en el biodigestor.

DONDE:

Ga (Producción del gas) = 10 m³ de Biogás/día

Para el cálculo de producción que se realiza dentro de la campana se divide para 2.

$$Gin = \frac{Ga}{2} = \frac{10}{2} \quad (\text{Ecuación 14})$$

$$Gin = 5 \text{ m}^3 \text{ de biogás/día}$$

3.3.5.1 Altura de la campana

Su altura se la determinará por la siguiente formula, vale mencionar que el diámetro de la campana será el mismo del biodigestor en este caso se dejará 0,10 cm de holgura entre la campana y la pared del biodigestor.

DONDE:

D (Diámetro del Biodigestor)= 2,5 m

V (Volumen del Biodigestor)= 18 m³

$$Hc = \frac{V*4}{\pi*d^2} \quad (\text{Ecuación 15})$$

Remplazando

$$Ht = \frac{18 * 4}{3,14 * 2,4^2} = 1,3 \text{ m}$$

3.3.5.2 Cálculo de la cabeza del gasómetro

Se aplicaron las siguientes fórmulas:

$$r = \frac{d}{2} = \frac{2,5}{2} = 1,25 \text{ m} \quad (\text{Ecuación 16})$$

Angulo propuesto para la cabeza cónica

$$\gamma = 20$$

Radio del desarrollo de la cabeza 0,408

$$R = \frac{r}{\cos(\gamma)} = \frac{1,25}{\cos(20)} = 3,06 \text{ m} \quad (\text{Ecuación 17})$$

Angulo de corte de la cabeza cónica

$$\beta = \frac{r}{R} \times 360 = \frac{1,25}{3,06} \times 360 = 147^\circ \quad (\text{Ecuación 18})$$

$$\alpha = 360 - 147 = 213^\circ \quad (\text{Ecuación 19})$$

3.3.5.3 Estructura de la tubería del gas

La tubería para la conducción del gas será de acero inoxidable de ¼ pulgada con una longitud de 20 m.

3.3.6 Compuerta de limpieza

La compuerta por donde se ingresará a dar un mantenimiento y limpieza estará localizada en la parte superior de la campana de mampostería con las siguientes dimensiones 0.6 m de largo y ancho esta posee una cubierta de caucho para evitar la fuga del gas.

CAPITULO IV

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Diagrama de flujo del faenamiento del CEFATE-CEM



4.2 Resultado de la cuantificación de la materia orgánica

La cantidad de materia orgánica se la obtuvo de 15 cabezas de ganado bovino con diversos pesos y razas mixtas (Holstein, Brahman, Normando), con un monitoreo de 4 semanas como se lo indica en las siguientes tablas.

Tabla 12-1 Peso del ganado vivo y después del faenamiento

#	TIPO		SEXO		PESO EN VIVO DE GANADO BOVINO (Kg)	PESO DEL CAMAL (Kg)
	MAYOR	MENOR	MACHO	HEMBRA		
1		X	X		250	193
2	X		X		420	320
3		X	X		230	185
4	X			X	208	158
5		X		X	251,5	185
6	X		X		267	197,5
7	X			X	200	120,5
8		X		X	273	173,34
9	X		X		289	195,5
10	X		X		210	128
11	X		X		257	140
12	X		X		248,5	145,23
13	X			X	286	175
14		X		X	275	142,6
15	X		X		269	132,54

FUENTE: Diego Pérez; Antonio Erreyes

En la Tabla 11 se muestra solo el peso del ganado al entrar y salir del faenamiento mas no se hace referencia a la cantidad de materia orgánica generada para el dimensionamiento del biodigestor.

Las tablas siguientes muestran la cantidad de materia orgánica generada después del faenamiento.

**Tabla 13-1 Determinación del estiércol y rumen promedio semana 1 de
CEFATE-CEM**

FECHA	NUMERO DE GANADO BOVINO	RESIDUO ORGÁNICO	UNIDADES
24/11/2014	15	300	Kg
25/11/2014	15	290	Kg
26/11/2014	15	308	Kg
27/11/2014	14	299	Kg
28/11/2014	15	301	Kg
SUMA	74	1498	Kg
PROMEDIO	15	300	Kg

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

**Tabla 14-4 Determinación del estiércol y rumen promedio semana 2 de
CEFATE-CEM**

FECHA	# DE GANADO BOVINO	RESIDUO ORGÁNICO	UNIDADES
01/12/2014	14	305	Kg
02/12/2014	13	302	Kg
03/12/2014	15	301	Kg
04/12/2014	14	315	Kg
05/12/2014	13	290	Kg
SUMA	69	1513	Kg
PROMEDIO	14	303	Kg

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

**Tabla 15-4 Determinación del estiércol y rumen promedio semana 3 de
CEFATE-CEM**

FECHA	# DE GANADO BOVINO	RESIDUO ORGÁNICO	UNIDADES
08/12/2014	14	302	Kg
09/12/2014	13	301	Kg
10/12/2014	15	306	Kg
11/12/2014	15	305	Kg
12/12/2014	15	298	Kg
SUMA	72	1512	Kg
PROMEDIO	14	302	Kg

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

**Tabla 16-4 Determinación del estiércol y rumen promedio semana 4 de
CEFATE-CEM**

FECHA	# DE GANADO BOVINO	RESIDUO ORGÁNICO	UNIDADES
15/12/2014	16	290	Kg
16/12/2014	15	302	Kg
17/12/2014	14	303	Kg
18/12/2014	12	299	Kg
19/12/2014	14	310	Kg
SUMA	71	1504	Kg
PROMEDIO	14	301	Kg

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

**Tabla 17 Determinación del estiércol y rumen promedio mensual de
CEFATE-CEM**

PROMEDIO SEMANTAL	# DE GANADO BOVINO	RESIDUO ORGÁNICO	UNIDADES
SEMANA 1	15	300	Kg
SEMANA 2	14	303	Kg
SEMANA 3	14	302	Kg
SEMANA 4	14	301	Kg
SUMA	57	1206	Kg
PROMEDIO	14	302	Kg

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

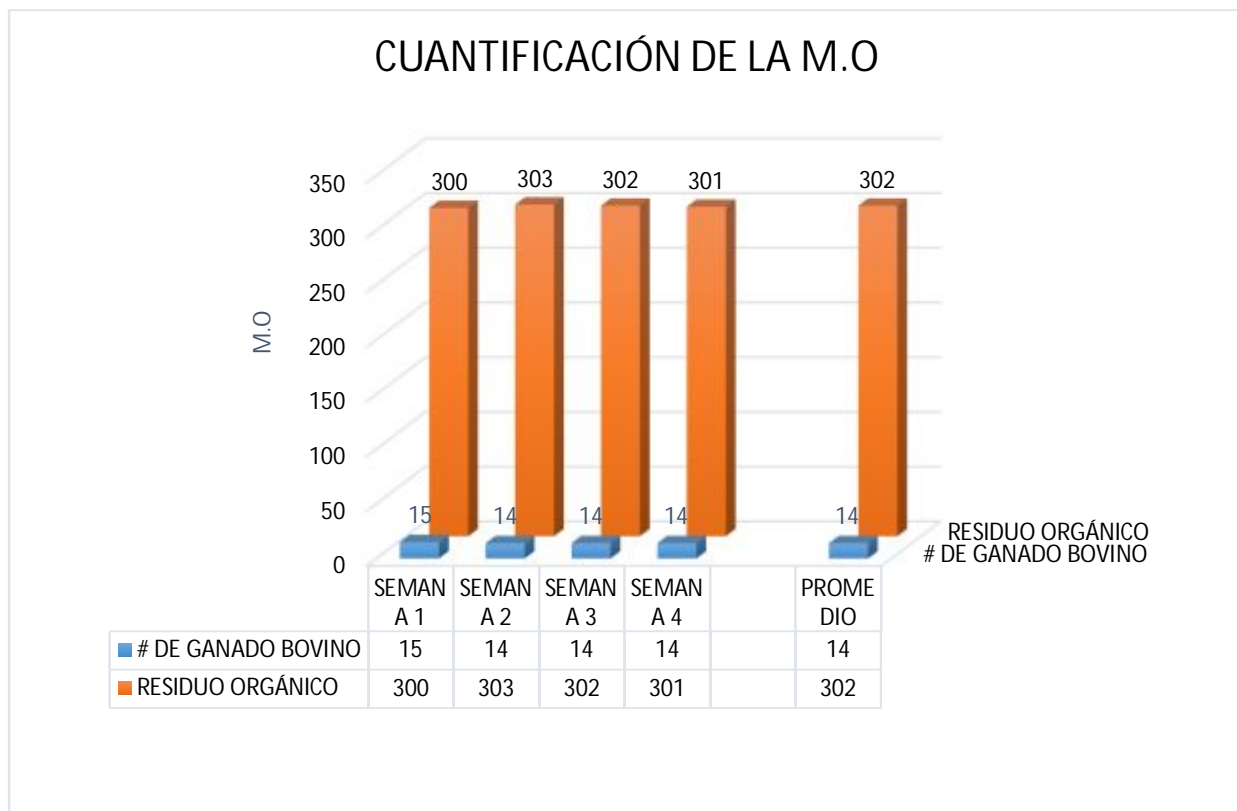


Gráfico 1-4 Cuantificación de la M.O

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

Se obtuvo un promedio de 300 Kg / día generado por las 15 cabezas de ganado bovino, tomando en cuenta que el CEFATE-CEM se encuentra con una producción del 30 % de su capacidad debido a que en las zonas aledañas existe aún el faenamiento clandestino.

4.3 Resultados de pruebas de laboratorio a nivel piloto

4.3.1 Prototipo

Se colocó en el prototipo 4,23 Kg de rumen y 0,47 de estiércol dando un total de materia orgánica de 4,7 Kg se añadió 4,7 L de agua, esto fue mezclado y pesado dándonos un valor de mezcla total de 9,5 Kg que se ingresó al botellón, teniendo en cuenta que 1 Kg de materia es igual a un 1 L de agua. (Soria, 2009, p. 49,80)

Tabla 18-4 Prototipo biodigestor total en galones

PROTOTIPO BIODIGESTOR		
MATERIA ORGÁNICA (KG)	AGUA (L)	MEZCLA TOTAL (Kg)
4.7	4.7	9.5

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

La Tabla 19 se observa los resultados obtenidos en el monitoreo de 30 días del prototipo.

Tabla 19-4 Determinación del tiempo de retención a nivel de laboratorio

FECHA	DÍAS	T° PROMEDIO AMBIENTE (°C)	T° PROMEDIO DENTRO DEL PROTOTIPO (°C)	pH	VOLUMEN DE BIOGÁS (ml)
08/12/2014	2	25	35	6,8	
09/12/2014	3	26	36	6,7	
10/12/2014	4	27	37	6,5	400
11/12/2014	5	28	38	6,6	900
12/12/2014	6	29	38	6,5	1209
13/12/2014	7	30	39	6,7	1609
14/12/2014	8	32	39	6,5	2890
15/12/2014	9	31	40	6,6	3170
16/12/2014	10	32	41	6,7	3370
17/12/2014	11	32	40	6,4	4480
18/12/2014	12	33	39	6,5	4589
19/12/2014	13	31	40	6,6	4890
20/12/2014	14	32	41	6,6	5080
21/12/2014	15	30	40	6,7	5170
22/12/2014	16	31	41	6,8	5890
23/12/2014	17	32	42	6,6	5900
24/12/2014	18	33	41	6,7	6100
25/12/2014	19	33	41	6,8	6400
26/12/2014	20	34	40	6,5	6530
27/12/2014	21	32	40	6,4	6890
28/12/2014	22	32	41	6,6	7211
29/12/2014	23	30	41	6,8	7360
30/12/2014	24	32	41	6,7	7305
31/12/2014	25	33	41	6,8	7900
01/01/2015	26	34	40	6,5	8590
02/01/2015	27	31	41	6,6	8706
03/01/2015	28	29	41	6,5	9890
04/01/2015	29	32	40	6,8	10000
05/01/2015	30	37	40	6,7	10500
	TOTAL	34,7	41	6,8	152,929 L

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

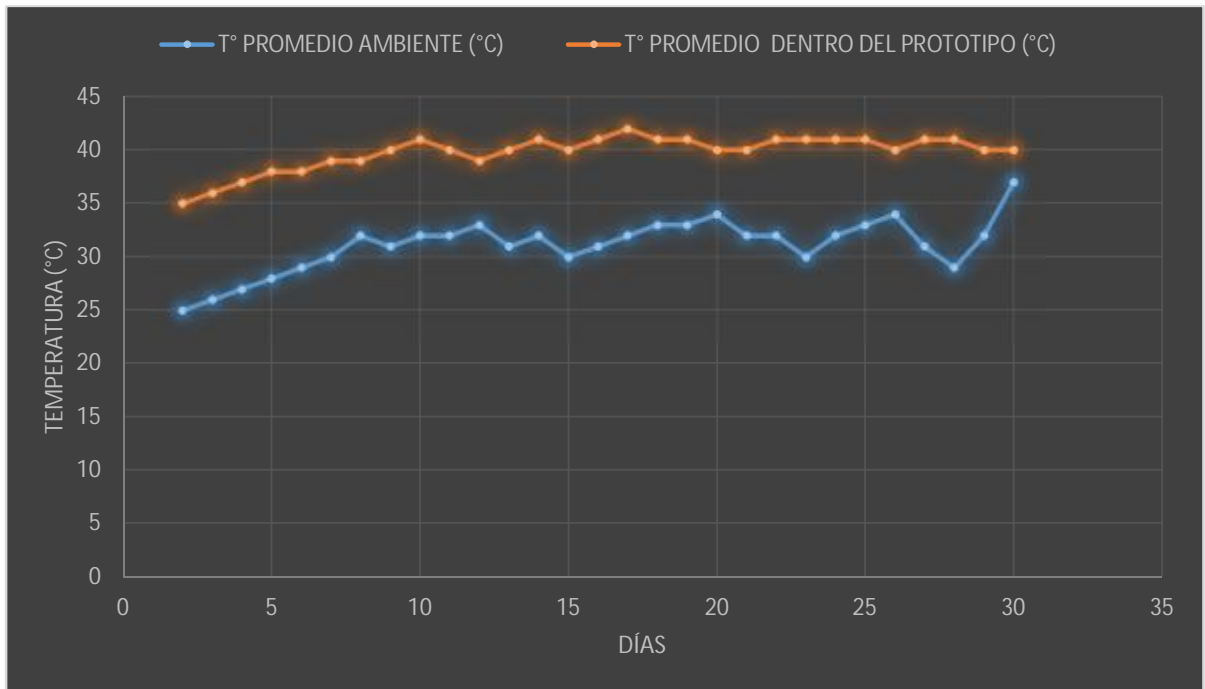


Gráfico 2-4 Variación de temperatura del prototipo

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

En la gráfico 2 se observa que durante 30 días de monitoreo del prototipo desde el primer día hasta el último se obtuvo un rango de temperatura de 35 a 41 °C, teniendo un tipo de temperatura Mesofílico y un Potencial de Hidrogeno de 6,8 que es neutro.

Desde el día 2 se produce un incremento de temperatura hasta el día 13 en donde las bacterias comienzan el proceso de adaptación y de crecimiento, del día 13 hasta los 30 días se produce una estabilidad de temperatura de un rango de 40 a 41 °C, esto se debe a que las bacterias se han estabilizado y comienzan a reproducirse como se menciona en el capítulo I.

El pH siempre se mantuvo entre 6,4 - 6,8 siendo neutro, durante todo el monitoreo tuvo variaciones mínimas lo que es muy bueno debido a que no se produce un declive del pH muy bajo ocasionando mínima producción de biogás.

4.3.1.1 Determinación del tiempo de retención

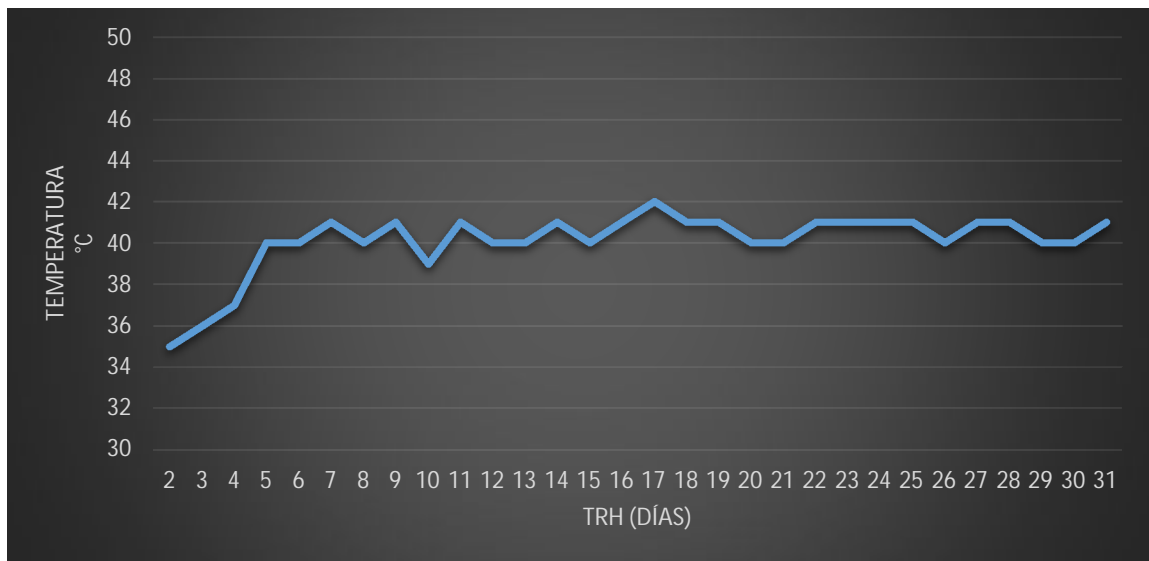


Gráfico 3-4 Determinación del TRH

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

Desde el 5 día ya se generó 400 ml pero no de biogás si no de CO₂ debido a las temperaturas altas del lugar, esto ocurrió debido a la hidrólisis del estiércol y rumen por las bacterias hidrolíticas ejerciendo un proceso enzimático, transformando compuestos orgánicos solubles con la obtención de CO₂, el cual no es inflamable razón por la cual, la flama no enciende.

Se dejó pasar 7 días y en la funda se acumuló 1600 ml de biogás pasado este tiempo se obtuvo una mínima presencia de CH₄ y un elevado porcentaje de CO₂, debido a la presencia del CH₄ se prendió obteniendo una llama de color amarillento rojizo pero débil. Se dejó pasar 18 días donde la funda acumuló 6100 ml de biogás obteniendo un aumento de volumen de CH₄ y se generó una llama con un matiz azul pero todavía con color amarillento rojizo. En el día 20 la funda llegó a su máximo volumen acumulando 6530 ml de biogás pero el color de la llama era aún de matiz azul con amarillo rojizo, luego se dejó totalmente la funda vacía para seguir con la acumulación de biogás. En el día 27 se obtuvo un acumulado de 8706 ml en donde ya se obtuvo una llama de color azul. Después de pasar los 30 días la acumulación de biogás se daba después de cada semana.

4.3.1.2 Generación del volumen de biogás

La tabla 19 nos muestra la cantidad de gas que se generaba cada día en el prototipo.

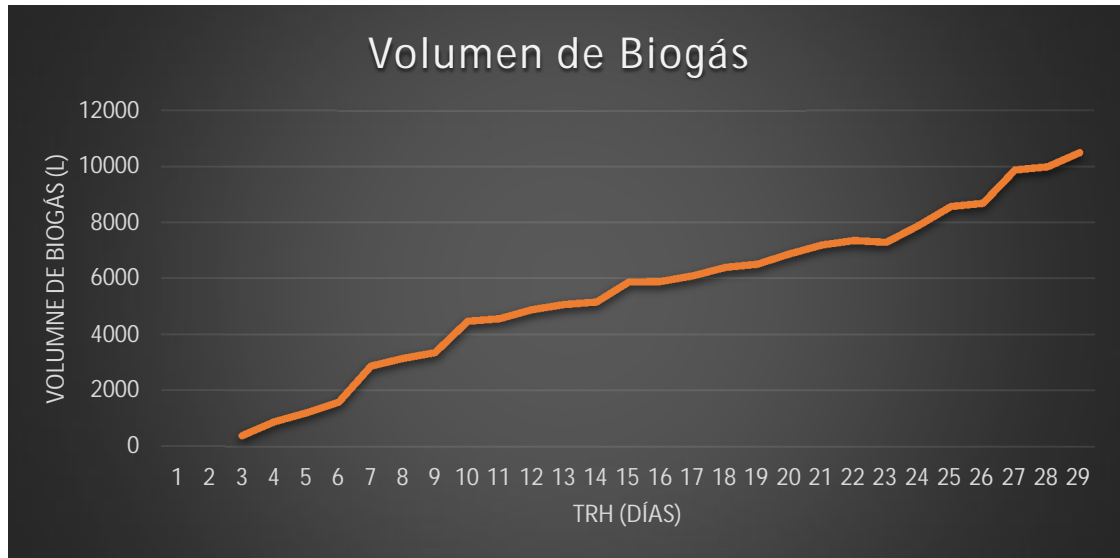


Gráfico 4-4 Volumen de biogás a nivel de laboratorio

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

Las dimensiones de la funda colocada para determinar la cantidad de volumen de biogás fue de:

LARGO: 30 cm

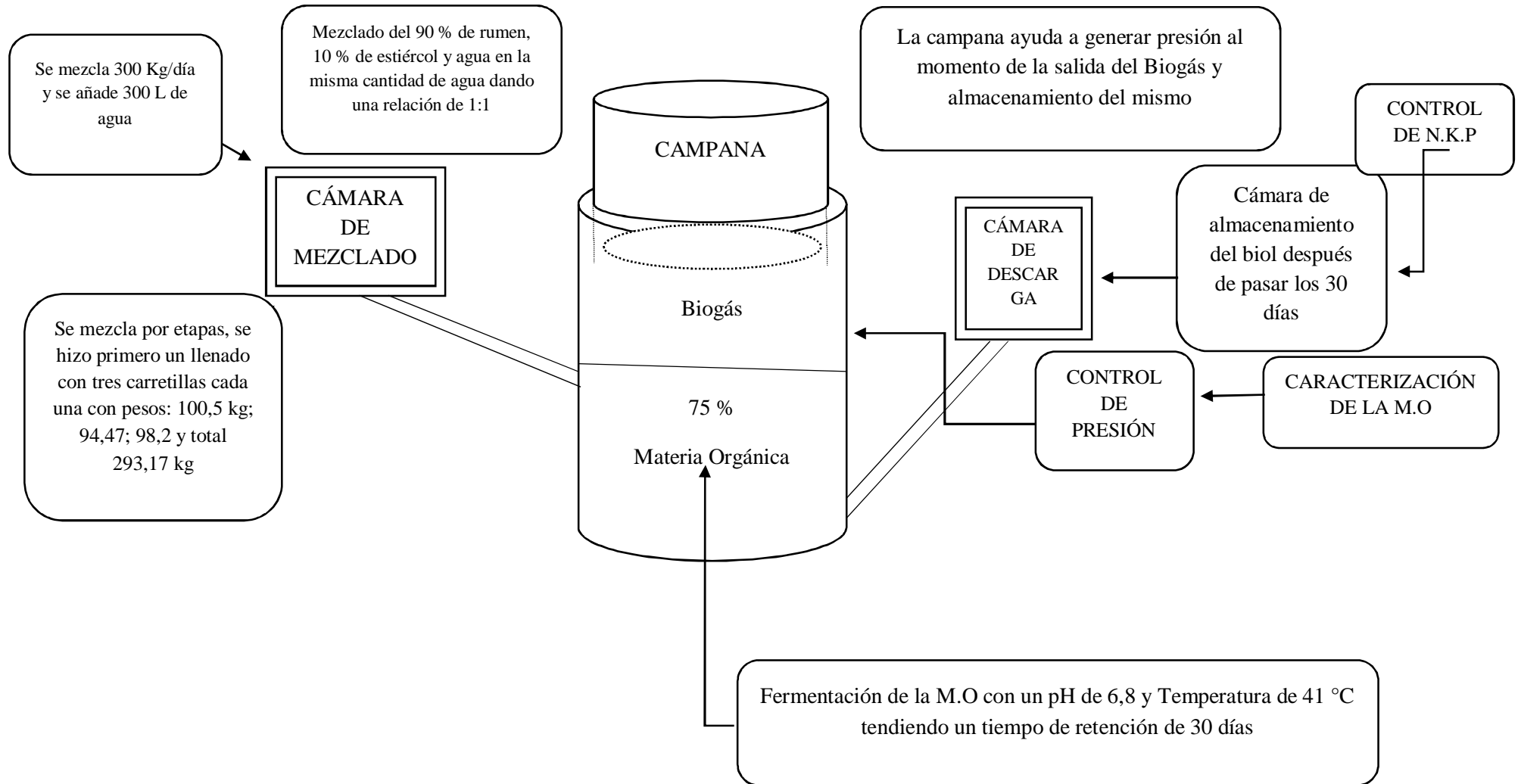
ANCHO: 21,5 cm

DIÁMETRO: 10,5 cm

Teniendo como resultado una funda 6590 cm^3 (6,5 L). El seguimiento fue diario y se sistematizó el volumen de gas. Como se puede notar en la tabla desde el día 18 al día 24 la cantidad de biogás es de 6100 ml hasta 7305 ml, siendo abundante debido a las bacterias que estaban en su máxima reproducción, la acumulación del total de biogás durante 30 días fue de 152,929 L. Se comprobó tanto experimental y teóricamente la generación

4.4 Propuesta del diseño del biodigestor

4.4.1 Esquema del funcionamiento de la planta de biogás



4.4.2 Resultado de la selección del biodigestor y dimensionamientos

Para la selección del biodigestor tipo hindú nos enfocamos en los siguientes puntos más importantes y relevantes siendo el mejor diseño para implementarlo en el centro de Faenamiento Tena.

Tabla 20-4 Características de selección del biodigestor

CARACTERÍSTICAS	EVALUACIÓN
TIPO DE MATERIA ORGÁNICA	El biodigestor se alimentará de rumen y estiércol de los corrales antes de su faenamiento de 15 reses que son transportados por los propietarios de las diferentes fincas, haciendas, ranchos del sector agrícola etc. La temperatura oscila entre 25 a 35 °C
LUGAR DE IMPLEMENTACIÓN	Es de fácil acceso permitiendo de esta manera que no existan áreas de inundaciones y se implementó lo más próximo de la captación del estiércol y rumen aprovechando los sitios de inclinación facilitando la posible carga y descarga del biodigestor esto fue posible a que el centro de faenamiento posee una gran extensión de terreno alrededor de las instalaciones
IMPLEMENTACIÓN	La forma del diseño del biodigestor es circular debido a que su geometría es muy consistente y no existe esquinas entre las paredes donde se puedan generar la fuga del gas. Los materiales para su construcción fueron de fácil accesibilidad debido que no son muy costosos y no se utilizó materiales de estructura compleja
OPERACIÓN	El Biodigestor de domo flotante o campana flotante posee un mantenimiento explícito y sencillo facilitando al trabajo realizado por los empleados del CEFATE-CEM sin ocasionar riesgos en sus labores manteniéndoles libres de enfermedades
COSTO	El costo de la construcción del biodigestor dependió de la cantidad, la calidad, y el tamaño así como el trabajo de la construcción y mantenimiento, incluyendo la necesidad de maquinarias lo cual se contó con todo el apoyo del CEFATE-CEM.
VIDA ÚTIL	El Biodigestor tuvo una estructura de concreto dándole una vida útil de 25 años con una forma circular y una campana hecha de acero.

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

4.5 Resumen del diseño del biodigestor

Tabla 21-4 Dimensionamiento del biodigestor

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	CÁLCULOS	UNIDADES
CANTIDAD DE ESTIÉRCOL	Ce	300	Kg /día
CANTIDAD DE MEZCLA	Cm	600	Kg mezcla/día
VOLUMEN DEL BIODIGESTOR	V	18	m ³
PRODUCCIÓN BIOGÁS	Ga	9	m ³ de Biogás/día
MAMPOSTERÍA			
DIÁMETRO DEL BIODIGESTOR	d	2,8	M
DIÁMETRO PROPUESTO	D	2,5	M
ALTURA DEL BIODIGESTOR	H	3,7	M
PARED DIVISORA DEL BIODIGESTOR	Hpd	2,7	M
CÁLCULO DE LA CAMPANA			
ALMACENAMIENTO DE BIOGÁS DENTRO DE LA CAMPANA	Gin	6,27	m ³ de Biogás/día
ALTURA DE LA CAMPANA	Hc	1,3	M
TANQUE DE CARGA Y DESCARGA			
CARGA DIARIA	Cd	0,6	m ³ de mezcla/día
TANQUE DE ENTRADA Y DE SALIDA	Lcp	0,8	m de cada lado
ALTURA DE LA TUBERÍA EN EL BIODIGESTOR			
ESTIÉRCOL INTRODUCIDO		9000	Kg de estiércol/mes
SOLIDOS TOTALES	ST	1440	Kg de estiércol
VOLUMEN DE SOLIDOS TOTALES	Vst	1,4	m ³
ALTURA DE LA TUBERÍA (entrada)	Ht	0,29	m
VOLUMEN AL MES DE ST	Vsti	4,8	m ³
ALTURA AL MES	Alm	0,98	m
ALTURA TOTAL	At	1,28	m

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

4.6 Construcción del biodigestor



El diseño estructural del biodigestor de domo flotante fue realizado por el Ing. Carlos Pozo construyendo el biodigestor de hormigón armado y hierro dando una duración de 25 a 50 años para resistir las condiciones meteorológicas del lugar implementado.

La estructura de las paredes del tanque de digestión circular con un radio de 2,90 m tiene un ancho de 20 cm, posee alrededor cuatro columnas construidas con 4 qq de hierro de 12 mm con una altura de 3 m desde la base del biodigestor; la loza donde reposa la campana fue construida con 1 qq de hierro de 8 mm hecha en forma circular además se colocó trozos de hierro de 20 cm separados cada 25 cm y por último la estructura de la pared interna del biodigestor fue realizado con hierro de 8 mm con un espesor de 10 cm. Los tanques de carga y descarga son de 10 cm con un armazón de hierro de 12 mm tanto en la base como sus paredes.

4.7 Caracterización de residuos del biodigestor

Tabla 22-4 Resultado de los análisis de laboratorio del biodigestor

MATERIA ORGÁNICA (ESTIÉRCOL-RUMEN)			
PARÁMETRO	INICIAL	DEGRADADO	UNIDADES
pH	6,96	6,86	
HUMEDAD	94,13	90,14	%
DQO	45,73	43,31	g/L
DBO	36,62	16,65	g/Kg
SOLIDOS VOLÁTILES	99,03	98,14	%
SULFUROS	449,5	293,16	mg/L
C/N	53	13	
BIOL			
POTASIO	1,32	1,3	%
FOSFORO	0,98	1,23	%
NITRÓGENO	0,12	0,25	%

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

Los datos obtenidos en la caracterización de la materia fueron comparados en las siguientes tesis “DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA OBTENCIÓN DE BIOL MEDIANTE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN EL CANTÓN JOYA DE LOS SACHAS” por Pontón Sigcha Rubén Darío; “IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA UTILIZACIÓN DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS EN LAS ACTIVIDADES PRODUCTIVAS DEL CAMAL MUNICIPAL DE MANTA” por Anchundia Delgado Gerónimo M, Ruiz Caicedo Byron Iván.

Se realizó las comparaciones con las tesis mencionadas debido que estas tienen rangos de temperatura similares entre 25 – 35 °C; presión alta del lugar; la materia orgánica tratada es estiércol y rumen.

El resultado de los datos de las tesis mencionadas y de nuestra investigación fueron obtenidas en un tiempo de retención similares entre 28 a 30 días.

Existen Variaciones de DBO y DQO debido a que la mezcla realizada en la tesis “DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA OBTENCIÓN DE BIOL MEDIANTE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN EL CANTÓN JOYA DE LOS SACHAS” por Pontón Sigcha Rubén Darío es solo de estiércol con un 25 % de agua y un 75 % de materia orgánica; mientras que en la tesis de “IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA UTILIZACIÓN DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS EN LAS ACTIVIDADES PRODUCTIVAS DEL CAMAL MUNICIPAL DE MANTA” por Anchundia Delgado Gerónimo M, Ruiz Caicedo Byron Iván se utiliza una mezcla de 50 % de estiércol y 50 % de rumen con una relación 1:1.

Tanto el pH y la Humedad determinados en las tesis mencionadas son similares a nuestros resultados obtenidos del Pos y Pre tratamiento de la materia orgánica con un pH de 6,8 con una humedad 90 a 100 %.

4.7.1 pH

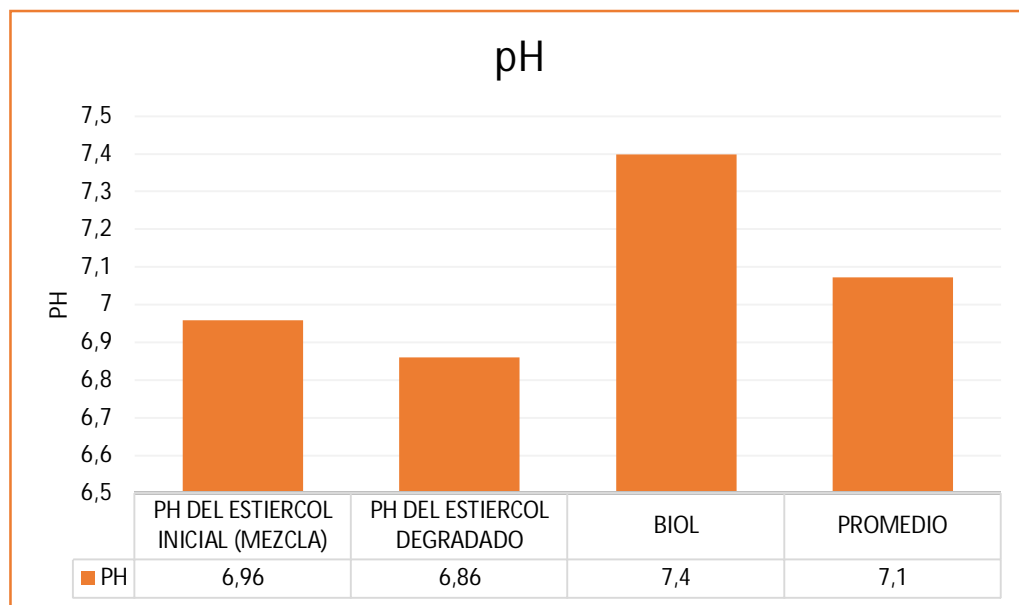


Gráfico 5-4 Control de pH

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

Luego de que se realizaron la toma de muestra en cada uno de los procesos por los que paso la materia orgánica (rumen; estiércol) en el biodigestor, para poder determinar el potencial de hidrogeno en cada uno de ellos, dando como resultado un pH en la mezcla de la materia orgánica de 6,96; en la fase de degradación de la materia se obtuvo un pH de 6,86 en la fase final (Biol) de 7,4 teniendo un promedio de pH en el biodigestor de 7,1 el cual de acuerdo a lo mencionado en el capítulo I, se debe encontrar entre 6 a 8 siendo los rangos óptimos donde los microorganismos se desarrollan degradando o digiriendo la materia orgánica dándonos como resultado un potencial de hidrogeno neutro facilitando a la formación de biogás, como se lo puede observar en la Grafica 5 .

4.7.2 Humedad

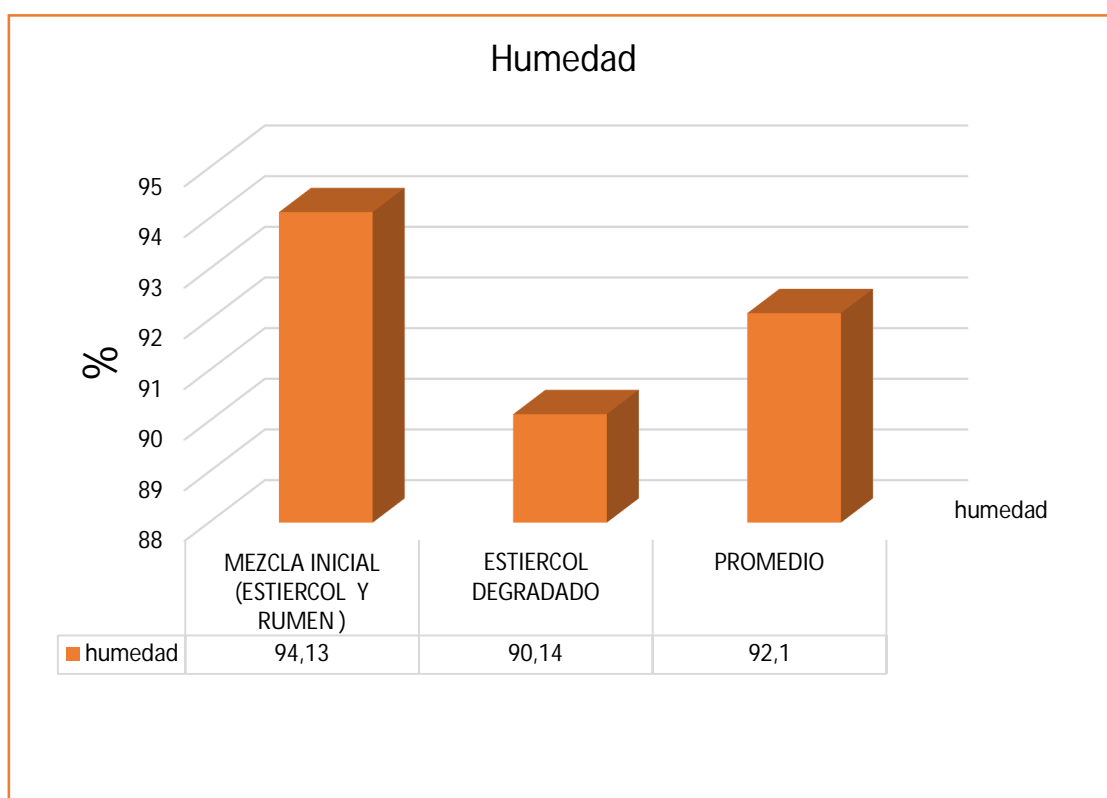


Gráfico 6-4 Variación de humedad

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

La humedad en la mezcla inicial de la materia orgánica es de 94,13; en la fase de degradación de la materia, se obtuvo una humedad de 90,14 dando como resultado una óptima relación masa por 1 kg de materia seca.

4.7.3 Sulfuros

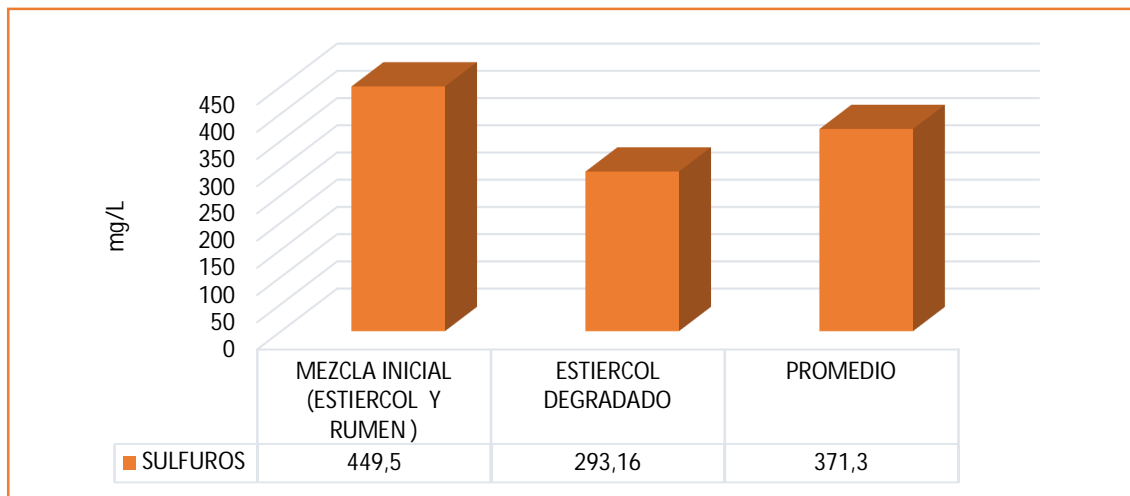


Gráfico 7-4 Variación de Sulfuros

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

La presencia de sulfuros en el biodigestor da origen al gas sulfhídrico, se realizó los análisis correspondientes dando en la mezcla inicial de la materia orgánica 449.5 mg/L de sulfuros en la fase de degradación de la materia. Se obtuvo 293,16 mg/L.

4.7.4 Sólidos volátiles

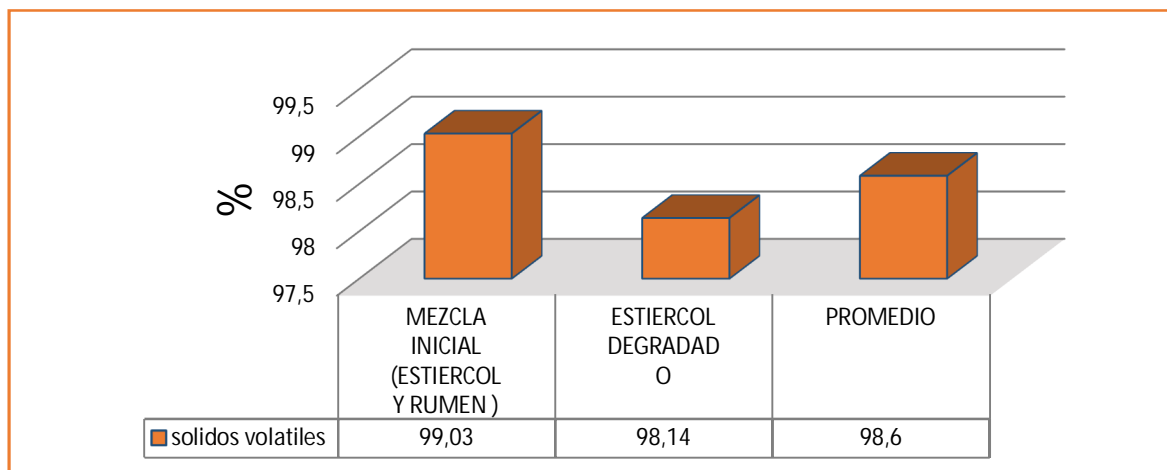


Gráfico 8-4 Variación de sólidos volátiles

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

El porcentaje de sólidos suspendidos de la mezcla inicial de la materia orgánica son de 99,03 %, en la fase de degradación de la materia orgánica, se obtuvo un promedio de 98,6 % determinando que hay una transformación de los sólidos en biogás es muy efectiva.

4.7.5 Análisis de DQO

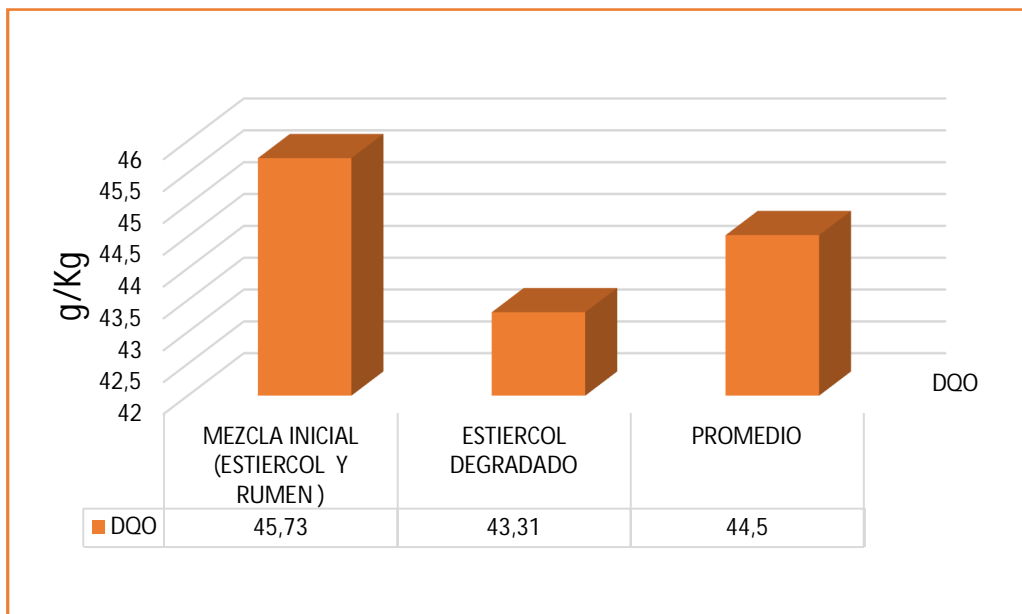


Gráfico 9-4 Variación de DQO

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

Los datos obtenidos en las dos muestras como son 45,13 g/Kg de la muestra inicial (Mezclado) y la muestra durante el proceso de degradación obtuvimos 43,31 g/Kg notando una disminución de la DQO desde la mezcla hasta el proceso de degradación, el cual nos da un promedio de las dos de 44,5 g/Kg demostrando que si se está degradando la materia orgánica por la acción de los microorganismos para la producción del biogás. El resultado obtenido nos da a conocer la cantidad orgánica total y cómo se va degradando por los microorganismos. Al comparar con la tesis “ELABORACIÓN DE UN BIODIGESTOR PILOTO TUBULAR PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO, EN UNA VIVIENDA DE LA COMUNIDAD DE TEMBO” por Erika Criollo; Adriana Guzmán donde obtuvo una degradación del 85,34 % y en nuestro caso se obtuvo una degradación del 95,5 % siendo más efectiva la degradabilidad de nuestro biodigestor tipo hindú.

4.7.6 Análisis de DBO

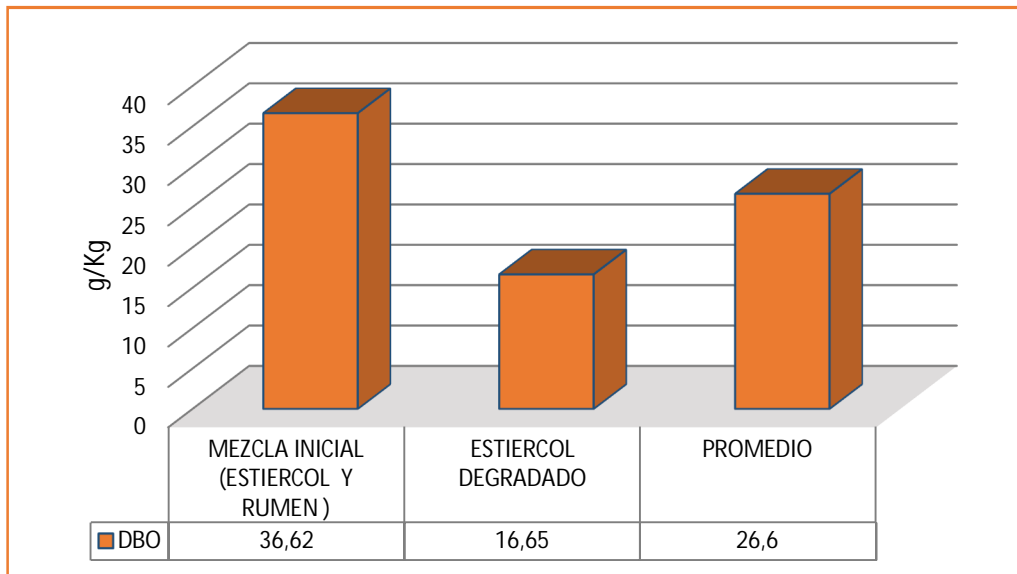


Gráfico 10-4 Control de DBO

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

Los resultados obtenidos de la Demanda Bioquímica Orgánica de la mezcla inicial (estiércol y rumen), son de 36,62 g/Kg y en la muestra durante el proceso de degradación se obtuvo 16,55 g/Kg, donde se ha producido el consumo de oxígeno por parte de los microorganismos causando una degradabilidad de la materia orgánica de un 45,46 % con una temperatura de 25 a 35 °C, y un pH promedio de 7,1 siendo este neutro.

4.7.7 Análisis de relación carbono nitrógeno

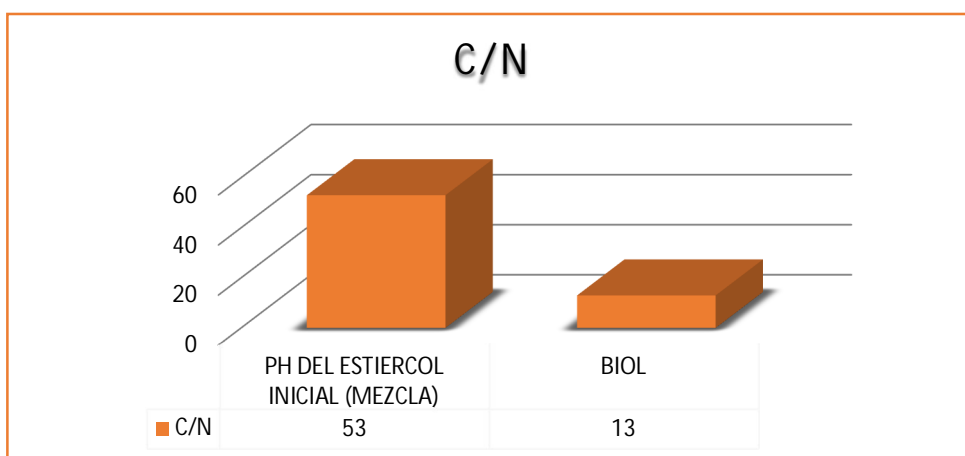


Gráfico 11-4 Control de C/N

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

El análisis realizado sobre la relación C/N en la muestra inicial (Mezclado) y la muestra durante el proceso de degradación nos permitirá determinar si existe una degradación dato que facilita y favorece el crecimiento microbiano así como su reproducción debido a que el Carbono es fuente de energía para los microorganismos y el Nitrógeno permite la síntesis proteica. El análisis de la muestra inicial (Mezclado) nos dio un C/N de 53 y la muestra durante el proceso de degradación una C/N de 13, estando en los rangos permitidos según varios autores que mencionan se debe presentar entre 20 y 30. Se debe tener cuidado si se obtiene una relación C/N menor a 20 se perderá el nitrógeno.

4.7.8 N.K.P

Los resultados han sido comparados con las tesis “DISEÑO DE UN BIORREACTOR Y CONDUCCIÓN DEL BIOGÁS GENERADO POR LAS EXCRETAS DE GANADO VACUNO, ESTACIÓN TUNSHI - ESPOCH” por Edwin Sebastián Lara Guilcapi ; María Belén Algo Chimborazo y “ELABORACIÓN DE UN BIODIGESTOR PILOTO TUBULAR PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO, EN UNA VIVIENDA DE LA COMUNIDAD DE TEMBO” por Erika Criollo; Adriana Guzmán teniendo variaciones en los resultados de un 20-30% debido a las siguientes condiciones:

- ✓ La materia orgánica de las investigaciones realizados por los autores mencionados lo ejecutan solo con estiércol de ganado vacuno en nuestro caso son una mezcla entre rumen el 90 % y le añadimos un 10% de estiércol.
- ✓ La temperatura es diferente debido a que su investigación lo realizan en climas fríos y nuestra investigación se la realizó con un clima cálido variando principalmente en el tiempo de retención por lo que nuestro producto se lo obtuvo solo en 31 días en el caso de los investigadores anteriores con un tiempo de retención de 35 - 46 días lo que su proceso de digestión es más lenta cambiando totalmente los resultados.
- ✓ La presión del lugar es muy baja y existe presencia de mucha humedad en nuestro caso es lo contrario tenemos una presión muy alta de 1010 Pa y sin presencia de humedad.

El biol obtenido se encuentra en los rangos estimados en el capítulo I siendo un bioabono con una calidad excelente para los cultivos favoreciendo la evolución de los suelos con una concentración de nutrientes y nitrógeno adecuados para las plantas.

4.7.8.1 Nitrógeno (N)

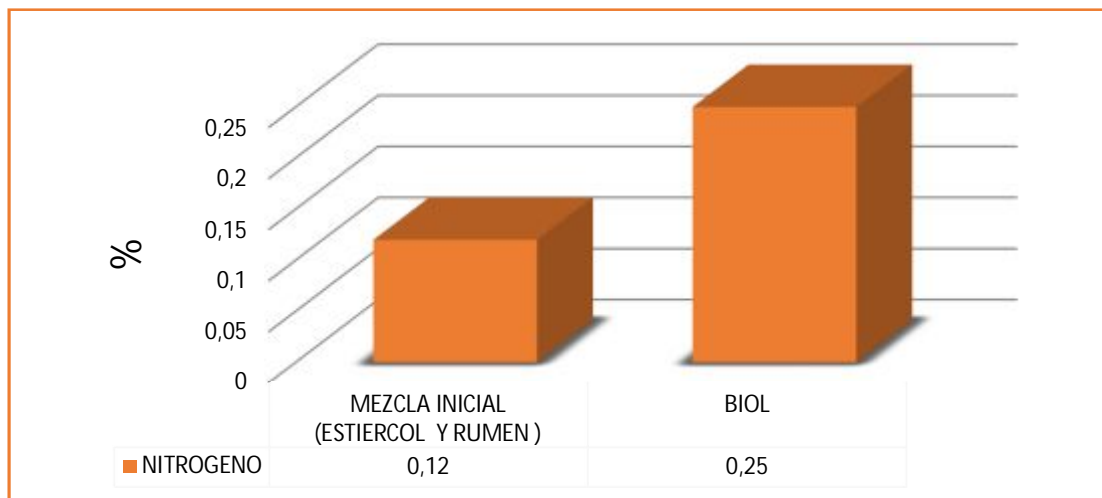


Gráfico 12-4 Variación de nitrógeno del biol y materia orgánica

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

Es notable considerar que el estiércol y rumen presentan nitrógeno que son convertidas en amonio para ser beneficiadas las plantas, donde la muestra inicial de la materia orgánica presenta el 0,12 % mientras que el biol a 31 días presenta un porcentaje de 0,25% como se puede observar existe un incremento del nitrógeno, esto se debe a que de acuerdo al proceso de digestión elaborado por los microorganismos el sustrato procede hacer una transformación de las proteínas, urea y aminoácidos en nitrógeno.

4.7.8.2 Fosforo (P)

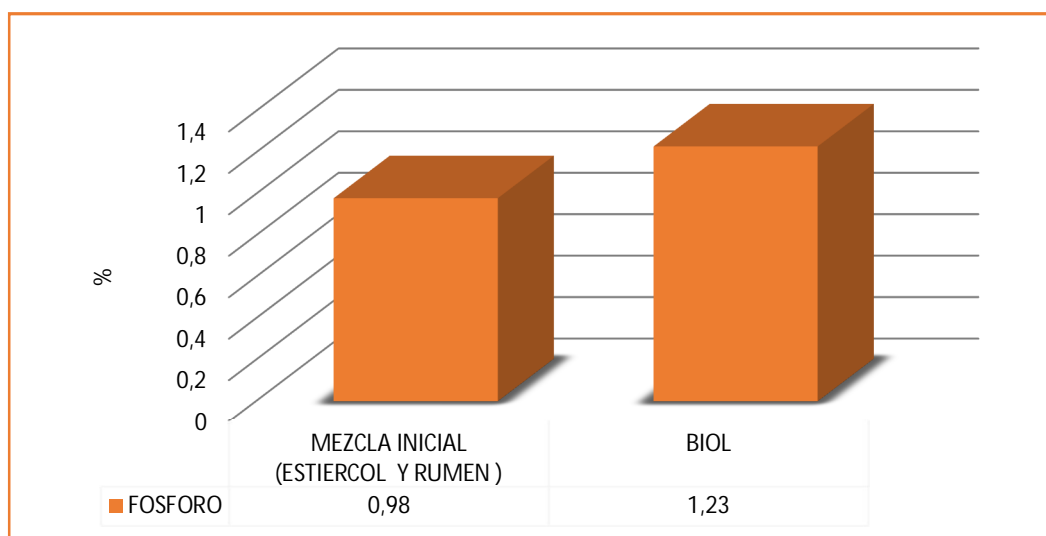


Gráfico 13-4 Control del fosforo del biol y materia orgánica

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

La muestra inicial presenta un 0,98 % de fosforo y en la materia digerida tiene 1,23 % aumentando en un 2,5 % este incremento se debe a que las bacterias que poseen en su interior fosforo está siendo liberado por los tejidos celulares, esto sucede en el proceso de digestión.

4.7.8.3 Potasio

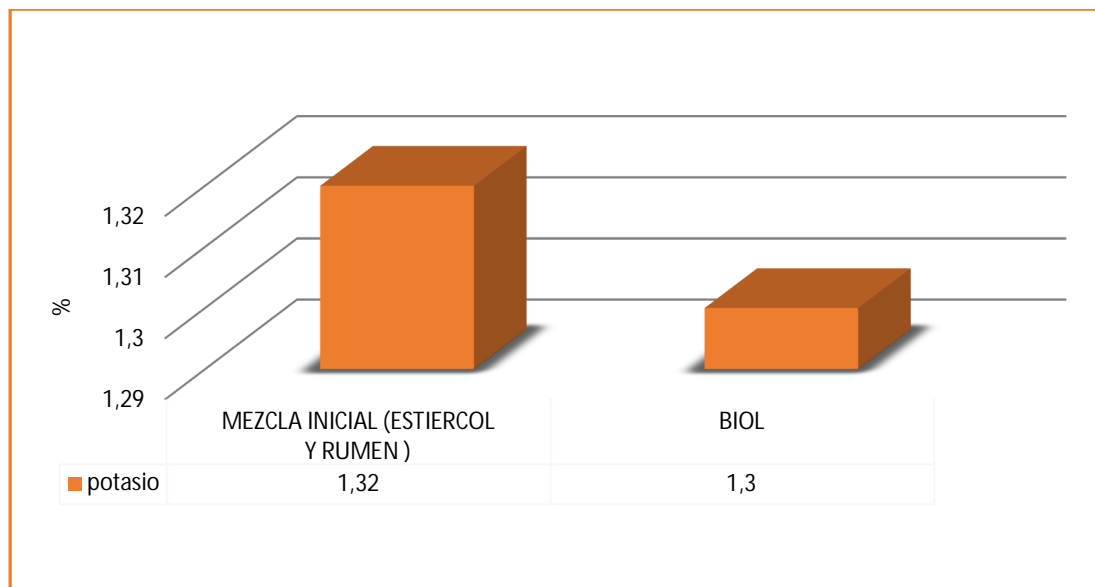


Gráfico 14-4 Variación del potasio del biol y materia orgánica

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

La muestra inicial presenta un 1,32 % de potasio y en la materia digerida tiene un 1,30 % disminuyendo un 2 %, la cual es reducida biológicamente y es asimilada por las bacterias al momento de realizarse la digestión

4.8 Arranque de la planta de biogás

Tabla 23-4 Monitoreo de los parámetros de control del funcionamiento del biodigestor

CONTROL DE BIODIGESTOR					
DÍAS	FECHA	° T PROMEDIO AMBIENTE (°C)	° T BIODIGESTOR PROMEDIO (°C)	P. PROMEDIO (Kpa)	CAUDAL (L/S)
1	07-ene	25,7	34,35	-	-
2	08-ene	26,25	36,9	-	-
3	09-ene	27,14	36,1	-	-
4	10-ene	29,65	40	1,75	1,65
5	11-ene	29,78	40,1	4,13	1,7
6	12-ene	30,15	41,1	4,89	1,9
7	13-ene	32,5	43	5,79	2,1
8	14-ene	31,25	42,85	7,35	2,25
9	15-ene	35,8	44,1	9,42	2,3
10	16-ene	35,4	43,5	11,03	2,45
11	17-ene	33,34	40,67	13,1	2,48
12	18-ene	31,56	40,94	15,16	2,5
13	19-ene	32,5	41,5	16,35	2,51
14	20-ene	29,89	40	17,74	2,53
15	21-ene	31,54	41,45	19,79	2,52
16	22-ene	32,8	42,6	20,68	2,54
17	23-ene	33,9	41,25	25,74	2,55
18	24-ene	36,5	43	30,33	2,55
19	25-ene	34,1	42,65	36,54	2,56
20	26-ene	35,6	43,15	38,59	2,59
21	27-ene	32,15	41	39,45	2,67
22	28-ene	30,1	42	44,12	2,76
23	29-ene	32,3	41,1	48,03	2,85
24	30-ene	33,7	41	50,35	3,03
25	31-ene	36,5	42,35	52,78	3,05
26	01-feb	31,9	41,24	52,9	3,25
27	02-feb	29	41,5	53,31	3,45
28	03-feb	32,9	42,19	55,83	3,73
29	04-feb	37	40,27	56,92	4,01
30	05-feb	34,7	42,65	57,91	4,29
	PROMEDIO	32	41		

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

4.8.1 Temperatura

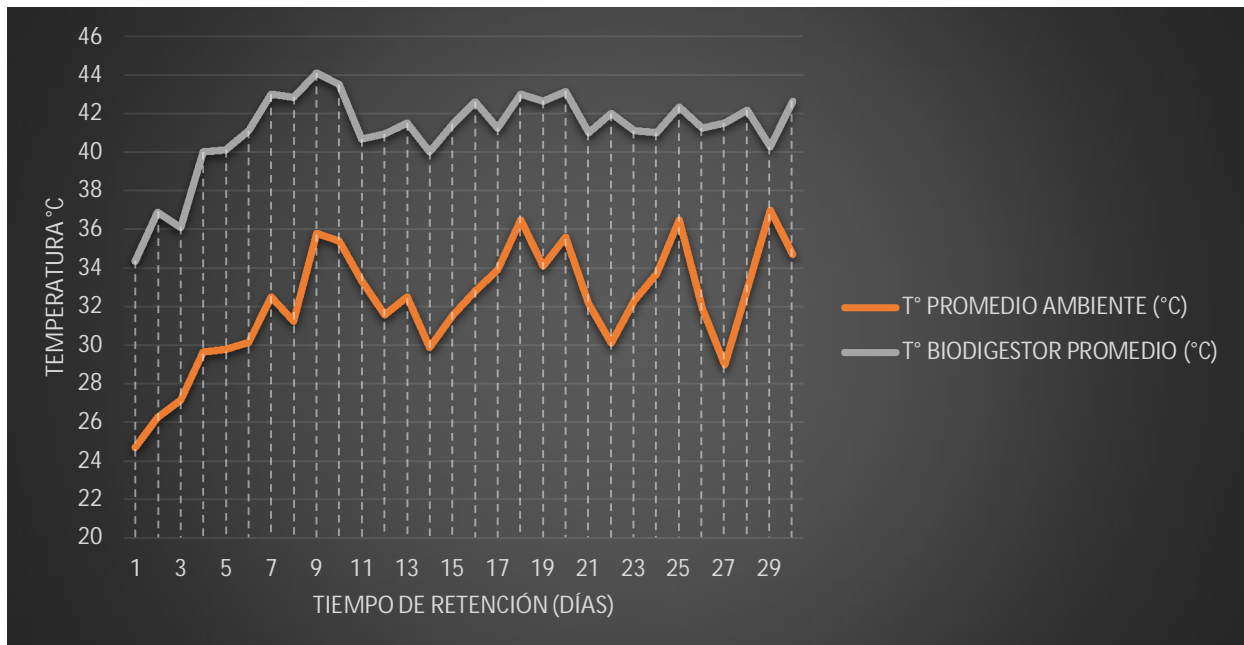


Gráfico 15-4 Variación temperatura del biodigestor

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

Durante 31 días de monitoreo se obtuvo los siguientes datos como se puede apreciar en la tabla 22, para determinar una temperatura idónea se realizó un seguimiento de la temperatura ambiente la cual oscila en un rango de 24 a 36 °C, estos parámetros determinados se los realizó con ayuda de un termómetro láser, en circunstancias la temperatura puede llegar a menos de los 25 °C. Debido a que en estos meses donde se realizó el monitoreo se presenciaron lluvias pero por lapsos de media a una hora además vale recalcar que en las noches existe la disminución notable de la temperatura entre 16 a 18 °C. La determinación de los datos de la temperatura dentro del biodigestor oscila entre 35 a 41 °C se puede observar que en los primeros días la temperatura va incrementándose debido a que los microorganismos se están adaptando al medio desde ese momento la temperatura aumenta, esto nos indica que existe el crecimiento de los microorganismos hasta el máximo, después para mantenerse constante.

Es notable mencionar que si en el biodigestor se presenta una temperatura de 60 °C se la debe controlar ya que si no se lo hace se producirá la muerte de los microorganismos.

4.8.2 Presión

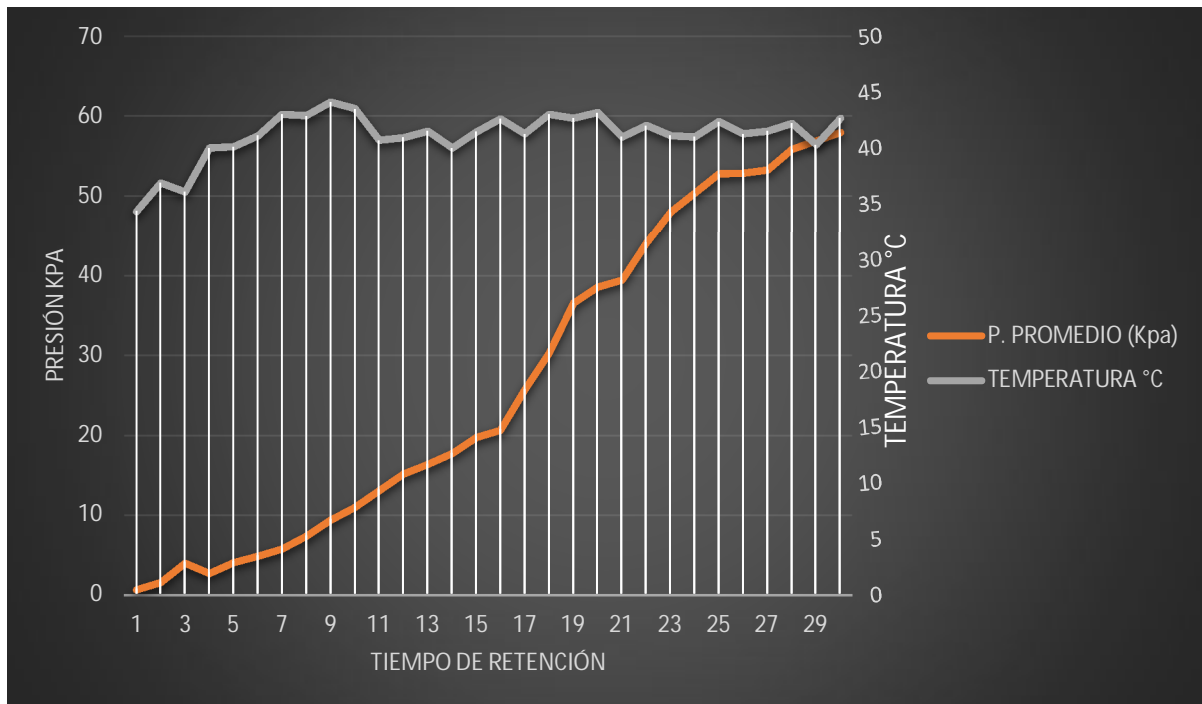


Gráfico 16-4 Variación de presión vs temperatura interna del biodigestor

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

El monitoreo de la presión se lo realizó tres veces al día donde en el día 2 no existe presencia de presión, a partir del día 4 hay una leve lectura de presión, en los días posteriores la presión tenía variación esta presentaba un aumento, que al acumularse en 30 días proporciona una presión de 58 Kpa. Para el control de la presión se instaló llaves de seguridad sensibles hasta 20 PSI mismas que al momento de sobrepasar dicha presión se activan y regulan la presión ejercida en el biodigestor. En la gráfica 15 se aprecia que mientras hay un incremento de temperatura existe también un aumento de presión esto se debe a que elevadas temperatura expanden al gas.

4.8.3 Caudal de biogás del biodigestor (flujómetro)

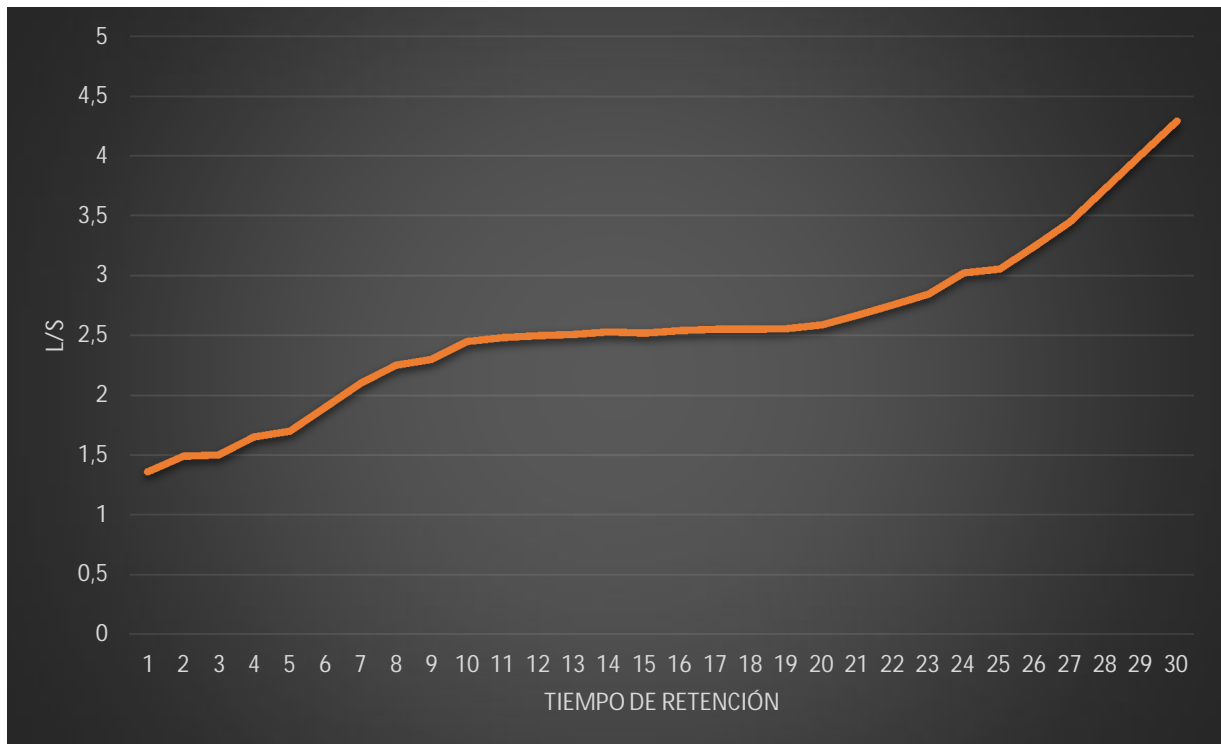


Gráfico 17-4 Control del biogás (L/S)

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

Con la ayuda del flujómetro instalado en el biodigestor, las lecturas se las realizó tres veces al día, sacamos un promedio de cada día para hacer una tabla general con los siguientes resultados.

En la producción de biogás calculado teóricamente se considera que se genera 2,5 L/s cada día pero en la práctica se percató que en los primeros días no se genera esa cantidad de biogás se comenzó a generar al día 13, pero lo notable es el aumento al partir de ese día sobrepasando las expectativas de generación de biogás acumulándose al mes 77 L/s que nos da un promedio de acumulación de biogás de 277,2 m³/mes generando un total de 8 tanques de gas al mes.

4.9 Pruebas de consumo de biogás

Tabla 24-4 Resultados de la prueba de consumo del GLP vs biogás

CONSUMO DE GLP VS BIOGÁS PARA EL CHAMUSCADO DE PATAS				
HORA	FECHA	# BOVINOS	TIEMPO DE CONSUMO (MIN)	
			GLP	BIOGÁS
20:00	08/02/2015	2	22	25
21:00	08/02/2015	3	36	40
22:00	08/02/2015	3	34	45
23:00	08/02/2015	2	25	28
00:00	08/02/2015	3	35	10
1:00	08/02/2015	2	24	-

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

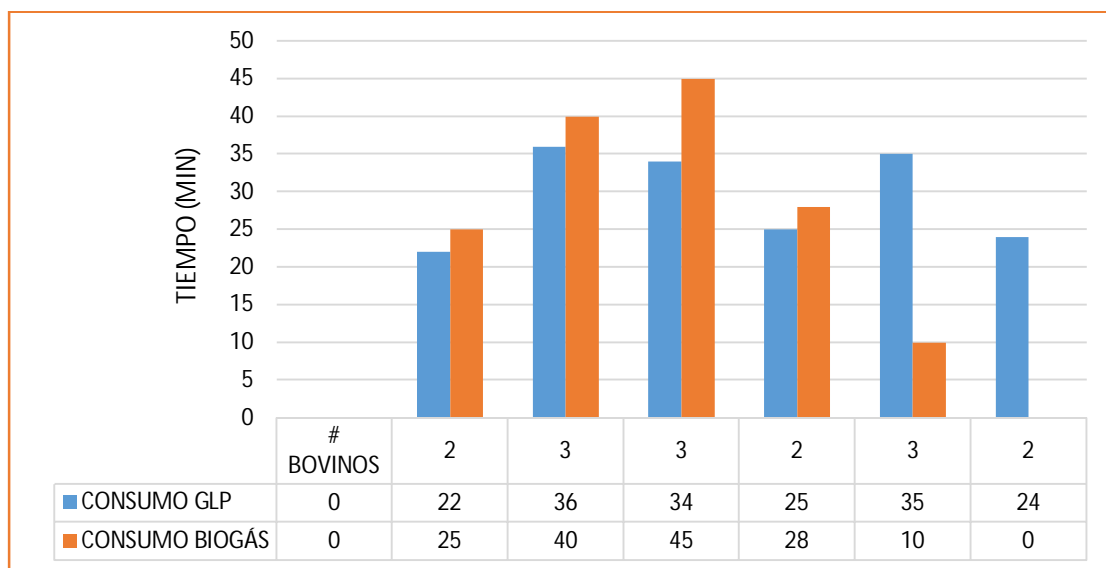


Gráfico 18 -4 Variación del consumo del GLP vs biogás

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

Como se observa en la gráfica 18 se realizó la comparación del tiempo de consumo del gas licuado de petróleo y del biogás para el chamuscado de patas del ganado bovino, dando como resultado que el GLP dura 2 horas con 56 minutos; mientras que el biogás del biodigestor tuvo una durabilidad de 1 hora con 28 minutos, en los cuales el biogás pierde la presión en las 5 últimas patas del ganado disminuyendo el tamaño de la flama.

4.10 Almacenamiento del biol

Se producirá 300 L de biol mismos que 150 L son almacenadas en botellas de 3 L cada una con un precio de \$ 1,50 vendidas a los propietarios del ganado bovino que llegan al camal donde lo utilizarán en los pastizales de sus fincas.

Los otros 150 L de biol se los almacenarán en canecas de 20 L los cuales son utilizados en los alrededores del camal, partes verdes, parcelas de flores y además son llevados por el personal del camal para sus terrenos.

La venta de 150 L de biol genera un ingreso económico de 75 dólares a la empresa generando 300 L diarios se genera un ingreso de \$ 2,250 dólares.

4.11 Mitigaciones en la etapa de diseño

- ✓ Dadas las características de la zona de influencia del proyecto y con el fin de eliminar impactos negativos en la operación del biodigestor que se implementará en el camal se ha propuesto en la etapa de diseño considerar las siguientes acciones:
- ✓ La sangre no podrá ser incluida en los residuos líquidos en la zona sucia, para lo cual se diseñará un proceso que recoja la misma para posteriormente ingresar al biodigestor.
- ✓ El material ruminal será recogido y no podrá ingresar al sistema de evacuación de aguas servidas.
- ✓ El estiércol de los corrales será recogido en carretillas manualmente y no se enviara hacia el sistema de depuración de aguas servidas.
- ✓ A fin controlar la contaminación en el sitio la sangre, contenido ruminal, grasas, estiércol se incluirá en el biodigestor para que se biodegrade y obtendremos el biogás esperado.

4.11.1 Evaluación de impactos durante la etapa de construcción

Para efectos de considerar los factores afectados en la etapa de construcción, tomando en consideración el sitio en el que se ejecutará la construcción del camal se han determinado las siguientes acciones:

- ✓ Modificación del régimen
- ✓ Construcción de obras civiles

- ✓ Extracción de recursos
- ✓ Alteración del territorio
- ✓ Tratamiento de residuos
- ✓ Modificación en el tránsito
- ✓ Accidentes e instalación de equipos

De la misma manera se han adoptado como factores ambientales a ser alterados los que se listan:

1. Características físico químicas

- ✓ tierra
- ✓ agua
- ✓ aire y procesos)

2. Factores Culturales

- ✓ Paisaje
- ✓ Estilo de vida
- ✓ Empleo
- ✓ Salud y seguridad

3. Servicios de infraestructura

- ✓ Estructuras
- ✓ Red de transporte
- ✓ Eliminación de residuos sólidos

4.11.2 Descripción de los impactos ambientales principales

En general la construcción del biodigestor dará un impacto general negativo temporal por la generación de desechos, contaminación de agua, ruido, riegos laborales y positivo también temporal por la creación de fuentes de trabajo y la utilización de insumos que se adquirirán en la mayor parte en ciudad del Tena.

También se nota que el efecto global de la construcción del proyecto tendrá un Impacto Ambiental Negativo del - 77.55%, en principio por la generación de desechos, contaminación de agua, ruido, riegos laborales. Ese porcentaje de impacto negativo se verá mejorado luego de implementadas las medidas de mitigación, referidas a medidas de seguridad para trabajadores, limitación de la contaminación del aire, del agua, etc.

4.11.3 Evaluación de impactos durante la etapa de operación y mantenimiento

Para efectos de consideración de los factores ambientales afectados en la etapa de operación y mantenimiento se han determinado las siguientes acciones en la etapa de operación:

1. Transporte de los desechos orgánicos
2. Mezcla de los desechos orgánicos
3. Control de parámetros del biodigestor
4. Obtención de biogás
5. Paisaje
6. Capacitación al personal
7. Mantenimiento del biodigestor

De la misma manera se han adoptado como factores ambientales a ser alterados los que se listan:

1. Calidad del agua de procesos
2. Mejora en la salud pública

3. Aceptación social
4. Efectos en la flora
5. Efectos en la fauna
6. Falta de capacitación de empleados
7. Riesgos laborales
8. Creación de empleo
9. Residuos orgánicos
10. Residuos de otro tipo
11. Presencia de roedores y vectores
12. Peligro de incendios

MATRIZ DE LEOPOLD 2

ETAPA DE OPERACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR

FACTORES AMBIENTALES	ACCIONES	ACCIONES												AFECCIONES POSITIVAS	AFECCIONES NEGATIVAS	AGREGACIÓN DE IMPACTOS	
		1. Transporte de los desechos orgánicos	2. Mezcla de los desechos orgánicos	3. Control de parámetros del biodigestor	4. Obtención de biogás	5. Paisaje	6. Capacitación al personal	7. Mantenimiento del biodigestor	8	9	10	11	12				
1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS																	
Calidad del agua		2	6	8	7	1				5					6	0	86
		1	2	5	3	1				2							
Mejora en los suelos		5	2			7		8						4	0	72	
		2	1			4		4		4							
Mejora en el aire		8	5	7	9	9		5		7				7	0	194	
		4	3	4	5	4		2		4							
Efectos en la flora		7	5	4	5	8		4		5				7	0	95	
		3	2	1	2	4		2		2							
Efectos en la fauna		7	4	5	4	6		6		7				7	0	111	
		3	2	2	2	3		3		3							
2. FACTORES CULTURALES																	
Aceptación social		7	3	8	8	7		9		6				7	0	182	
		4	2	4	4	3		5		3							
Mejora en la salud pública		7	6	4	6	7		7		4				7	0	135	
		4	2	3	2	4		5		2							

Creación de empleo	6	7	5	7	3	7	8								7	0	166						
	4	4	3	4	1	4	5																
Salud y seguridad	-5	-4	5	9	5	7	7								5	2	119						
	3	2	3	6	2	4	5																
3. MANEJO DE DESECHOS Y OTROS																							
Residuos orgánicos	8	6	9	7	-2	5	2																
	6	3	6	5	1	3	1																
Residuos de otro tipo	-4	-7	-6	-9	-7	2	-4																
	2	3	4	6	4	1	2																
Peligro de incendios	2	3	2	-5	-5	8	7																
	1	1	1	2	2	5	4																
															69	11	1244						
AFECCIONES POSITIVAS															10	10	10	9	9	11	10	69	86,25%
afecciones NEGATIVAS															2	2	1	2	3	0	1	11	13,75%
AGREGACIÓN DE IMPACTOS															193	85	188	181	137	261	199	1244	1244
IMPACTO AMBIENTAL GLOBAL															74,03								

Como observación de lo anterior, considerando solamente los impactos positivos, la implementación del biodigestor aportará con un beneficio global del + 70.03%.

CONCLUSIONES

1. Se generó un promedio diario de 300 Kg de materia orgánica, en el CEFATE-CEM, de la cual el 90 % es de rumen procedente de la panza del ganado bovino y un 10 % es de estiércol recolectado de los corrales, es notable recalcar que la empresa trabaja a un 30 % de eficiencia.
2. Los análisis de laboratorio realizados de la materia orgánica de la mezcla inicial que ingreso al biodigestor tienen un resultado de un pH de 6,96; Humedad de 94 %; DQO 45,73 g/L; DBO 36,62 g/Kg; Solidos Volátiles 99,03; Sulfuros 449,5 mg/L; C/N 53, al pasar 26 días de haber ingresado al biodigestor se realizó el análisis de la materia orgánica ya digerida por los microorganismos obteniendo resultados de un pH de 6,86; Humedad de 90 %; DQO 43,31 g/L; DBO 16,65 g/Kg; Solidos Volátiles 98,14; Sulfuros 293,16 mg/L; C/N 13 siendo notable la disminución del 50 al 80 % en los diferentes parámetros demostrando la degradación de la materia orgánica por las bacterias metanogénicas las que actúan para la obtención del metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) componentes principales para la generación de biogás.
3. Mediante el prototipo a escala del biodigestor se estableció que en las siguientes condiciones de temperatura de 25 a 35 °C; Presión de 1010 Pa; Altura de 500 m.s.n.m se determinó un tiempo de retención de 30; 1 kg de estiércol genera 0,013 m³ de biogás y que 1 Kg de Materia orgánica se añade 1 litro de agua obtenido una relación de mezcla de 1:1.
4. El diseño se lo realizó de forma circular debido a que su geometría es muy consistente y no existe esquinas entre las paredes donde se puedan generar fuga del gas, de acuerdo a los parámetros de diseño determinados por el prototipo se calculó un volumen de 18 m³ de mezcla total de residuos orgánicos con el agua, produciendo 10 m³ de biogás y 300 litros de biol diario utilizado como biofertilizante en los pastizales.

5. Su construcción se la realizó de concreto obteniendo una vida útil de 25 años dando una resistencia a la temperatura, humedad, corrosión, viento, con un radio de 2,50 m y una altura de 4 m captando los 18 m³ de volumen de materia orgánica la cual tiene un ancho de 20 cm de espesor en sus paredes.

6. Al transcurrir los 30 días de retención en el biodigestor se obtuvo una presión de 58 Kpa; Volumen de biogás de 277,2 m³/mes generando un total de 8 tanques de gas al mes mismo que al utilizarse para chamuscar las patas del ganado bovino tuvo una duración de 1:28 min.

RECOMENDACIONES

1. Para no tener variaciones en la cuantificación de la materia orgánica no se debe sobrepasar el recipiente de medición.
2. Realizar un calibrado de la báscula donde se pesó los animales antes de ser faenados.
3. Los registros deben mencionar el tipo de raza de los animales, peso vivo, peso muerto y el peso del menudo de cada bovino.
4. La ubicación del biodigestor debe estar cerca de la captación de la materia orgánica y de una toma de agua para que no se complique la mezcla del rumen y estiércol.
5. En el momento de comenzar la construcción se debe proveer EPP a los trabajadores para no tener accidentes laborales.
6. Se debe colocar un andamio para trabajar en los lugares altos del biodigestor y sea más fácil el montaje, fundición del hormigón y revisión de fugas.
7. Se debe colocar llaves de seguridad para evitar elevaciones y altas de presión.

BIBLIOGRAFÍA

AENEC, Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás. Unidad de Planeación minero energética. Marzo del 2008, p 12-30

http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/normalizacion/GUIA_PARA_LA_IMPLEMENTACION_DE_SISTEMAS_DE_PRODUCCION_DE_BIO.pdf

25 de septiembre del 2014

AZNAR, A.; CABANELAS, J. Materias Primas. Universidad Carlos III de Madrid. 2012, p 1-10

<http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/quimica-ii/material-de-clase-1/MC-F-005.pdf>

29 de noviembre del 2014

CEFATE-CEM. Centro de faenamamiento Tena. Informe Inédito. Consulta Privada, 2008. 155 p

CHAVARRIA N., Irene C. Implementación de un biodigestor en unidades peruanas. (Tesis). (M.V.Z). Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, División Regional de Ciencia Animal. Coahuila-México. 2014. p 23-26

CRIOLLO Q., Érica C.; GUZMÁN G., Adriana C. Elaboración de un biodigestor piloto tubular para la producción de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno en una vivienda de la comunidad de Tembo. (Tesis). (Ing. Amb). Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Facultad Ciencias, Escuela Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2011, 117 p

EATON, Alexander., etal. Manual para la implementación de proyectos de captura de metano emitido por la agricultura y ganadería en México. 2^{da}. Ed. DF-México. Alfaomega, 2014, p 20

ESTRADA G., David E. Diseño y fabricación de un prototipo para la obtención de biogás. (Tesis). (Ing, EM). Universidad de la Fuerzas Armadas. Departamento de Eléctrica y Electrónica. Cotopaxi-Ecuador. 2013, p 1-16

FERNÁNDEZ, Jesús. Energía de la biomasa. Energía renovable para todos. No.4. 19 de noviembre del 2006. España, 20 p

FINCK, Horst. El biogás y sus aplicaciones. 2^{da}. ed. La Paz-Bolivia. Presenca. 2009, 104 p

GARZÓN C., Marco F.. Estudio de un biodigestor generador de gas metano mediante abono orgánico para prácticas de energías alternativas en el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la universidad Técnica de Ambato. (Tesis). (Ing. Mec). Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ingeniería Mecánica. Ambato-Ecuador. 2011, p 11-17

GONZALES, José. Manual de operaciones de biodigestores. Guía técnica. (7). 2005, Nicaragua, 24 p

GUERRERO M., Clara D.; INGA C., Érica T.; SAMANIEGO C., Fabián E.. Optimización de un biodigestor en la depuración de agua residual con estiércol de ganado bovino. (Tesis). (Ing. Amb). Universidad Politécnica Salesiana, Carrera ingeniería Ambiental. Cuenca-Ecuador. 2011, p 30-46

GUTIERREZ E., David J.; CÁCERES J., José A.. Aumento de la producción de biogás del digestor de la F.I.Z. (Tesis). (Ing, Mec). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de ingeniería mecánica, ingeniería Mecánica. Riobamba-Ecuador. 1985, p 17-50

HILBERT, Jorge. Manual para la Producción de Biogás. I.N.T.A., 57 p

http://inta.gob.ar/documentos/manual-para-la-produccion-de-biogas/at_multi_download/file/Manual%20para%20la%20producci%C3%B3n%20de%20biog%C3%A1s%20del%20IIR.pdf 29 de noviembre Del 2014

INGENIERÍA, Alemana. Estudio para la evaluación socioeconómica y ambiental de tres prototipos de biodigestores en predios de pequeños productores lecheros. Informe Inédito, Chile UREPA, 2009, p 23-30

LARA G., Edwin S.; HIDALGO CH., María B.. Diseño de un birreactor y conducción de biogás generado por las excretas de ganado vacuno, estación Tunshi- ESPOCH. (Tesis). (Ing. Amb). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad Ciencias, Escuela Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2011, p 5-43

LÓPEZ, José. Energía renovable sustentable para pequeñas poblaciones agrícolas. Energía renovable. (4). 22 de noviembre del 2006. Madrid, p 40-96

MARTINEZ, Iglesia. El estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente 4^a. Ed. Madrid-España. Getafe. 1995, 140 p

MCGARRY, M & STAINFORTH J. El compost, fertilizantes y la producción de biogás a partir de desechos humanos y de granja en la República popular China., República Popular de China. IDRC, Ottawa, ON, CA. 1978, 91 p

MÉNDEZ, Jorge. Bioenergía alternativa rentable para el agro. Milenio. (045). 28 de febrero del 2009, México, p 1-2

METCALF, Eddy. Fundamentos de los tratamientos biológicos del agua residual, tratamiento y rehusó. 4ta. Ed. New York-USA. MarGrowHill. 2003, p 563-644

MONCAYO, Gabriel. Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás. Biodigestores. (1). 16 de junio del 2008. Bolivia, 37 p

MONTES C., María E.. Estudio técnico – económico de la digestión anaeróbica conjunta de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y lodo de depuración para la obtención de biogás. (Tesis). (Ing. Quim). Universidad Politécnica de Madrid España, Departamento de ingeniería Civil, Ordenación del Territorio Urbanismo y Medio Ambiente. Madrid-España. 2008, p 22-55

OLAYA, Yeison. Fundamento para el diseño de biodigestores. Universidad Nacional de Colombia 20 de Julio 2009, 32 p

<http://www.bdigital.unal.edu.co/7967/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf>

23 de septiembre del 2014

PONZUELO C., Antonia E.. Optimización de la digestión anaeróbica de purines de cerdo de cerdo mediante codigestión con residuos orgánicos de las industrias agroalimentaria. (Tesis). (Dr. Amb). Universidad de Lleida, Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Sol. Lérida-España. 2001, p 21-55

RICO, Javier. Energía de la biomasa. Energía renovable. (2). 13 de octubre del 2007, Madrid, 112 p

SALAZAR C., Jean L.; COAQUIRA A., Cristian J.; LLAVE P., Juan J.; RIVASPLATA C., Cesar A.. Producción de biogás y biol a partir de excretas de ganado. (Tesis). (Ing. Amb). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman de Tacna, E.A.P de Física, Tacna-Perú. 2012, p 20-28

SANTIANES, José. Situación actual de la producción de biogás y sus aprovechamientos. Vigilancia tecnológica. (17). 24 de septiembre del 2012, Madrid, 45 p

SILVA V., Juan P.. Tecnología del biogás. (Tesis). (Ing. RN). Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. Cali-Colombia. 2002, p 30-39

SOLARI, Giannina. Biodigestores. Soluciones prácticas ITDG, (8). 09 de abril del 2008. Lima-Perú, p 1-4

SORIA E., Ester A.; AYAMACAÑA G., Erika N.; RAMOS N., Giovanna R.. Diseño y construcción de un biodigestor de campana flotante a partir de desechos orgánicos de ganado porcino con capacidad de 12 m³ para la obtención de biogás el cual va a ser utilizado en la cocción de alientos y climatización de la granja el descanso. (Tesis). (Ing. Mec). Universidad de las Fuerzas Armadas, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Ingeniería Mecánica. Quito-Ecuador. 2009, p 49-80

SUNTASIG CH., Hernán D.. Diseño de un biodigestor para el aprovechamiento energético de la excreta generada por los animales de cría en la finca de autoconsumo del Instituto pre-universitario vocacional de ciencias exactas. (Tesis). (Ing. EM). Universidad técnica de Cotopaxi, Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Ingeniería Electromecánica. Cotopaxi-Ecuador. 2010, p 23-26

VAN L., Elize M.; REGUEIRO V., Mariel E.. Digestión en retículo-rumen. (Tesis). (Ing. Agr). Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Ingeniería Agrónoma. Montevideo-Uruguay. 2008, p 16-48

VARNERA, Teresa. Manual de Biogás. Santiago de Chile 2011, Gobierno de Chile p. 92-110
<http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf> 23 de octubre del 2014

ZEPEDA G., Daniel A.; AMAYA C., Fredy O.. Diseño de planta de tratamiento de desechos orgánicos para la generación y aprovechamiento de biogás. (Tesis). (Ing. Amb). Escuela Especializada en ingeniería ITCA-FEPADE, Dirección de Investigación y Proyección Social. Investigación Aplicada. Santa Tecla-Salvador. 2013, p 12-13

ANEXOS

Anexo A: Costo de la obra

La inversión financiera la efectuó el Centro de Faenamiento Tena donde se realizaron tres tipos de costos como son directos, indirectos y totales detallada en las siguientes tablas.

1. Costo directo

Tabla 25-7 Costos de la implementación del biodigestor

MATERIALES	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Tanque de digestión			
Quintales De Cemento	55	8,75	481,25
Armex (8 Mm 10x10 Cm)	6	12,68	76,08
Tubería De 4 plg	1	16,78	16,78
Tubería De 12 plg	1	20	20
Codo De 45° De 4 plg	1	12,5	12,5
Codo De 45° De 12 plg	1	17,68	17,68
Rollo De Alambre De Amarre	1	10	10
Planchas De Triplex De 2 mm	30	6,25	187,5
Varilla De 12 mm	4		0
Varilla De 8 mm	3		0
Mano De Obra	30	35	1050
Cajas de carga y Descarga			
Quintales de cemento	5	8,75	43,75
Armex (8 mm 10X10 cm)	1	12,68	12,68
Varilla de 8 mm	1		0
Campana de Acero			
Tol de 6 mm	6	250	1500
Electrodo de 7080	2	25	50
Pintura de fondo	1	16,89	16,89
Pintura verde	1	16,89	16,89

Llaves de seguridad 1/2 plg	3	2,75	8,25
reducciones de 1 a 1/2 plg	3	2,3	6,9
Teflón	3	1,8	5,4
manguera de gas 1/2 plg	6	0,8	4,8
abrazadera 1/2 plg	2	0,5	1
Manómetro de 40 PSI	1	26,8	26,8
Flujómetro	1	150	150
mano de obra	30	25	750
TOTAL			4465,15

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

2. Costos indirectos

Tabla 26-7 Costos indirectos en la construcción del biodigestor

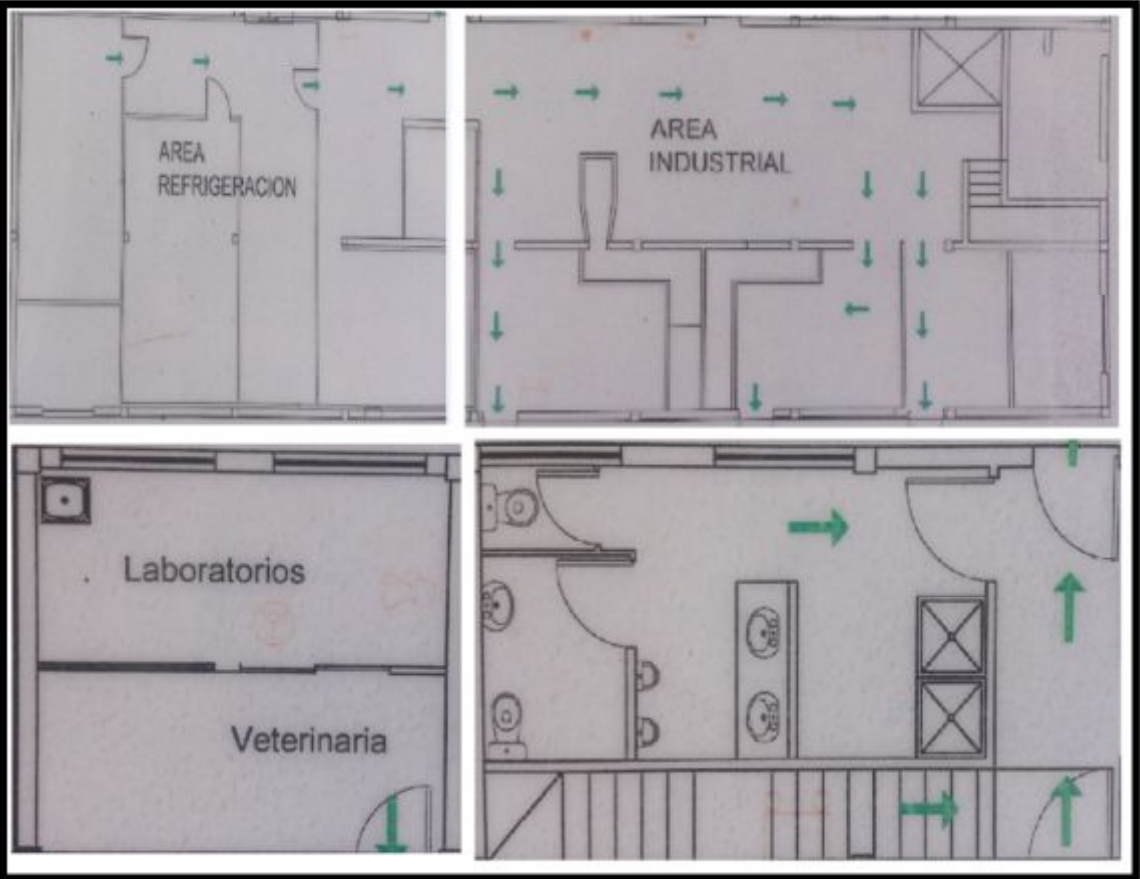
MATERIALES	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Excavación	1	220	220
Relleno	1	210	210
Clavos	5	2,5	12,5
Cadena	1	9,3	9,3
Lastre	1	80	80
Piedra	1	80	80
Tablas	30	6,25	187,5
Vigas	80	3,5	280
Análisis De Laboratorio	4	40	160
Total			1239,3

Realizado por: Diego Pérez; Antonio Erreyes

3. Costos totales

Costo Directo	4465,15
Costo Indirecto	1239,3
Total	5704,45

Anexo B. Instalaciones del CEFATE-CEM



Fotografía 2 Mapa de las instalaciones del centro de faenamiento tena



Fotografía 3 Corrales de animales

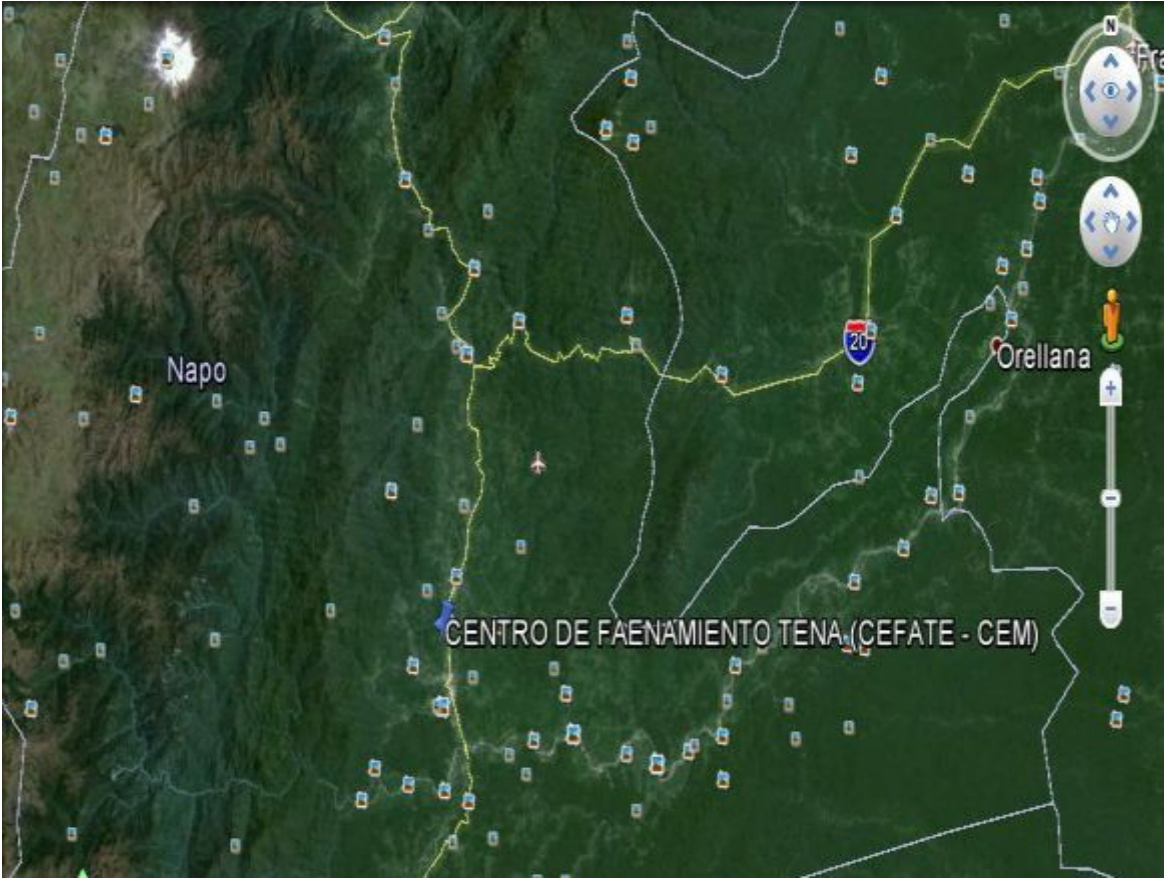


Fotografía 4 Pila de rumen y estiércol



Fotografía 5 Limpieza de corrales

Anexo C. Fase de construcción



Fotografía 6 Ubicación del CEFATE-CEM



Fotografía 7 Excavación del tanque de digestión



Fotografía 8 Relleno de la superficie excavada



Fotografía 9 Fundición de la base del tanque de digestión



Fotografía 10 Fabricación de la malla de 8 mm



Fotografía 11 Estructura de hierro del tanque de digestión



Fotografía 12 Encofrado y contrachapado



Fotografía 13 Colocación de topes y alambre galvanizado



Fotografía 14 Unión de la primera y segunda fase



Fotografía 15 Fundición de la primera y segunda fase



Fotografía 16 Desmontaje del encofrado y enchapado de la primera fundición



Fotografía 17 Desmontaje de la tercera fase y verificación de fugas



Fotografía 18 Construcción de la loza para la campana de acero



Fotografía 19 Cimentación de la caja de carga y de descarga



Fotografía 20 Cajas de carga y descarga vista frontal



Fotografía 21 Levantamiento y ubicación de la campana



Fotografía 22 Instalación de los equipos de medición de gas



Fotografía 23 Equipos instalados manómetro y flujómetro

Anexos D. Resultados de análisis de laboratorio

1. Muestra inicial



Contáctanos: 0993387300 - 032924322 ó 0993806600 – 032360260
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srs. Antonio Erreyes y Diego Pérez
Fecha de Análisis: 12 de enero del 2015
Fecha de Entrega de Resultados: 19 de enero del 2015
Tipo de muestras: Estiércol de ganado vacuno Muestra Cruda
Localidad: CEFATE-CEM Tena

TRABAJO DE TESIS

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
pH	Und.	4500-B	6.96
Demanda Química de Oxígeno	g/Kg	5220-C	45.73
Demanda Bioquímica de Oxígeno	g/Kg	5210-B	36.62
Sulfuros	mg/Kg		449.5
Ceniza	%		0.97
Materia seca	%		5.87
Humedad	%		94.13
Sustancias Volátiles (base seca)	%		99.03

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

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LABORATORIO



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

2. Muestra degradada



Contáctanos: 0993387300 - 032924322 ó 0993806600 – 032360260
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srs. Antonio Erreyes y Diego Pérez

Fecha de Análisis: 24 de febrero del 2015

Fecha de Entrega de Resultados: 5 de marzo del 2015

Tipo de muestras: Estiércol de ganado vacuno Muestra Digestada

Localidad: CEFATE-CEM Tena

TRABAJO DE TESIS

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
pH	Und.	4500-B	6.86
Demanda Química de Oxígeno	g/Kg	5220-C	43.31
Demanda Bioquímica de Oxígeno	g/Kg	5210-B	16.65
Sulfuros	mg/Kg		293.16
Ceniza	%		1.81
Materia seca	%		9.86
Humedad	%		90.14
Sustancias Volátiles (base seca)	%		98.19

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

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LABORATORIO



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

3. Resultado del biol



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



Nombre del Propietario: Antonio Erreyes
Remite: Camal CEFATE
Ubicación: Nombre del Sitio

Fecha de ingreso: 16/01/2015
Fecha de salida: 21/01/2015
Provincia: Napo
Cantón: Tena

Parroquia

RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE BIOL

Identificación	pH	% Relación			Relación
		N	P	K	
Biol Inicial	7.4 N	0.12	0.98	1.30	0.53
Biol Final	7.2 N	0.25	1.23	1.32	0.16

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

Ing. José Arcos T.
DIRECTOR DPTO DE SUELOS

Ing. Elizabeth Pachacama
TECNICO DE LABORATORIO
Dirección: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur Km 1/2, Facultad de Recursos Naturales, Teléfono 2998220 Extensión 418
"Apoyando a la producción sana, rentable y amigable con la naturaleza"

Anexos E. Resultados de funcionamiento del biodigestor



Fotografía 24 Identificación de la materia orgánica

Prototipo



Fotografía 25 Mezcla de la materia orgánica rumen - estiércol



Fotografía 26 Prototipo biodigestor terminado



Fotografía 27 Peso de la funda y biogás



Fotografía 28 Prueba de la llama y el biogás

Anexos I. Funcionamiento del biodigestor



Fotografía 29 Mezclado M.O



Fotografía 30 Ingreso de la materia orgánica al biodigestor



Fotografía 31 Medición del caudal del biogás



Fotografía 32 Muestras para el análisis del biol



Fotografía 33 Prueba de gas vs biogás

Anexo H. Manual de funcionamiento

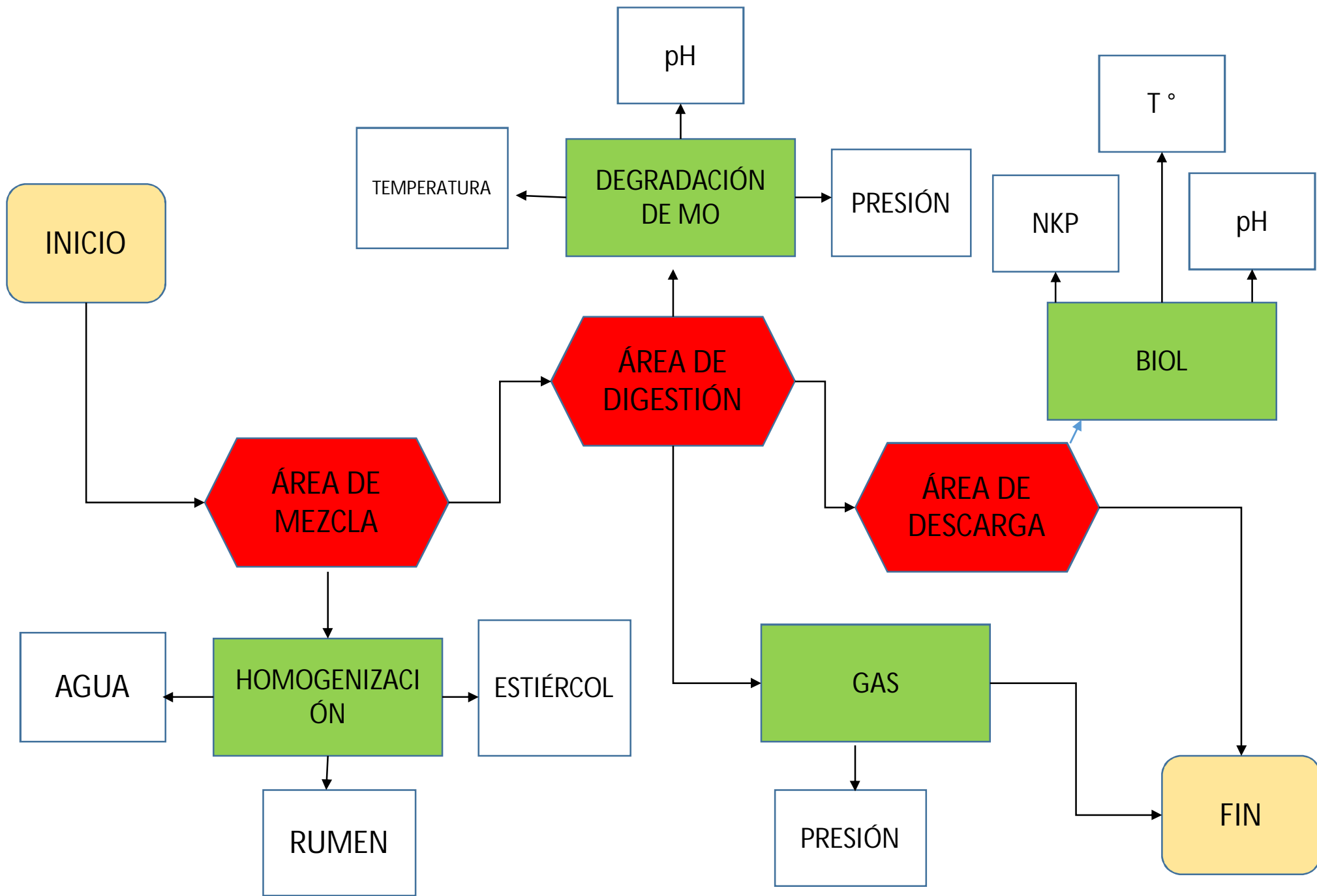
Tema

Guía de operación del biodigestor tipo hindú en las instalaciones del centro de faenamiento Tena

Objetivos

- ✓ Establecer procedimientos en cada etapa de funcionamiento del biodigestor
- ✓ Realizar registros de control para evitar alteraciones en el biodigestor
- ✓ Realizar operaciones de mantenimiento

Diagrama de flujo



Descripción de los componentes de la planta (biodigestor)

Es indispensable determinar la correcta operación del biodigestor para evitar errores y alteraciones que puedan provocar el fallo total del biodigestor.

a) Operación

El Biodigestor de domo flotante o campana flotante posee un mantenimiento explícito y sencillo facilitando al trabajo realizado por los empleados del CEFATE-CEM sin ocasionar riesgos en sus labores manteniéndoles libres de enfermedades.

La carga diaria de residuos orgánicos para la alimentación del biodigestor se efectuara de manera automática el diseño permitió que la entrada sea directa sin afectar el procedimiento llegada la situación donde la cantidad de residuo sea mayor o se genere más biogás se empleó una cámara de rebosos facilitando evaluar el volumen sobrante. Se empleó un émbolo facilitando la salida hacia las cañerías o ductos. Si el biodigestor está en una zona donde transitan vehículos pesados se debe colocar la señalización pertinente para que los transeúntes se den cuenta de la presencia del biodigestor para evitar daños al mismo.

i. Recolección del rumen y estiércol

La recolección del estiércol siempre se lo efectúa desde las 08H00 pm hasta las 04H00 am debido a que en el centro de faenamiento Tena acumula el rumen que está formado.

Materiales

- ✓ EPP (guantes, overol, botas, etc.)
- ✓ Carretilla
- ✓ Pala

Procedimiento

Se espera que el rumen salga después del lavado de la panza de la vaca.

Con la ayuda de una pala y una carretilla se llevó el rumen a un costado para ser un solo montón durante todo el faenamiento.

El estiércol se recogió a las 9H00 am de los corrales con la ayuda de una carretilla y pala para ser colocado en el montón donde se encuentra el rumen.

ii. Mezclado y preparación de la materia orgánica

Materiales

- ✓ EPP
- ✓ Carretilla
- ✓ Pala

Sustancias

- ✓ Agua

Procedimiento

Con una pala colocar en la carretilla estiércol y rumen siempre tomando en cuenta que debe estar al ras, mas no que se sobrepase para tener pesos iguales.

Se lleva la carretilla a la caja de mezclado en el que se colocara tres carretillas de rumen y una carretilla de estiércol diario.

Debido que la caja es pequeña se debe realizar tres veces el mezclado en la cual se pone primero una carretilla de estiércol, rumen y se añade la misma cantidad de agua.

Se pesa cada carretilla en la balanza electrónica que se encuentra en el área de bodega del camal y debe ser anotada en la hoja de control.

Con la pala se realizó un mezclado del rumen, estiércol con el agua hasta tener una buena mezcla, se recomienda realizarlo por 4 minutos, ya lista se levanta el tapón de la tubería para que sea conducida al tanque de almacenamiento.

Cada llenado debe ser anotado en la hoja de control para determinar qué cantidad de estiércol y rumen ingresa al biodigestor.

b) Monitoreo

Cada control se lo debe realizar tres veces en el día, la tarde en la mañana y en la noche.

- ✓ Control de temperatura dentro del Biodigestor oscilando en un rango de 25 a 35 °C evitando la muerte de microorganismos.
- ✓ Control del pH el cual debe oscilar de 6 a 7 siendo este neutro.
- ✓ Controlar la presión con ayuda del manómetro.
- ✓ Controlar que no haya presencia de olores al momento de que salga el biogás.
- ✓ Cada control deberá tener una hoja de registro para sistematizar los resultados para ver la eficiencia del biodigestor.

Cada semana se retira el biofertilizante para posteriormente ser almacenado en tanques de captación siendo este un medio de ayuda para poder recolectar después en botellones de 5 litros permitiendo de esta manera que se comercialice el producto al mercado.

c) Mantenimiento

Para realizar el mantenimiento de la planta el personal deberá colocarse los implementos de seguridad que se detallara a continuación para evitar riesgos laborales:

- ✓ Overol
- ✓ Botas de caucho con punta de acero
- ✓ Mascarilla
- ✓ Guantes

El mantenimiento se lo realizará cada día solo en las siguientes áreas:

- ✓ Limpieza de la cámara de mezclado
- ✓ Limpieza de la cubierta de la campana para evitar corrosiones.
- ✓ Revisar las cañerías del gas para evitar taponamientos.
- ✓ Verificar la presencia de olores procedentes del biol.

La revisión anual se realizará para:

- ✓ Verificar la existencia de espuma en la cámara de digestión.
- ✓ Buscar grietas en las diferentes cámaras que posee el biodigestor.
- ✓ Cambiar las cañerías que se encuentran en mal estado debido a la presión y uso del gas.
- ✓ Realizar una limpieza general de cada cámara del biodigestor.
- ✓ Pintar y lijar la campana para remover corrosión por la presencia de óxido.

En caso de que la planta comience a fallar en la producción se debe reportar daños al gerente o persona encargada del biodigestor, el cual deberá notar la presencia de variaciones en la generación de gas o biol.

d) Hojas de control

Operación

REGISTRO DE CONTROL						
EMPRESA	CENTRO DE FAENAMIENTO TENA			TÉCNICOS		
FECHA				NUMERO DE HOJA		
DÍA	HORA	PRESIÓN	TEMPERATURA AMBIENTE	TEMPERATURA BIODIGESTOR	CAUDAL DEL GAS	TAMAÑO DE LA LLAMA
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Mantenimiento en cada componente

REGISTRO DE MANTENIMIENTO						
EMPRESA	CENTRO DE FAENAMIENTO TENA			TÉCNICO RESPONSABLE		
UBICACIÓN	Napó, Tena, Barrio Chimbadero, Km 7 vía Archidona			NUMERO DE HOJA		
FECHA	HORA	ENCARGADO	ÁREA	CONTROL	OBSERVACIONES	FIRMA

Observaciones: El mantenimiento completo del biodigestor se debe realizar cada tres años, y el mantenimiento diario de áreas citadas en el apartado 3.8.3.

Frecuencia de análisis

REGISTRO DE ANÁLISIS					
EMPRESA	CENTRO DE FAENAMIENTO TENA			TÉCNICO RESPONSAB LE	
UBICACIÓN	Napo, Tena, Barrio Chimbadero, Km 7 vía Archidona			NUMERO DE HOJA	
FECHA	HORA	ENCARGADO	MUESTRA	PARÁMETROS	RESULTADOS

Observaciones: Las muestras a tomar se deben efectuar cada vez se haga mantenimiento del biodigestor para comprobar el debido funcionamiento del mismo.