



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DE DOMO FLOTANTE PARA LA
OBTENCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE GANADO
VACUNO EN LA PARROQUIA CUBIJIES”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: JOSSELYN MARCELA NEGRETE PEÑA

DIRECTOR: Ing. MARCO RAÚL CHUIZA ROJAS

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Josselyn Marcela Negrete Peña.

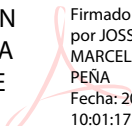
Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, Josselyn Marcela Negrete Peña, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 03 de Septiembre de 2021

JOSELYN
MARCELA
NEGRETE
PEÑA



Firmado digitalmente
por JOSELYN
MARCELA NEGRETE
PEÑA
Fecha: 2021.10.22
10:01:17 -05'00'

Josselyn Marcela Negrete Peña

060549730-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: Proyecto Técnico. **DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DE DOMO FLOTANTE PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO EN LA PARROQUIA CUBIJIES**, realizado por la Srt: **JOSELYN MARCELA NEGRETE PEÑA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Carlos Alcibar Medina Serrano
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



2021-09-03

Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas
**DIRECTOR DE TRABAJO DE
TITULACIÓN**



2021-09-03

Ing. Carlos Ramiro Cepeda Godoy
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



2021-09-03

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado a Dios por brindarme sabiduría e inteligencia en cada paso, a mis padres Marcelo y Estela quienes con su infinito amor, esfuerzo, apoyo y enseñanza supieron forjar mi vida personal y estudiantil hasta lograr las metas propuestas. A mis hermanas Kerly y Sarita por su apoyo incondicional e iniciativa para seguir superándome.

Josselyn

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por derramar bendiciones y haber guiado toda mi vida estudiantil hasta lograr mi meta profesional. A mis padres y familiares por el apoyo y sacrificio brindado día tras día para culminar una etapa más.

De igual manera al Ing. Marco Chuiza Director de Tesis, al Ing. Ramiro Cepeda Miembro de Tesis, quienes han brindaron tiempo, paciencia y conocimientos para el desarrollo y finalización del proyecto establecido. Finalmente, a mi querida universidad “Escuela Superior Politécnica de Chimborazo” por formar profesionales con buenas bases de conocimientos para un mejor desarrollo a futuro.

Josselyn

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍA.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xvii
RESUMEN.....	xix
SUMMARY.....	xx

CAPÍTULO I

1	DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1	Identificación del problema.....	1
1.2	Justificación del problema.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	<i>General</i>.....	3
1.3.2	<i>Específicos</i>.....	3

CAPÍTULO II

2	MARCO TEÓRICO.....	4
2.1	Antecedentes de la investigación.....	4
2.2	Marco Conceptual.....	5
2.2.1	<i>Estiércol</i>.....	5
2.2.1.1	<i>Beneficios del estiércol</i>.....	5
2.2.1.2	<i>Desventajas del estiércol</i>.....	6
2.2.1.3	<i>Producción y composición de estiércol</i>.....	6
2.2.2	<i>Biogás</i>.....	7
2.2.2.1	<i>Composición</i>.....	7
2.2.2.2	<i>Digestión anaeróbica</i>.....	8
2.2.2.3	<i>Etapas de la digestión anaerobia</i>.....	9
2.2.2.4	<i>Factores que influyen en el proceso anaeróbico</i>.....	10

2.2.3	<i>Biodigestor</i>	12
2.2.3.1	<i>Tipos de biodigestores</i>	12
2.2.3.2	<i>Componentes del biodigestor</i>	14
2.2.3.3	<i>Ventajas del biodigestor</i>	15
2.2.4	<i>Biol</i>	16
2.2.4.1	<i>Características del biol</i>	16

CAPÍTULO III

3	ESTUDIO TÉCNICO	17
3.1	Localización del lugar	17
3.2	Tipo de estudio	17
3.2.1	<i>Método Exploratorio</i>	18
3.2.2	<i>Método Experimental</i>	18
3.3	Determinación de la carga diaria de estiércol	18
3.3.1	<i>Materiales</i>	18
3.3.2	<i>Procedimiento</i>	18
3.4	Muestreo y caracterización del estiércol de ganado vacuno	19
3.4.1	<i>Materiales</i>	19
3.4.2	<i>Procedimiento</i>	19
3.5	Prototipo a nivel de laboratorio	21
3.5.1	<i>Construcción del prototipo</i>	21
3.5.2	<i>Construcción del invernadero</i>	22
3.5.3	<i>Preparación del sustrato</i>	23
3.5.4	<i>Variables y parámetros de control</i>	25
3.5.4.1	<i>Medición de temperatura</i>	25
3.5.4.2	<i>Medición de pH</i>	26
3.5.4.3	<i>Volumen del biogás</i>	26
3.5.4.4	<i>Prueba de flama del biogás</i>	27
3.6	Muestreo y caracterización del estiércol degradado y biol	28
3.6.1	<i>Materiales</i>	28
3.6.2	<i>Procedimiento</i>	28
3.7	Propuesta de diseño	29
3.7.1	<i>Elección del tipo de biodigestor</i>	29

3.7.2	<i>Diseño del biodigestor</i>	30
3.8	Cálculos de Ingeniería	30
3.8.1	Dimensionamiento del biodigestor de domo flotante	30
3.8.1.1	<i>Cálculo de la Cantidad de estiércol diario</i>	30
3.8.1.2	<i>Tiempo de retención hidráulica</i>	31
3.8.1.3	<i>Producción de biogás</i>	31
3.8.1.4	<i>Cálculo de la cámara de digestión</i>	31
3.8.1.5	<i>Cálculo de la altura de la pared divisoria del biodigestor</i>	33
3.8.1.6	<i>Cálculo de la cámara de alimentación y descarga</i>	33
3.8.1.7	<i>Cálculo de la tubería de entrada y salida del biodigestor</i>	33
3.8.1.8	<i>Dimensionamiento de la campana</i>	34
3.9	Elaboración de planos del biodigestor	36

CAPÍTULO IV

4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
4.1	Resultado de la cuantificación de materia orgánica	37
4.2	Resultados de la caracterización de estiércol de ganado vacuno (muestra cruda, degradada y biol)	38
4.2.1	Análisis físico-químico y microbiológico	38
4.2.1.1	<i>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</i>	38
4.2.1.2	<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</i>	39
4.2.1.3	<i>Sulfuros</i>	40
4.2.1.4	<i>Cenizas</i>	41
4.2.1.5	<i>Humedad</i>	42
4.2.1.6	<i>Materia seca</i>	42
4.2.1.7	<i>Sólidos Totales</i>	43
4.2.1.8	<i>Sustancias Volátiles</i>	44
4.2.1.9	<i>Coliformes Totales</i>	45
4.2.1.10	<i>Escherichia Coli</i>	45
4.2.1.11	<i>Nitrógeno</i>	46
4.2.1.12	<i>Fósforo</i>	47
4.3	Resultados de pruebas del prototipo a nivel de laboratorio	48
4.3.1	Prototipo	48

4.3.2	<i>Determinación del tiempo de retención</i>	51
4.3.3	<i>Determinación del volumen de biogás</i>	52
4.4	Propuesta del diseño del biodigestor	52
4.4.1	<i>Esquema de la planta generadora de biogás</i>	52
4.4.2	<i>Resultados de la selección de biodigestor</i>	53
4.5	Cálculos de Ingeniería	54
4.5.1	<i>Dimensionamiento del biodigestor de domo flotante</i>	54
4.5.1.1	<i>Cálculo de la Cantidad de estiércol diario</i>	54
4.5.1.2	<i>Tiempo de retención hidráulica</i>	55
4.5.1.3	<i>Volumen de biogás del prototipo</i>	55
4.5.1.4	<i>Cálculo de la Producción de biogás</i>	56
4.5.1.5	<i>Cálculo de la cámara de digestión</i>	57
4.5.1.6	<i>Cálculo de la altura de la pared divisoria del biodigestor</i>	59
4.5.1.7	<i>Cálculo de la cámara de alimentación y descarga</i>	60
4.5.1.8	<i>Cálculo de la de la tubería de entrada y salida del biodigestor</i>	61
4.5.1.9	<i>Dimensionamiento de la campana</i>	62
4.5.2	<i>Resumen del Diseño del Biodigestor de domo flotante</i>	66
4.5.3	<i>Estimación del presupuesto de construcción del biodigestor</i>	67
	CONCLUSIONES	70
	RECOMENDACIONES	72
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 – 2. Producción y composición de diferentes tipos de estiércol.....	6
Tabla 2 – 2. Generación de biogás a partir de estiércol de ganada vacuno	7
Tabla 3 – 2. Producción de biogás	8
Tabla 4 – 2. Bacterias que participan en el proceso de fermentación durante las cuatro fases.....	9
Tabla 5 – 2. Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica	11
Tabla 6 – 2. Tiempo de retención de estiércol de ganado	11
Tabla 1 – 3. Parámetros físico-químicos y microbiológicos	20
Tabla 2 – 3. Insumos para el sustrato del prototipo	24
Tabla 3 – 3. Cargas de sustrato al biodigestor	25
Tabla 4 – 3. Parámetros físico-químicos del biol.....	29
Tabla 5 – 3. Matriz de elección del biodigestor.....	29
Tabla 1 – 4. Cuantificación del estiércol diario	37
Tabla 2 – 4. Resultado del análisis físico-químico y microbiológico	38
Tabla 3 – 4. Resultados de la DQO.....	38
Tabla 4 – 4. Resultados de la DBO.....	39
Tabla 5 – 4. Resultados de Sulfuros.....	40
Tabla 6 – 4. Resultados de Cenizas.....	41
Tabla 7 – 4. Resultados de Humedad.....	42
Tabla 8 – 4. Resultados de Materia seca	42
Tabla 9 – 4. Resultados de los Sólidos Totales.....	43
Tabla 10 – 4. Resultados de Sustancias Volátiles	44
Tabla 11 – 4. Resultados de Coliformes Totales	45
Tabla 12 – 4. Resultados de Escherichia Coli	45
Tabla 13 – 4. Resultado de Nitrógeno.....	46
Tabla 14 – 4. Resultado de porcentaje de Fósforo	47
Tabla 15 – 4. Carga de sustrato.....	48
Tabla 16 – 4. Tiempo de retención a nivel de laboratorio	48
Tabla 17 - 4 Características de la selección del biodigestor	54
Tabla 19 – 4. Comparación teórica y experimental de producción de biogás	56
Tabla 20 – 4. Cámara de digestión.....	66
Tabla 21 – 4. Cálculo de la cámara de alimentación y descarga.....	66
Tabla 22 – 4. Altura de la tubería de entrada y salida del biodigestor	66

Tabla 23 – 4. Campana.....	67
Tabla 24 – 4. Compuesta de limpieza	67
Tabla 25 – 4. Materiales del biodigestor de domo flotante	67
Tabla 26 – 4. Mano de obra.....	68
Tabla 27 – 4. Análisis de laboratorio	68
Tabla 28 – 4. Costo total del proyecto	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - 2. Etapas de la digestión anaerobia	10
Figura 2 – 2. Esquema biodigestor de domo fijo.....	12
Figura 3 – 2. Esquema biodigestor de domo flotante.....	13
Figura 4 – 2. Biodigestor de tipo tubular	14
Figura 5 – 2. Componentes principales del biodigestor.....	15
Figura 1 – 3. Hacienda “El Rosal”.....	17

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - 4. Cuantificación diaria de la materia orgánica.....	37
Gráfico 2 - 4. Comparación de DQO	39
Gráfico 3 - 4. Comparación de DBO.....	40
Gráfico 4 - 4. Comparación de Sulfuros.....	40
Gráfico 5 - 4. Comparación de Cenizas	41
Gráfico 6 - 4. Comparación de Humedad.....	42
Gráfico 7 - 4. Comparación de Muestra seca.....	43
Gráfico 8 - 4. Comparación de los Sólidos Totales.....	43
Gráfico 9 - 4. Comparación de Sustancias Volátiles.....	44
Gráfico 10 - 4. Comparación de Coliformes Totales	45
Gráfico 11 - 4. Comparación de la Escheriachia Coli.....	46
Gráfico 12 - 4. Comparación de Nitrógeno	46
Gráfico 13 - 4. Comparación de Fósforo.....	47
Gráfico 14 - 4. Variación de Temperatura.....	49
Gráfico 15 - 4. Variación del pH	50
Gráfico 16 - 4. Determinación del TRH.....	51
Gráfico 17 - 4. Determinación del volumen de biogás.....	52

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍA

Fotografía 1 – 3. Cuantificación de la materia orgánica	19
Fotografía 2 – 3. Caracterización del estiércol crudo	20
Fotografía 3 – 3. Elaboración del prototipo	22
Fotografía 4 – 3. Construcción del invernadero	23
Fotografía 5 – 3. Sustrato para el biodigestor	24
Fotografía 6 – 3. Control de temperatura.....	25
Fotografía 7 – 3. Control del pH	26
Fotografía 8 – 3. Prueba de flama.....	27
Fotografía 9 – 3. Caracterización de la muestra degradado y biol	28

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. Determinación de la carga diaria de estiércol

ANEXO B. Muestreo del estiércol crudo, degradado y biol

ANEXO C. Construcción del prototipo

ANEXO D. Construcción del invernadero

ANEXO E. Preparación del sustrato

ANEXO F. Control de parámetros y variables en el prototipo

ANEXO G. Análisis físico- químico y microbiológico del Estiércol Crudo

ANEXO H. Análisis físico- químico y microbiológico del Estiércol Digerido

ANEXO I. Análisis físico- químico del Estiércol Crudo

ANEXO J. Análisis físico- químico del Biol

ANEXO K. Esquema del Biodigestor de domo flotante

ANEXO L. Vista Frontal del Biodigestor de domo flotante

ANEXO M. Vista Superior del Biodigestor de domo flotante

ANEXO N. Hoja de registro de Determinación de la carga diaria de estiércol en la hacienda “El Rosal”

ANEXO O. Hoja de registro de temperatura y Volumen de biogás

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

H₂S	Ácido sulfhídrico
H₂O	Agua
h	Altura del biodigestor
hg	Altura del gas
h_{Cu}	Altura de la cúpula
h_C	Altura de la campana
hm	Altura de la materia orgánica
hpd	Altura de la pared divisoria
ht	Altura de la tubería de entrada y salida del biodigestor
h_{TC}	Altura total de la campana
h_{Tt}	Altura total de la tubería de entrada y salida del biodigestor
A_{comp}	Ancho de la compuerta
S	Azufre
CE	Cantidad de estiércol
CD	Carga diaria
Cu	Cobre
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
∅	Diámetro del biodigestor
∅_C	Diámetro de la campana
∅_t	Diámetro de la tubería
H₂	Dihidrógeno
CO₂	Dióxido de carbono
EPP	Equipo de protección personal
EB	Estiércol bovino
FV	Fabricante de grifería
P	Fósforo
GLP	Gas Licuado de Petróleo
°C	Grados centígrados
g	Gramos
ha	Hectáreas
INEN	Instituto de Ecuatoriano de Normalización

Kg	Kilogramo
Km	Kilómetro
L_{comp}	Largo de la compuerta
L	Litros
L_{anch}	Longitud de ancho
L_h	Longitud de altura
Lcad	Longitud de la cámara de alimentación y descarga
L_l	Longitud de largo
MO	Materia orgánica
CH₄	Metano
m	Metro
m³	Metro cúbico
ml	Mililitros
N	Nitrógeno
N₂O	Óxido nitroso
PVC	Policloruro de vinilo
K	Potasio
pH	Potencial de hidrógeno
PG	Producción de biogás
in	Pulgada
r_c	Radio de la campana
r_{cur}	Radio de la curvatura de la cúpula
ST	Sólidos totales
TRH	Tiempo de Retención Hidráulica
Vcad	Volumen de la cámara de alimentación y descarga
V_c	Volumen de la campana
V_{ST}	Volumen de sólidos totales
V	Volumen del tanque del biodigestor
VT	Volumen total del biodigestor

RESUMEN

El presente proyecto técnico consistió en diseñar un biodigestor de domo flotante para la obtención de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno de la hacienda “El Rosal”, ubicada en la parroquia Cubijies, cantón Riobamba, provincia Chimborazo. Se realizó un muestreo de estiércol de 4 vacas por 7 días cuyo promedio de producción diario fue de 7,5 Kg por cada una, considerando que la hacienda cuenta con 15 cabezas de ganado vacuno se tiene una carga de 112,5 Kg al día, para conocer la producción de biogás se construyó un prototipo a nivel de laboratorio con una carga de sustrato de 12 Kg de estiércol y 12 Kg de agua (relación 1:1), este permitió establecer variables y parámetros, siendo el tiempo de retención de 30 días, temperatura promedio del biodigestor de 28°C, temperatura promedio ambiente 26°C, pH 6,97, una producción de biogás de 0,620 m³, además se evidenció mediante la prueba de flama la presencia de CH₄, denotando que después de 20 días la llama es de color azul, la caracterización físico-química y microbiológica del estiércol crudo, digerido y biol fue importante para saber la calidad de materia orgánica con la que se está trabajando. Una vez obtenidos los datos experimentales, se procedió con los cálculos de ingeniería para el diseño donde la altura es de 2,7 m, el diámetro de 2 m y su volumen es de 8,44 m³, la altura de la campana de 2,28 m, diámetro de 1,9 m y un volumen de 5,86 m³. Se concluye que el biogás que se producirá al mes abastece a la hacienda a más de brindar beneficios como la generación de biofertilizantes (biol y biosol) que serán utilizados para un mejor desarrollo de los cultivos.

Palabras clave: <BIODIGESTOR DOMO FLOTANTE>, <BIOGÁS >, <BIOL >, <ESTIÉRCOL FRESCO >, <GANADO VACUNO >, <SUSTRATO >, <METANO >, <FERMENTACIÓN ANAERÓBIA >

**LUIS
ALBERTO
CAMINOS
VARGAS**

Firmado digitalmente por
LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Nombre de reconocimiento
(DN): c=EC, l=RIOBAMBA,
serialNumber=0602766974,
cn=LUIS ALBERTO
CAMINOS VARGAS
Fecha: 2021.04.22 16:31:29
-05'00'



1064-DBRA-UTP-2021

SUMMARY

The objective of this study was to design a floating dome biodigester to obtain biogas using cattle manure from the “El Rosal” farm, located in Cubijies, Canton Riobamba, in the province of Chimborazo. A manure sampling of four cows was carried out for seven days whose average daily production was 7.5 Kg for each one. considering that the farm has 15 heads of cattle, it has a load of 112.5 kg per day. To learn about biogas production, a prototype was built at the laboratory level with a substrate load of 12 kg of manure and 12 kg of water (1: 1 ratio), this allowed to establish variables and parameters, being the retention time of 30 days, the average temperature of the biodigester of 28 ° C, average ambient temperature 26 ° C, pH 6.97, a biogas production of 0.620 m³. Also, the presence of CH₄ was evidenced by the flame test, denoting that after 20 days the flame is blue. The physical-chemical and microbiological characterization of the raw digested manure and biol was important to know the quality of organic material used for this study. Once the experimental data were obtained, the engineering calculations for the design were carried out, where the height is 2.7 m, the diameter of 2 m and its volume is 8.44 m³, the height of the hood is 2, 28 m, the diameter of 1.9 m and a volume of 5.86 m. It is concluded that the biogas that will be produced per month supplies the farm in addition to providing benefits such as the generation of biofertilizers (biol and biosol) that will be used for better crop development.

Keywords: <FLOATING DOME BIODIGESTOR>, <BIOGAS>, <BIOL>, <FRESH MANURE>, <CATTLE>, <SUBSTRATE>, <METHANE>, <ANAEROBIC FERMENTATION>

CAPÍTULO I

1 DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del problema

Durante las últimas décadas ha surgido una gran preocupación ambiental y de salud por los problemas que originan los residuos agropecuarios, generando una alta concentración de gases como dióxido de carbono (CO₂) y óxido nitroso (N₂O) que conllevan al calentamiento global y a la destrucción de la capa de ozono.

Diversos estudios revelan que un vacuno excreta por día alrededor de 5 al 6% de su peso vivo, en un novillo de 400 Kg de peso vivo sería alrededor de 20 a 25 Kg diarios de estiércol, contribuyendo con un 50% de emisiones de amoníaco hacia la atmósfera, porque su tasa de volatilización es mayor a 23%, por otra parte cuando está fresco el excremento es líquido (80%) y contiene una importante cantidad de nutrientes y microorganismos como bacterias patógenas siendo la más común la *Escherichia coli* que causa diarrea y gases abdominales, además las personas pueden presentar asma, pulmonía, enfermedades oculares (irritación) cuando la ventilación en las granjas es deficiente (Cruz Rosales, 2011)

Actualmente en la Parroquia Cubijies de la ciudad Riobamba y específicamente en la Hacienda El Rosal existe el desconocimiento del uso de herramientas tecnológicas amigables con el ambiente que favorezca la obtención de energías alternativas, por ende no existe una disposición adecuada para el manejo del estiércol de ganado vacuno, generalmente estos desperdicios se los dispersa en los terrenos quedando expuestos al aire libre y al no existir un tratamiento, estos se degradan ocasionado la generación de malos olores, presencia de insectos, roedores, así como también al caer lluvia sobre estos excrementos ocasiona una escorrentía superficial la cual llega a los cultivos y los contamina.

Por otro lado, a nivel socioeconómico según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) el 95.22% de ecuatorianos utiliza el gas para cocinar, en promedio emplean 1,38 cilindros de gas al mes haciendo énfasis que el gasto destinado a cada bombona de 15 kilos, cuesta 3 dólares por estar en el sector rural. El porcentaje restante no tiene acceso a dicho recurso manteniendo la costumbre ancestral de preparar sus alimentos en cocinas de leña, siendo un factor perjudicial para la salud, al inhalar el

humos producto de la combustión crean afectaciones a los pulmones, tal como se ha podido constatar en algunas familias de la hacienda e incluso de la parroquia.

1.2 Justificación del problema

En las últimas décadas diversos estudios han demostrado que, para lograr un manejo adecuado de toda clase de residuos, es necesaria una infraestructura que facilite tomar las acciones necesarias, se entiende que una adecuada gestión es aquella que contempla los procesos de generación, de manipulación, de acondicionamiento, de almacenamiento, y un tratamiento para la obtención de un nuevo producto, todo ello sin causar impactos negativos al ambiente ni a los seres vivos, y a ser posible, con un costo reducido.

Frente a los problemas existentes a fin de contribuir a la gestión adecuada de residuos se plantea una alternativa tecnológica, innovadora, económica y con una gran demanda, que es el diseño de un biodigestor alimentado con excretas de ganado vacuno, siendo viable desde el punto de vista técnico. Además, trae consigo beneficios como la generación de biofertilizantes de tipo líquido (biol) y sólido (biosol) producto de la degradación de materia orgánica (fermentación anaerobia); evitando así el uso exagerado de fertilizantes químicos, lo que contribuye a la conservación de los recursos naturales y la reducción de la contaminación del agua, suelo y aire.

El desarrollo de la investigación tiene por objeto concientizar y motivar a las personas de la hacienda El Rosal de la Parroquia Cubijes, a realizar un manejo adecuado de los desechos orgánicos, específicamente del estiércol de ganado vacuno, ya que se cuenta con una cantidad considerable, siendo importante conocer la aplicación de este tipo de proyectos para obtener biogás, dicha energía es alternativa y limpia que puede ser utilizada para abastecer de servicios de gas a familias que lo requieran.

Finalmente, el presente estudio pretende ser un aporte técnico para generar nuevos conocimientos y resultados que pueden servir como base para el mejoramiento de los sistemas de producción de biogás y para estudios posteriores que se relacionen con el tema de investigación.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

- Diseñar un biodigestor de domo flotante para la obtención de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno en la Parroquia Cubijies.

1.3.2 Específicos

- Determinar la cantidad de excretas generadas por el ganado vacuno.
- Caracterizar los excrementos mediante análisis físico-químico y microbiológico.
- Establecer las variables y parámetros de diseño del biodigestor en un reactor prototipo a nivel de laboratorio.
- Efectuar los cálculos de ingeniería para el diseño del biodigestor.
- Validar el diseño del biodigestor.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

En las últimas décadas se ha optado por la aplicación de proyectos para obtener biogás, a través del aprovechamiento de residuos orgánicos vegetales y animales provenientes de granjas rurales. Este es el caso de los biodigestores, que son sistemas diseñados para la obtención de una energía absolutamente renovable y limpia producto de una serie de reacciones anaeróbicas.

Luis Pasteur en 1887 concluyó que los trabajos realizados por Gayón, acerca de la fermentación de estiércol animal es una buena fuente de energía (Guevara, 1996, p.8), es así que nace la iniciativa de estudio sobre los biodigestores anaeróbicos en comunidades rurales aprovechando los residuos y contribuyendo a erradicar la contaminación ambiental.

En el año 1927, Inglaterra hizo uso del biogás, para el alumbrado público, favoreciendo a comunidades de más de 7000 habitantes, dicho gas fue recolectado en tanques flotantes de concreto armado (Guevara, 1996, p. 10).

Estudio sobre el potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino en el 2014, revelan que la gran cantidad de estiércol producido no tiene un tratamiento previo en su disposición final, implicando así una serie de infecciones perjudiciales para la salud de las personas, por lo que se ha optado por generar energía eléctrica a partir de biogás producto de la descomposición anaeróbico de los estiércoles, este energía es capaz de sustituir 4,23% aproximadamente de todo el consumo anual de la región Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo (Vera Romero et al., 2014, pp. 429-423).

Dentro de Ecuador (Wayllas, 2010, pp. 1-103), diseñó un Biorreactor Chino Anaeróbico a partir del estiércol vacuno con la finalidad de reducir los problemas de contaminación en la comunidad El Ovilo – Pallatanga y generar biogás para satisfacer la demanda de energía de la finca.

En el Centro de Faenamiento del Tena se implementó un biodigestor hindú a base de estiércol y rumen, el proyecto realizado por (Erreyes & Pérez, 2015, pp. 33-79), parte de un prototipo que sustente la

generación de biogás, luego la proyección a nivel industrial mediante el empleo de ecuaciones para obtener las medidas adecuadas.

En Yumagcay, Paute – Azuay (Durazno Coronel, 2018, pp. 3-86), se planteó el diseño de un biodigestor cilíndrico, cuya capacidad de carga era del 65%, además tomando en cuenta factores como: tiempo de retención, temperatura ambiente, pH, presión, entre otros, obteniendo una producción de gas de 48,8 litros además un bioabono aplicable para el suelo.

Es así que estudios realizados en América y Ecuador, sirven de base para la ejecución del diseño de un biodigestor de flujo semicontinuo, puesto a que se pretende concientizar y motivar a las personas de la parroquia Cubijies y hacienda El Rosal, a realizar un correcto seguimiento y manejo de los desechos orgánicos y por ende contribuir a la conservación de los recursos naturales y la reducción de la contaminación de agua, suelo y aire.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Estiércol

Abono orgánico de origen animal generado en ganaderías, está compuesto de excrementos y orina, además de restos de vegetales como paja (Manquítuls, 2017).

El estiércol de ganado bovino posee una gran cantidad de nutrientes, que permite la generación de biogás y de biofertilizantes de tipo líquido (biol) y sólido (biosol) apto para la aplicación en sembríos.

2.2.1.1 Beneficios del estiércol

- Generalmente lo emplean los agricultores porque produce múltiples beneficios en la tierra, a medida que el estiércol se descompone en el suelo lo enriquece, asegura y aumenta las cosechas (Cascon, 1948, p. 3).
- Al someterlo a un proceso de fermentación y transformación por al menos 6 meses se consigue un material final con innumerables ventajas tal es el caso de una energía renovable y limpia.
- El estiércol tras un proceso de compostaje elimina semillas de malas hierbas, virus, hongos, bacterias indeseables, mejorando de tal manera la estructura físico – química a partir de la transformación de los nutrientes por acción de los microorganismos (Manquítuls, 2017).

2.2.1.2 Desventajas del estiércol

Según (Morales):

- La excesiva acumulación de excrementos en las zonas rurales y la inadecuada disposición ocasiona impactos ambientales y la proliferación de enfermedades.
- El estiércol puede tener antibióticos y pesticidas que conducen a la bioacumulación por ende el suelo puede volverse infértil.
- No mezclar el estiércol con una gran cantidad de macronutrientes ocasiona un compost de mala calidad.

2.2.1.3 Producción y composición de estiércol

El estiércol se compone de una mezcla irregular de evacuaciones sólidas y líquidas del ganado junto con sus camas que sirven de alojamiento, generalmente son de paja.

Los principales componentes del estiércol son: Materia orgánica (MO), Potasio (K), Nitrógeno (N), Fósforo (P), Cobre (Cu) y otros (Iglesias Martínez, 1995, p. 3).

Tabla 1 – 2. Producción y composición de diferentes tipos de estiércol

Estiércol	Producción	Materia seca	Materia orgánica	N		P		K	
				g/kg	Kg	g/kg	kg	g/kg	kg
Purín de ganado vacuno	kg	g/kg	g/kg	g/kg	Kg	g/kg	kg	g/kg	kg
	20.200	95	68	4.4	89	0.9	18	4.2	8.5
Purín de cerdo	2	80	63	7	11.2	2.1	3.4	3.3	5.30
Purín de gallina	80	160	115	9	0.72	4.1	0.33	3.7	0.30
Gallinaza	40	322	230	12.5	0.50	8.2	0.33	7.5	0.30
Purín de terneros	2.200	20	15	3	6.6	0.60	1.3	2.0	4.4

Fuente: (Iglesias Martínez, 1995, p. 6)

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

La cantidad de estiércol producido depende del peso, edad y alimentación del animal, por ejemplo, una vaca adulta que pesa 550 Kg produce en su estiércol al año una cantidad de: 90 Kg de nitrógeno, 18 Kg de fósforo y 23 kilogramos de potasio (Iglesias Martínez, 1995, p. 7).

2.2.2 Biogás

Mezcla de gases cuyo principal componente es el CH₄ y el CO₂, producto de la fermentación de materia orgánica en ausencia de oxígeno y por acción de microorganismo (Biblioteca del Campo, 1998, pp. 240-247).

Existe una considerable cantidad de residuos orgánicos, que actúan como base para la obtención de bigas como, por ejemplo: estiércol de vacas, cerdos, ovejas, aves, residuos domésticos (comida, frutas, verduras, entre otros) residuos vegetales como pastos, hojas secas, pajas.

2.2.2.1 Composición

Producto de la digestión, el biogás es un combustible limpio y amigable con el medio ambiente, según (Hoffman et al., 2007, p. 41) contiene del 55 al 65% CH₄, del 30 al 40% CO₂, fracciones de vapor de agua, trazas de H₂S, H₂, S.

Tabla 2 – 2. Generación de biogás a partir de estiércol de ganada vacuno

1 Kg Estiércol Fresco	0,20 Kg Sólidos Totales
1 Kg Sólidos Totales	0,8 Kg Sólidos Volátiles
1 Kg Sólidos Totales	0,3 m ³ biogás (35 °C y Presión atmosférica)
1 Kg Sólidos Totales	0,25 m ³ biogás (30 °C y Presión atmosférica)
1 Kg Sólidos Totales	0,21 m ³ biogás (26 °C y Presión atmosférica)
1 Kg Sólidos Totales	0,2 m ³ biogás (25 °C y Presión atmosférica)
1 Kg Sólidos Totales	0,16 m ³ biogás (22 °C y Presión atmosférica)
1 Kg Sólidos Totales	0,10 m ³ biogás (18 °C y Presión atmosférica)
1 Kg Sólidos Totales	0,08 m ³ biogás (15 °C y Presión atmosférica)

Fuente: (Larry, 1979, p. 60)

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

Según (Cevallos y Ramos, 2009) en la **Tabla 3 - 2** muestra la producción de biogás que produce 1kg de estiércol bovino.

Tabla 3 – 2. Producción de biogás

TIEMPO DE ESTIÉRCOL	PRODUCCIÓN DE BIOGÁS
1 Kg de estiércol bovino	0,038 m ³ de biogás
1 Kg de estiércol de ave	0,043 m ³ de biogás
1 Kg de estiércol porcino	0,035 m ³ de biogás
1 Kg de desechos vegetales	0,040 m ³ de biogás

Fuente: (Cevallos y Ramos, 2009, pp. 48-80)

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

2.2.2.2 Digestión anaeróbica

Consiste en la oxidación biológica de la materia orgánica a través de microorganismos específicos en ausencia de oxígeno molecular. Este proceso ocasiona que la materia orgánica se transforme en productos estables e inertes (biofertilizante) y por otro lado en biogás (CH₄ y CO₂), ambos con un valor energético (García Amado, 2009, p. 2).

Microorganismos involucrados en la digestión anaerobia

Las especies de microorganismos que participan en el proceso varían de acuerdo a los materiales que serán degradados. Alcoholes, ácidos grasos y aromáticos pueden ser degradados por la respiración anaeróbica de los microorganismos.

Utilizan nutrientes como: el nitrato (*Paracoccus denitrificans*, *Pseudomonas stutzeri*), azufre (*Desulfuromonas acetoxidans*, *Pyrodictium occultum*), sulfato (*Desulfovibrio desulfuricans*, *Desulfonema limícola*), carbonato (*Clostridium aceticum*, *Methanobacterium thermoautotrophicum*), fumarato (*Echerichia coli*, *Wolinella succinogenes*) como aceptores de electrones, denominándose de tal manera reductores de nitrato, reductores de sulfato, entre otros.

En la primera y segunda fase de degradación, participan bacterias de al menos 128 órdenes de 58 especies y 18 géneros. Las especies principales son: *Clostridium*, *Ruminococcus*, *Eubacterium* y *Bacteroides*.

En la tercera y cuarta fase de la degradación se encuentran bacterias metanogénicas, en la actualidad en este grupo se encuentran 81 especies, de 23 géneros, 10 familias y 4 órdenes.

Tabla 4 – 2. Bacterias que participan en el proceso de fermentación durante las cuatro fases

TAXONOMÍA	ESPECIES	DESCRIPCIÓN	METABOLISMO
Género: Acetobacterium	<i>woodii</i> <i>paludosum</i>	El género Acetobacter está formado por bacilos Gram negativos, que realizan una oxidación incompleta de alcoholes generando como producto final ácidos orgánicos.	Reducen autotróficamente compuestos poliméricos, oligómeros, monómeros y CO, utilizando el hidrogeno como fuente de electrones
Género Eubacterium	<i>E. rectale</i> <i>E. siraeum</i> <i>E. plautii</i> <i>E. cylindroides</i> <i>E. brachy</i> <i>E. desmolans</i> <i>E. callandrei</i> <i>E. limosum</i>	El género Eubacterium, grupo de bacterias anaeróbicas Gram – positivas.	La mayoría de las Eubakteria sacarolíticas producen butirato como principal producto de su metabolismo.

Fuente: (FAO et al., 2011, p. 23)

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

2.2.2.3 Etapas de la digestión anaerobia

a. Hidrólisis

Etapa de conversión de los compuestos orgánicos complejos e insolubles (lípidos, proteínas y carbohidratos) a compuestos más sencillos y solubles en agua. Etapa fundamental porque suministra los compuestos orgánicos necesarios para la estabilización anaeróbica y sean utilizados por las bacterias, responsables de las dos etapas siguientes.

b. Acidogénesis

Los compuestos orgánicos obtenidos en la etapa anterior son empleados por las bacterias para generar ácidos orgánicos volátiles (acetato, propionato, butirato, entre otros), alcoholes y otros subproductos importantes para etapas posteriores.

c. Acetogénesis

Las bacterias acetogénesis junto con las *Archaeas* metanogénicas transforman los ácidos grasos de la etapa anterior en sustratos propios de la metanogénesis (acetato, dióxido de carbono e hidrógeno).

d. **Metanogénesis**

Los sustratos de la metanogénesis sirven para realizar combinaciones tal es el caso del dióxido de carbono con el hidrógeno para producir metano y agua. Esta fase se basa en eliminar la materia orgánica, no contribuye a la DBO ni a la DQO del medio (García Amado, 2009, p. 3).

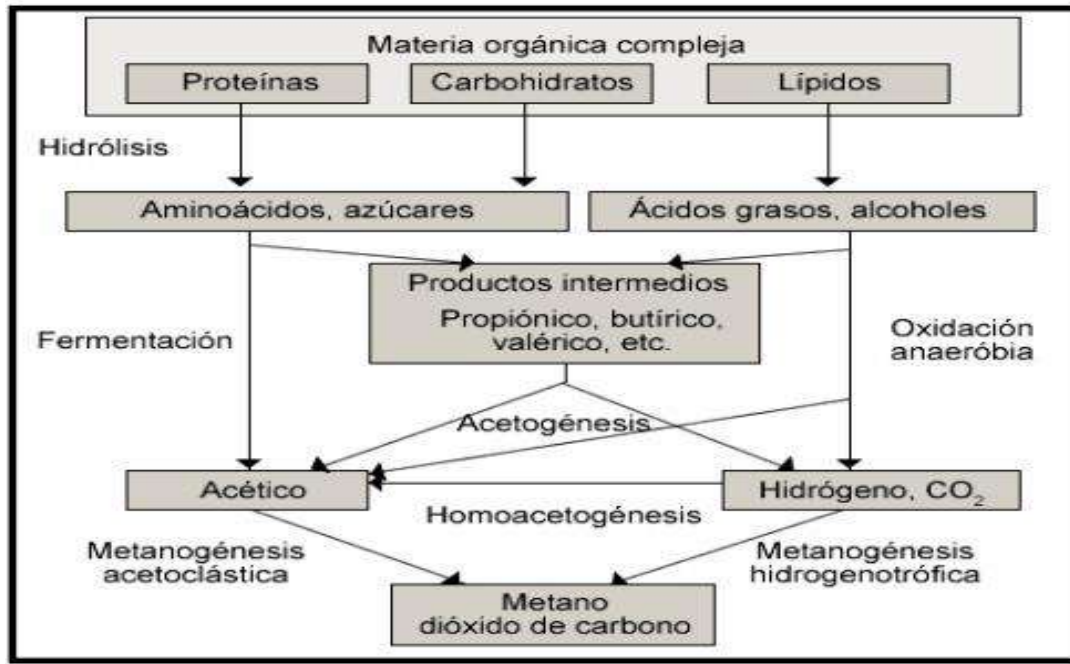


Figura 1 - 2. Etapas de la digestión anaerobia

Fuente: (García Amado, 2009, p. 2)

2.2.2.4 Factores que influyen en el proceso anaeróbico

La estabilidad a lo largo de la digestión anaeróbica está influenciada por factores bióticos y abióticos y para que se genere biogás depende de parámetros operativos como temperatura, pH, tiempo de retención, relación Carbono – Nitrógeno (C/N), tasa de carga orgánica, composición del sustrato, cantidad óptima de nutrientes esenciales, promotores e inhibidores de la fermentación.

a. **Sustrato para la fermentación**

Materia prima que contiene carbohidratos, proteínas y grasas, misma que será empleada para la degradación dando como producto final biogás (Laiq Ur Rehman et al., 2019, p. 1257).

b. **Temperatura**

Los procesos anaeróbicos están influenciados por la temperatura, por ende, la velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados. A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los

microorganismos y acelera el proceso de digestión, dando lugar a una mayor producción de biogás (FAO et al., 2011, p. 38).

Tabla 5 – 2. Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica

Microorganismos anaeróbicos	Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de fermentación
Psicrófilos	Psicrofílica	4 – 10 °C	15 – 18 °C	20 – 25 °C	Sobre 100 días
Mesófilos	Mesofílica	15 – 20 °C	25 – 35 °C	35 – 45 °C	30 – 60 días
Termófilos	Termofílica	25 – 45 °C	50 – 60 °C	75 – 80 °C	10 – 15 días

Fuente: (FAO et al., 2011, p. 39)

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

c. Valor de pH

El proceso anaeróbico es afectado por los cambios en los rangos de pH óptimo, en especial los microorganismos metanogénicos, ya que estos grupos bacterianos trabajan en torno a la neutralidad. El óptimo es entre 5.5 y 6.5 para acidogénicos, entre 6.5 y 7.5 para metanogénicos y para cultivos mixtos entre 6.8 y 7.8, siendo el pH neutro el ideal.

Para que se desarrollen de manera adecuada, el pH no debe bajar de 6.0 ni subir de 8.0, puesto a que el pH en el digestor no solo determina la producción de gas sino también su composición. La razón por cual se produce un descenso de pH a valores inferiores de 6 se debe a que el biogás generado es pobre en metano por ende las cualidades energéticas son menores (FAO et al., 2011, p. 42).

d. Tiempo de retención

Las bacterias requieren de un determinado tiempo para poder degradar la materia orgánica, todo está influenciado por la temperatura de la región en la cual se encuentre.

Tabla 6 – 2. Tiempo de retención de estiércol de ganado

Tiempo de retención	Características
30 - 40 días	Clima tropical con regiones planas.
40 – 60 días	Regiones cálidas con inviernos fríos cortos.
60 - 90 días	Clima temperado con inviernos fríos.

Fuente: (FAO et al., 2011)

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

2.2.3 Biodigestor

Tanque cerrado de cualquier tamaño, forma y material en donde se coloca una mezcla de agua junto con materia orgánica como estiércol de ganado vacuno, porcino, desechos de comida, etc., y al descomponerse en ausencia de aire produce biogás.

El diseño de un biodigestor está definido por variables como: condiciones ambientales del lugar donde será colocado, tiempo de retención, cantidad de materia disponible entre otras.

2.2.3.1 Tipos de biodigestores

Digestor de domo fijo o tipo chino

Biodigestor de forma cilíndrica, cuyo techo y piso es cónico (Silva, 1989, p. 25). Están bajo tierra lo cual favorece el proceso de fermentación y no influye los cambios de temperatura, la producción de gas es guardada bajo el domo (Chavarria, 2014, p. 24).

Para su construcción se necesitan materiales de alta calidad y de recursos humanos costosos. Más de cinco millones de biodigestores se han construido en China, funcionando de manera correcta sin embargo dicha tecnología no ha progresado en otros países (Pérez, 2010, p. 19).

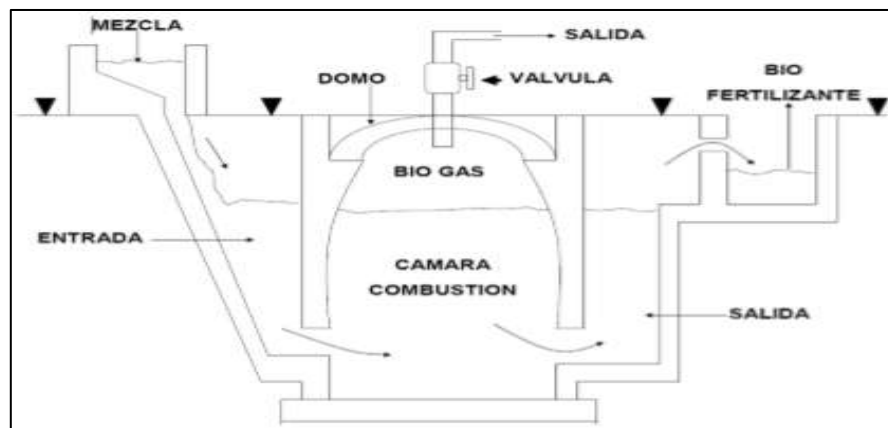


Figura 2 – 2. Esquema biodigestor de domo fijo

Fuente: (Pérez, 2010, p. 20)

Digestor de domo flotante o tipo hindú

Biodigestor con un tambor construido originalmente de acero, luego reemplazado por fibra de vidrio reforzado en plástico para evitar problemas de corrosión. Generalmente la pared y fondo son de ladrillo reforzado de hormigón. El gas producido es almacenado bajo una tapa flotante y su presión varía entre 4 a 8 cm de columna de agua. Dicho reactor es alimentado semi-continuamente mediante la tubería de entrada (Pérez, 2010, p. 19).

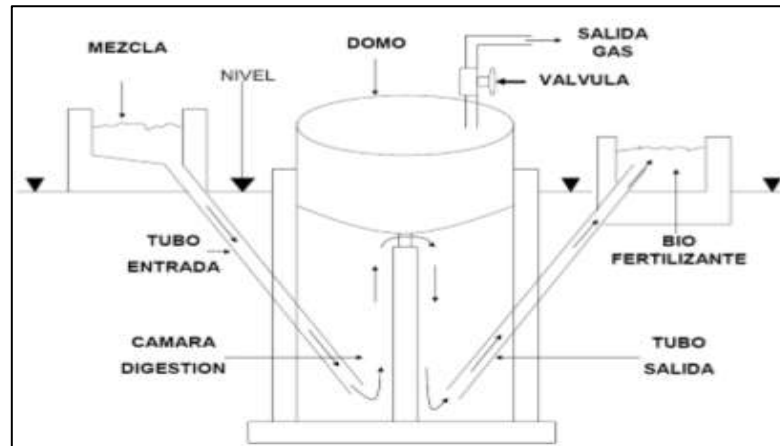


Figura 3 – 2. Esquema biodigestor de domo flotante

Fuente: (Pérez, 2010, p. 19)

Digestor de salchicha o tipo tubular

Posee una cámara de digestión alargada, donde la materia orgánica recorre a lo largo del biodigestor generando la degradación anaerobia, en los extremos se encuentra la cámara de carga y descarga del sistema (Toala, 2013, p. 22).

Estos modelos son de bajo costo e implementación fácil, aptos para familias de bajos recursos, aunque su vida útil no es larga (Toala, 2013, p. 22).



Figura 4 – 2. Biodigestor de tipo tubular

Fuente: (Toala, 2013, p. 23)

2.2.3.2 Componentes del biodigestor

Reactor

Tanque en donde se coloca una mezcla de materia orgánica con agua, en el cual después de varios días de fermentación sin presencia de oxígeno produce biogás y biol. La biodigestión disminuye el potencial contaminante de los excrementos de origen animal, humano, desechos de alimentos, así como también el pH, DBO o DQO.

Entrada de la mezcla

Dispositivo de forma cilíndrica o cuadrada de acuerdo al modelo elegido, por el cual pasará nuestro sustrato (materia orgánica con agua) que se será degradado.

Depósito de salida

Recipiente donde se recolecta el bioabono (biol) generado de manera espontánea.

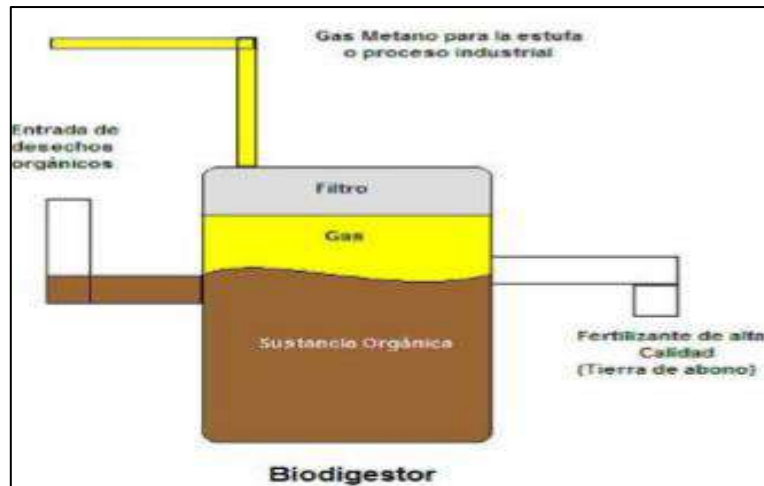


Figura 5 – 2. Componentes principales del biodigestor

Fuente: (Toala, 2013, p. 15)

La transformación de dicha materia orgánica produce biofertilizantes con un alto contenido de nutrientes, erradicando de tal manera los químicos puesto que contaminan el medio ambiente.

Tubería de gas

Camino por el cual se conduce el biogás a una cámara de almacenamiento o directamente a los diversos usos que se hayan implementado, dicha tubería debe soportar altas presiones y resistencia al desgaste.

Válvulas de seguridad

Accesorio de seguridad que regula la presión del gas, evitando fugas y accidentes, puesto a que los niveles de biogás pueden sobrepasar lo establecido en el diseño.

2.2.3.3 Ventajas del biodigestor

Según (Páez & Hidrobo, 2016, p. 14) los biodigestores tienen las siguientes ventajas:

- Producir gas natural que sustituya al gas licuado de petróleo (GLP)
- Optimizar los residuos orgánicos para procesos de degradación que no afecten al medio ambiente, dando como resultado una energía renovable.
- Disminuir la tala de bosques, puesto a que ya no es necesaria la leña para cocinar.
- Generar biofertilizantes ricos en nutrientes para de tal manera erradicar los fertilizantes químicos que contribuyen a la contaminación ambiental y daños a la salud humana.

2.2.4 Biol

Abono orgánico líquido producto de la descomposición anaeróbica o aeróbica de materia orgánica como estiércol de animales (ganado vacuno, porcino, gallinaza, cuy, entre otros), residuos de vegetales, cascara de frutas entre otros. Es considerado un biofertilizante ecológico y económico, debido a que posee una considerable cantidad de nutrientes (Sistema Biobolsa, 2011, p. 3).

2.2.4.1 Características del biol

Según (Sistema Biobolsa, 2011, pp. 3-4) las características que se pueden destacar son:

- Producto estable biológicamente que ayuda a las plantas a tener un mejor desarrollo y ende una mejor productividad a los cultivos.
- Posee una buena actividad biológica lo que genera un biol rico en humus y con una carga baja de patógenos.
- Provee al suelo materia orgánica, constituyendo a que se genere una reserva de nitrógeno.
- Capacidad de fertilización mayor que la del estiércol fresco y que el estiércol compostado.
- Aumenta la disponibilidad del agua y genera un microclima adecuado para las plantas.

CAPÍTULO III

3 ESTUDIO TÉCNICO

3.1 Localización del lugar

La Hacienda “El Rosal”, se encuentra ubicada en la Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Parroquia Cubijies, Km 15 vía Riobamba – Penipe, teniendo una extensión de 7,55 ha. Las condiciones geográficas están determinadas por la topografía del lugar, cuya temperatura promedio se encuentra en un rango de 20 – 25 °C, georreferenciando se encuentra en las coordenadas UTM Este: 772274.00 m E y Norte: 9822881.00 m S.



Figura 1 – 3. Hacienda “El Rosal”

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

3.2 Tipo de estudio

El presente estudio es de tipo técnico, pero se complementa de métodos (Exploratorio y Experimental) que parten desde la indagación de bases teóricas, ejecución de técnicas, control de parámetros y variables, que son necesarios para dar cumplimiento y factibilidad a los objetivos establecidos

3.2.1 Método Exploratorio

Se comenzó desde la búsqueda de información de conceptos básicos para una mejor noción del tema, investigaciones previas sobre obtención de biogás a partir de materia orgánica, que tan eficiente resultó los procesos aplicados, así como determinar los parámetros y variables dentro de un prototipo a nivel de laboratorio que influyen para dar como resultado un producto de calidad. El diseño involucra el tipo de biodigestor, operaciones y variables de control que intervienen durante todo el proceso.

3.2.2 Método Experimental

El establecimiento de un prototipo a nivel de laboratorio es importante, puesto a que contendrá una carga inicial de materia orgánica (estiércol) y agua, que después de días va generando una fermentación anaerobia en donde se controla parámetros y variables como temperatura, pH, tiempo de retención necesarios para la recolección de datos de volumen de biogás generado, todo esto interviniendo en los cálculos de ingeniería que servirán para llevar todo esto a escala industrial.

3.3 Determinación de la carga diaria de estiércol

3.3.1 Materiales

- Botas de caucho.
- Balde plástico de 10 litros.
- Pala.
- Guantes.
- Balanza romana.
- Libreta y lápiz.
- Equipo de protección personal (EPP).

3.3.2 Procedimiento

La hacienda El Rosal cuenta con 15 cabezas de ganado, para determinar la cantidad de estiércol que producen se trabajará únicamente con 4 vacas adultas, mismas que serán apartadas con la finalidad de recolectar de 6 pm. a 6 am. el estiércol, todo lo recolectado se apilonó en una esquina de las instalaciones, constituyendo como la muestra madre.

Para la cuantificación se realizó de la siguiente manera:

- a. Pesar el balde para calcular el peso exacto de la materia orgánica (estiércol).
- b. Con una pala colocar la materia orgánica en el balde solo hasta el filo sin sobrepasar puesto a que puede generar alteraciones en el peso.
- c. Pesar el balde más la materia orgánica con ayuda de la balanza romana y anotar.
- d. Realizar el mismo procedimiento por 7 días consecutivos hasta obtener un valor promedio por día y la cantidad de estiércol generada por cada vaca.
- e. El resultado anotar en el **ANEXO N**.



Fotografía 1 – 3. Cuantificación de la materia orgánica

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

3.4 Muestreo y caracterización del estiércol de ganado vacuno

El muestreo se realizó en la hacienda “El Rosal”, con una temperatura promedio de 20 a 25 °C para posteriormente ser llevados al laboratorio de Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos en Aguas y Alimentos (AQMIC) en la ciudad de Riobamba provincia de Chimborazo.

3.4.1 Materiales

- Botas de caucho.
- Balde plástico de 10 L.
- Pala.
- Guantes.
- Balanza de 20 Kg.
- Envase muestra de laboratorio de 100 ml.

3.4.2 Procedimiento

Los pasos para la recolección de la muestra cruda son:

- a. Tomar 5 Kg de cada vaca bajo las mismas condiciones.

- b. Colocar en el balde plástico y homogenizar bien, puesto a que constituye a ser la muestra madre.
- c. De la muestra madre tomar 100 g y colocar en el envase de muestra de laboratorio.
- d. Etiquetar el envase y llevar para los correspondientes análisis físico-químicos y microbiológicos en el laboratorio



Fotografía 2 – 3. Caracterización del estiércol crudo

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

Los parámetros analizados se muestran en la Tabla 1 - 3.

Tabla 1 – 3. Parámetros físico-químicos y microbiológicos

PARÁMETROS	MÉTODO
pH	4500-H-B Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2015)
Temperatura	2550-B Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2015)
Demanda Química de Oxígeno	5220-D Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2015)
Demanda Bioquímica de Oxígeno	5210-B Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2015)
Sulfuros	4500-S-E Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2015)
Ceniza	INEN 401 (2013)
Humedad	INEN 1235 (1987)
Materia Seca	INEN 1235 (1987)
Sustancias Volátiles	INEN 401 (2013)
Coliformes Totales	9222-B Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2015)
Escherichia Coli	9222-D Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2015)
Mohos y Levaduras	Siembra en masa

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

3.5 Prototipo a nivel de laboratorio

3.5.1 Construcción del prototipo

Materiales

- Bidón plástico de 60 L.
- Balde plástico de 10 L.
- Pala.
- Guantes.
- Balanza romana.
- Botas.
- Guantes.
- Unión de ½ PVC.
- Llave de paso FV ½.
- Teflón.
- Sella plus.
- Base de metal.
- Manguera de gas.
- Válvula de seguridad.
- Tubo de ½ in PVC.
- T de ½ in PVC.

Procedimiento

Los pasos para la construcción del prototipo son:

- a. Verificar si el bidón cuenta con dos oricios para mayor facilidad, puesto a que el uno servirá para la entrada del sustrato y el otro para la salida del biogás.
- b. Lavar el bidón de plástico y llenar de agua para comprobar que no exista fugas.
- c. Colocar en el orificio pequeño una unión, seguido a ello una T ½ in, asegurando que no exista fugas se empleó sella plus y teflón.
- d. Realizar dos conexiones la primera para la salida del biogás, empleando una válvula de seguridad, que conecte a la manguera de gas y la segunda conexión para el almacenamiento del gas, donde se colocó un pedazo de 10 cm de tubo PVC ½ in, seguido a ello una T ½ in que sirvió para implementar una funda plástica para almacenar el biogás.

- e. Realizar un oficio en la parte inferior del tanque para colocar una llave de paso misma que sirve para la salida de la materia degradada y del biofertilizante.



Fotografía 3 – 3. Elaboración del prototipo

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

3.5.2 Construcción del invernadero

Materiales

- Plástico de 10 m de largo por 5 m de ancho.
- Vigas de madera de 2 m de largo y espesor 0,07 m.
- Columnas de madera de 2m de largo y espesor 0,04 m.
- Grapas para plástico.
- Tiras de madera de 1,50 m de largo y espesor 0,01m.
- Clavos ½ in.

Procedimiento

La construcción del invernadero es necesario debido a que en la zona existen cambios climáticos bruscos, teniendo en cuenta que el biodigestor requiere conservar una temperatura entre 20 – 30 °C para que exista una mejor degradación de la materia orgánica (estiércol) y por ende una buena producción de biogás.

Los pasos para la construcción del invernadero son:

- a. Establecer la ubicación y dimensionamiento; la ubicación debe ser en un lugar donde llegue una alta cantidad de luz solar y este protegido del viento, el dimensionamiento se realizó a partir de las medidas antropométricas de una persona promedio en el país de tal forma que puede desplazarse siendo las medidas de construcción de 1,20 m de ancho, 1,80 m de alto y 1,70 m de profundidad.
- b. Utilizar una barrenadora de postes para hacer los huecos donde se introducirán las columnas de madera y realizar la estructura principal.
- c. Asegurar las tiras de madera en la parte superior e inferior dando la forma de una caseta.
- d. Forrar la caseta con plástico utilizando grapas de sujeción y dejando una puerta de ingreso.
- e. Colocar señaléticas para cada material del proyecto, así como cuadros del proceso a realizar con dicha materia prima.



Fotografía 4 – 3. Construcción del invernadero

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

3.5.3 Preparación del sustrato

Materiales

- Biodigestor.
- Estiércol de ganado vacuno.
- Agua.
- Tiras de pH.
- Termómetro.
- Agitador.
- Balanza romana.
- Balde de 24 L.
- Jarra de 1 L.

- Embudo plástico.
- Guantes.
- EPP

Procedimiento

Los pasos para la preparación del sustrato son:

- Una vez recolectado el estiércol de ganado en una esquina, colocar en un balde de 24 L, 12 Kg de estiércol y 12 Kg de agua.
- Homogenizar con la ayuda de un agitador (cuchara de palo) con la finalidad de conseguir una relación 1:1 (1 Kg de estiércol por 1 L de H₂O).
- Medir el pH del sustrato con las tiras de pH y relacionar con las tablas de colores.
- Colocar el sustrato en el biodigestor con la ayuda de un embudo plástico. Dicho embudo fue hecho de una botella plástica de 15 litros con la finalidad de promover el reciclaje y la reutilización

Tabla 2 – 3. Insumos para el sustrato del prototipo

INSUMO	CANTIDAD
Estiércol de ganado vacuno	12 Kg
H ₂ O	12 L

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021



Fotografía 5 – 3. Sustrato para el biodigestor

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

Para el caso de nuestro prototipo se hicieron algunas cargas de sustrato como se muestra en la tabla:

Tabla 3 – 3. Cargas de sustrato al biodigestor

NÚMERO DE CARGA	Kg DE ESTIÉRCOL	Kg DE AGUA
1	12	12
2	6	6
3	6	6

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

3.5.4 Variables y parámetros de control

3.5.4.1 Medición de temperatura

Materiales

- Biodigestor.
- Termómetro industrial.
- Cuaderno de apuntes.
- EPP

Procedimiento

Para la determinación de la temperatura se empezó por:

- Mediante el termómetro industrial, realizar la medición directa de la temperatura ambiente y la del biodigestor.
- Monitorear la temperatura tres veces al día (Mañana, Tarde y Noche)
- Anotar en la hoja de registro expuesta en el **Anexo O**.



Fotografía 6 – 3. Control de temperatura

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

3.5.4.2 Medición de pH

Materiales

- Biodigestor.
- Tiras de pH.
- Cuaderno de apuntes.
- EPP
- pH-metro

Procedimiento

Los pasos para la medición del pH son:

- a. Abrir la válvula de la parte inferior y tomar una pequeña cantidad de muestra.
- b. Colocar la muestra en un vaso plástico y en un envase de 100 ml para tomar el pH en el laboratorio.
- c. Introducir una tira de pH en el vaso por 5 minutos.
- d. Sacar la tira de pH y comprobar con las tablas de colores.
- e. Realizar este mismo procedimiento una vez al día y anotar los datos en el **Anexo M**.



Fotografía 7 – 3. Control del pH

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

3.5.4.3 Volumen del biogás

Materiales

- Biodigestor.
- Guantes.
- Probeta de 250 ml.

- Recipiente plástico tipo bandeja.
- Funda plástica capacidad (5 L)
- Cuaderno de apuntes.

Procedimiento

Los pasos para la determinación del volumen del biogás son:

- a. Conectar la manguera por donde sale el biogás a una probeta de 250 ml.
- b. Determinar el desplazamiento del agua.
- c. Medir el volumen del biogás y a través de la funda plástica.
- d. Anotar el volumen del biogás cada día, tomando en cuenta que los datos se toman desde la segunda semana de producción.

3.5.4.4 Prueba de flama del biogás

Materiales

- Prototipo.
- Funda plástica.
- Fosforera.

Procedimiento

Para la prueba de inflamación se debe:

- a. Verificar que todo el biogás se esté acumulando en la funda.
- b. Una vez contenido el biogás en la funda, abrir la llave de seguridad.
- c. Encender la manguera por donde sale el biogás con la ayuda de una fosforera.
- d. Observar la calidad de la flama.



Fotografía 8 – 3. Prueba de flama

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

3.6 Muestreo y caracterización del estiércol degradado y biol

El muestreo se realizó a la muestra degradada (biosol) y al biol con una temperatura promedio de 22 °C para posteriormente ser llevados al laboratorio de Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos en Aguas y Alimentos (AQMIC) en la ciudad de Riobamba provincia de Chimborazo.

3.6.1 Materiales

- Botas de caucho.
- Balde plástico de 24 L.
- Botella plástica de 6 L.
- Guantes.
- Balanza de 20 Kg.
- Envase muestra de laboratorio de 100 ml.

3.6.2 Procedimiento

La recolección de la muestra de estiércol degradado y biol comenzó por:

- a. Después de 30 días de digestión anaeróbica, abrir la llave de descarga que se encuentra en la parte inferior.
- b. Almacenar la muestra líquida (biol) en el balde de 24 L y la muestra sólida (biosol) en la botella de 6 L.
- c. Tomar 500 ml de biol y 100 g de biosol y colocar en los respectivos envases para muestra.
- d. Etiquetar el envase y llevar para los correspondientes análisis físico-químicos y microbiológicos en el laboratorio.



Fotografía 9 – 3. Caracterización de la muestra degradado y biol

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

Los parámetros analizados en la muestra degradada (biosol) son los mismo que se muestran en la **Tabla 1 – 3**.

Los parámetros analizados en la muestra de biol se muestra en la **Tabla 4 – 3**.

Tabla 4 – 3. Parámetros físico-químicos del biol

PARÁMETROS	MÉTODO
pH	4500-H-B Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2015)
% N	2550-B Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2015)
% P	5220-D Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2015)
% K	5210-B Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2015)
Relación C-N	-

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

3.7 Propuesta de diseño

El diseño del biodigestor está influenciado por ciertas características del lugar de estudio entre ellas se encuentra el clima, cantidad de materia y demás.

3.7.1 Elección del tipo de biodigestor

Para la elección del tipo de biodigestor se debe:

- Identificar el problema que genera las excretas y visitar las instalaciones.
- Cuantificar y caracterizar la materia orgánica (estiércol)
- Análisis de la vida útil de acuerdo a las condiciones climáticas.
- Determinar el lugar en donde se implementará el biodigestor.
- Estimar el costo del proyecto, factibilidad de los materiales, control de operación y rendimiento.

Tabla 5 – 3. Matriz de elección del biodigestor

ASPECTO EVALUADO	TIPO DE BIODIGESTORES					
	DOMO FIJO		DOMO FLOTANTE		TUBULAR	
	CALIFICACIÓN					
	BUENA	MALA	BUENA	MALA	BUENA	MALA
Vida útil	X		X			X
Resistencia a la corrosión	X		X			X
Operación del sistema		X	X			X
Costo de implementación		X		X	X	
Tipo de materia prima	X		X		X	

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

Los aspectos evaluados son importantes al momento de implementar un biodigestor; el estudio enmarca que, de los tres, el biodigestor de domo flotante tiene más aspectos positivos, por ende, son los más empleados, tiene una vida útil mayor a 20 años, resisten a la corrosión puesto a que antes la campana era de acero ahora se ha sustituido por fibra de vidrio reforzado en plástico o aluminio reforzado con plástico, la operación del sistema es buena porque la campana al ser móvil tiende a generar una alta presión, genera una productividad volumétrica superior a la de los otros biodigestores, esto se debe a la forma uniforme en que fluye la materia orgánica, los costos de implementación varían de acuerdo al escenario y disponibilidad de recursos; la materia primera para digestión proviene de excrementos de animales y humanos con alimentación de sustrato continuo.

3.7.2 *Diseño del biodigestor*

Para diseñar el biodigestor se debe considerar los resultados obtenidos a nivel del prototipo es decir cuánto volumen de biogás genera la materia orgánica (estiércol) ingresada, para posteriormente utilizar ecuaciones y como base de cálculos las diferentes tesis con la finalidad de obtener las características idóneas del biodigestor de domo flotante.

Para el diseño del biodigestor se considera los siguientes parámetros:

- Carga diaria
- Tiempo de retención hidráulica
- Volumen total del biodigestor
- Producción de gas
- Cámara de digestión
- Cámara de alimentación y descarga
- Tubería de entrada y salida
- Campana

3.8 Cálculos de Ingeniería

3.8.1 *Dimensionamiento del biodigestor de domo flotante*

3.8.1.1 *Cálculo de la Cantidad de estiércol diario*

Según (Hidalgo y Lara, 2012, pp. 93-94) la ecuación empleada para conocer la cantidad de estiércol que produce una vaca es:

Ecuación 1

$$CE = \frac{\text{Estiércol promedio diario Kg}}{N^{\circ} \text{ de vacas}}$$

Donde:**CE:** Cantidad de estiércol**3.8.1.2 Tiempo de retención hidráulica**

La ecuación tomada de (Erreyes y Pérez, 2015, p.58):

Ecuación 2

$$TRH = (-52,227 * Ln(T^{\circ}C) + 206,72)$$

Donde:**TRH:** Tiempo de retención hidráulica**T:** Temperatura (°C)**3.8.1.3 Producción de biogás**

La ecuación establecida por (García y León, 2015, p. 34):

Ecuación 3

$$\frac{\text{Kg estiércol}}{\text{día}} * \frac{\text{Kg ST}}{1 \text{ Kg estiércol}} * \frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{1 \text{ Kg ST}} = \text{m}^3 \text{ biogás/día}$$

Donde:**ST:** Sólidos Totales**3.8.1.4 Cálculo de la cámara de digestión****3.8.1.4.1 Cantidad de mezcla diaria****Ecuación 4**

$$CD = CE((kg) + H_2O(kg))$$

Donde:**CE:** Cantidad de estiércol**CD:** Carga diaria**3.8.1.4.2 Tanque del biodigestor**

La ecuación establecida por (García y León, 2015, p.35):

Ecuación 5

$$V = CD * TRH$$

Donde:

V: Volumen del biodigestor

CD: Carga diaria

TRH: Tiempo de retención hidráulica

3.8.1.4.3 Volumen total del biodigestor

El 75 % del biodigestor corresponde al sustrato y el 25 % corresponde a la parte del gas, siendo importante según (García y León, 2015, p. 65) la siguiente ecuación:

Ecuación 6

$$V_T = V + V * \frac{25}{100}$$

Donde:

V: Volumen del tanque del biodigestor

V_T: Volumen total del biodigestor

3.8.1.4.4 Diámetro del biodigestor

La ecuaciones establecidas por (Cevallos y Ramos, 2009, pp. 132-138) :

Ecuación 7

$$\emptyset = h$$

Se emplea la ecuación:

Ecuación 8

$$V = \left(\frac{\pi \emptyset^2}{4} \right) * h$$

Donde:

V = Volumen del biodigestor

∅ = Diámetro del biodigestor

h = Altura del biodigestor

Despejo el diámetro:

Reemplazo la ecuación 7 en la ecuación 8 y despejo el diámetro

Ecuación 9

$$\emptyset = \sqrt[3]{\frac{4V}{\pi}}$$

A partir de la Ecuación 7 despejo h

Ecuación 10

$$h = \left(\frac{4V}{\pi \phi^2} \right)$$

3.8.1.5 *Cálculo de la altura de la pared divisoria del biodigestor*

Ecuación 11

$$h_{pd} = h - h_m - h_g$$

Donde:

h: Altura del biodigestor

h_m: Altura de la materia orgánica

h_g: Altura del gas

3.8.1.6 *Cálculo de la cámara de alimentación y descarga*

Ecuación 12

$$L_{cad} = \sqrt[3]{CD}$$

Donde:

L_{cad}: Longitud de la cámara de alimentación y descarga

CD: Carga diaria

3.8.1.6.1 *Cálculo del volumen de la cámara de alimentación y descarga*

Ecuación 13

$$V_{cad} = L_{cad} * L_{cad} * L_{cad}$$

Donde:

V_{cad}: Volumen de la cámara de alimentación y descarga

L_{cad}: Longitud de la cámara de alimentación y descarga

3.8.1.7 *Cálculo de la tubería de entrada y salida del biodigestor*

La ecuación establecida por (Verdezoto Carvajal, 2014, pp.95-96):

Ecuación 14

$$ST = \frac{Kg \text{ de estiércol al mes} * 20\%}{100\%}$$

Donde:

ST: Sólidos totales

Ecuación 15

$$ht = \frac{V_{ST} * 4}{\pi * \phi^2}$$

Donde:

V_{ST} : Volumen de los Sólidos Totales

\emptyset : Diámetro del biodigestor

h_t : Altura de la tubería

h_{Tt} : Atura total de la tubería

Ecuación 16

$$h_{Tt} = h_t * meses$$

3.8.1.8 Dimensionamiento de la campana

En este dimensionamiento se empleó las ecuaciones de (García y León, 2015, pp. 37-39).

3.8.1.8.1 Diámetro de la campana

Ecuación 17

$$\emptyset_c = \emptyset - 0,1 m$$

Donde:

\emptyset_c : Diámetro de la campana

\emptyset : Diámetro del biodigestor

3.8.1.8.2 Altura de la campana

En el cálculo, se considera que el diámetro de la campana es igual a la altura.

Ecuación 18

$$\emptyset_c = h_c$$

Donde:

\emptyset_c : Diámetro de la campana

h_c : Altura de la campana

3.8.1.8.3 Volumen de la campana

Ecuación 19

$$V_c = \frac{\pi(\emptyset_c)^2}{4} * h_c$$

Donde:

V_c : Volumen de la campana

\emptyset_c : Diámetro de la campana

h_C : Altura de la campana

3.8.1.8.4 Altura de la cúpula

Es necesario partir de diámetro de la campana.

Ecuación 20

$$h_{Cu} = \frac{1}{5} * \varnothing_C$$

Donde:

h_{Cu} : Altura de la cúpula

\varnothing_C : Diámetro de la campana

3.8.1.8.5 Altura total de la campana

Ecuación 21

$$h_{TC} = h_C + h_{Cu}$$

Donde:

h_{TC} : Altura total de la campana

h_C : Altura de la campana

h_{Cu} : Altura de la cúpula

3.8.1.8.6 Radio de la curvatura de la cúpula

Ecuación 22

$$r_{cur} = \frac{(r_C)^2 + (h_{Cu})^2}{2 * h_{Cu}}$$

Donde:

r_{cur} : Radio de la curvatura de la cúpula

r_C : Radio de la campana

h_{Cu} : Altura de la cúpula

3.8.1.8.7 Volumen de la cúpula

Ecuación 23

$$V_{Cu} = \pi * (h_{Cu})^2 * (r_{cur} - \frac{h_{Cu}}{a})$$

Donde:

V_{cur} : Volumen de la cúpula

r_C : Radio de la campana

h_{Cu} : Altura de la cúpula

Reemplazando los datos

3.8.1.8.8 Volumen total de la campana

Ecuación 24

$$V_{TC} = V_C + V_{Cu}$$

Donde:

V_{TC}: Volumen total de la campana

V_C: Volumen de la campana

V_{Cu}: Volumen de la cúpula

3.9 Elaboración de planos del biodigestor

Una vez obtenidos los cálculos pertinentes para el dimensionamiento del biodigestor se elaboran los planos de cada una de las vistas:

- Vista frontal
- Vista superior

Los planos de cada vista del biodigestor se elaboran en AUTOCAD, contiene información necesaria para la construcción como:

- Medidas de la altura, radio, diámetro, curvatura entre otros.
- Nombre de las estructuras.
- Simbología de líneas de cada elemento para evitar equivocaciones.

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultado de la cuantificación de materia orgánica

Tabla 1 – 4. Cuantificación del estiércol diario

Día	Fecha	Numero de vacas	Peso total (Kg)	Promedio	Peso por vaca (Kg)
1	07/12/2020	4	30,5	30,2	7,51
2	08/12/2020	4	30,4		
3	09/12/2020	4	30,1		
4	10/12/2020	4	30,4		
5	11/12/2020	4	30,2		
6	12/12/2020	4	30,1		
7	13/12/2020	4	30,3		

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

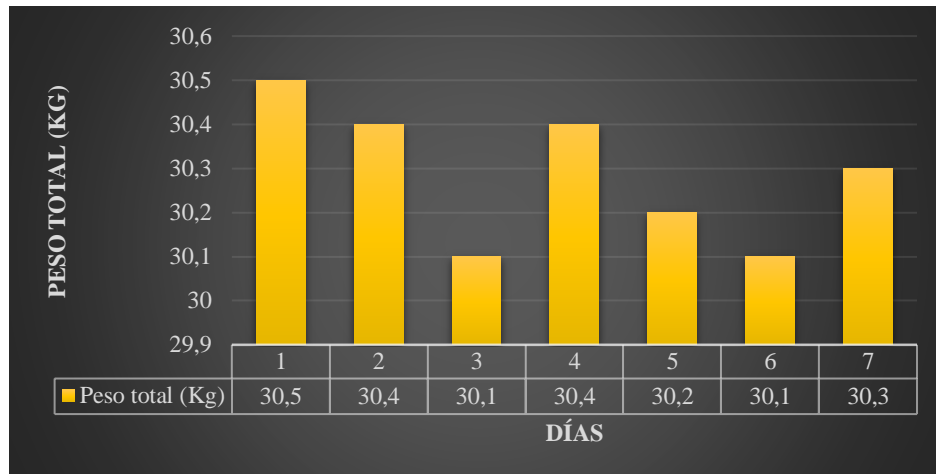


Gráfico 1 - 4. Cuantificación diaria de la materia orgánica

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

La cuantificación de las 4 vacas adultas se realizó por 7 días consecutivos, con un aprovechamiento del 50%, debido a que permanecen en el establo, dando un promedio de 30,2 Kg y la cantidad de estiércol que produce cada vaca dio un valor de 7,5 Kg.

4.2 Resultados de la caracterización de estiércol de ganado vacuno (muestra cruda, degradada y biol)

4.2.1 Análisis físico-químico y microbiológico

Tabla 2 – 4. Resultado del análisis físico-químico y microbiológico

Estiércol de ganado vacuno				
Parámetros	Unidad	Método de análisis	Muestra cruda	Muestra digerida
pH	-	4500-H-B	7,54	6,44
Temperatura	° C	2550-B	20,1	22,5
Demanda Química de Oxígeno	g/L	5220-D	545	220
Demanda Bioquímica de Oxígeno	g/L	5210-B	390	200
Sulfuros	mg/L	4500-S-E	112	14
Ceniza	%	INEN 401	1,36	2,38
Humedad	%	INEN 1235	72,86	91,56
Materia Seca	%	INEN 1235	27,14	8,24
Sólidos totales	%	2540-B	19,92	18,11
Sustancias Volátiles	%	INEN 401	81,48	84,7
Coliformes Totales	UFC/g	9222-B	6 x 10 ⁶	2,4 x 10 ⁵
Escherichia Coli	UFC/g	9222-D	2 x 10 ⁶	2,4 x 10 ⁴
Mohos y Levaduras	UFC/g	Siembra en masa	1,2 x 10 ³	<1000
Biol				
pH	-	4500-H-B	7,54	7,2
Nitrógeno	%	4500-Norg-C	0,96	1,13
Fósforo	%	4500-P-C	0,22	0,34
Relación C/N	-	-	20:1	10:1

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

4.2.1.1 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Tabla 3 – 4. Resultados de la DQO

Muestra	Resultado	Método	Unidad
Estiércol crudo	545	5220-D	g/L
Estiércol digerido	220		

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021



Gráfico 2 - 4. Comparación de DQO

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

Los resultados de la DQO obtenidos en la muestra de estiércol crudo es 545 g/L y de estiércol digerido 220 g/L, se puede notar que el estiércol crudo presenta una gran cantidad de fracción biodegradable y no biodegradable.

Las bacterias durante el proceso de fermentación anaerobia han consumido un 60 % de la materia orgánica contenida en el estiércol y se evidencia a través de la generación de biogás. (Sánchez et al., 2016, p.195) establece que la disminución de la DQO se debe a la solubilización e hidrólisis progresiva de la materia orgánica debido a las enzimas generadas por los microorganismos hidrolíticos y en la etapa metanogénica existe una mayor disminución debido a la transformación de dicha materia en volúmenes de biogás.

4.2.1.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Tabla 4 – 4. Resultados de la DBO

Muestra	Resultado	Método	Unidad
Estiércol crudo	390	5210-B	g/L
Estiércol digerido	200		

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

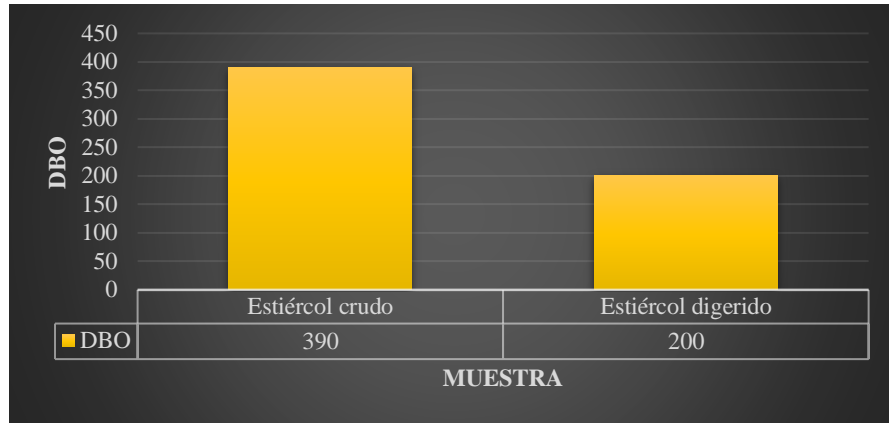


Gráfico 3 - 4. Comparación de DBO

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

Los resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno del estiércol crudo fue 390 g/L y del estiércol digerido 200 g/L. Dicho parámetro indica que existe un 49% de degradabilidad de la materia orgánica, esto se debe a que los microorganismos consumen oxígeno para oxidarla, mientras mayor cantidad de materia orgánica posea la muestra, mayor oxígeno necesitan a más de ser influenciado por la temperatura y el pH.

4.2.1.3 Sulfuros

Tabla 5 – 4. Resultados de Sulfuros

Muestra	Resultado	Método	Unidad
Estiércol crudo	112	4500-S-E	mg/L
Estiércol digerido	14		

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

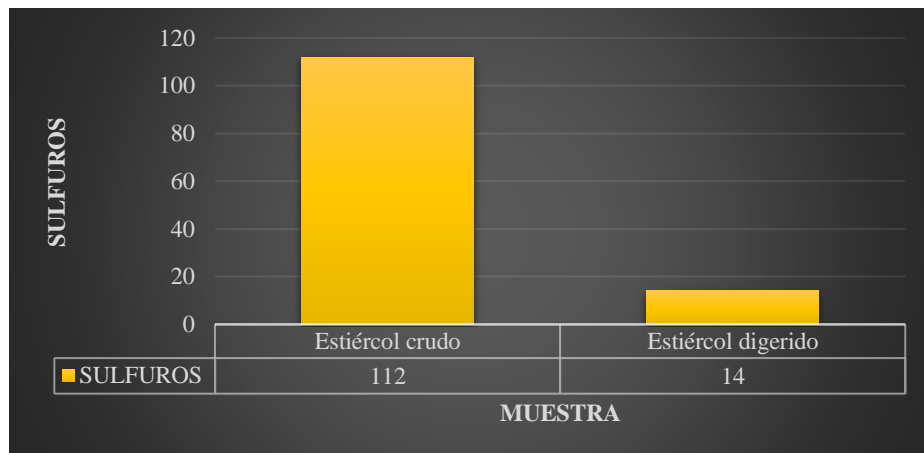


Gráfico 4 - 4. Comparación de Sulfuros

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

La muestra de estiércol crudo tiene 112 mg/L y el estiércol digerido 14 mg/L de sulfuros. Según (Lorenzo Acosta y Obaya Abreu, 2005, pp. 37-38) al existir una cantidad considerable de sulfuros en el biodigestor se desarrollan con intensidad las bacterias que forman el sulfuro de hidrógeno (H₂S) o gas sulfúrico, estas son las denominadas sulfobacterias, mismas que juegan un papel importante en el proceso, puesto a que si la concentración de sulfuros solubles exceden los 160 mg/L, las bacterias metanogénas se inhiben durante el crecimiento bacteriano. A más la presencia de este compuesto puede causar problemas como corrosiones y son tóxicos (Verdezoto Carvajal, 2014, p.74).

Se puede mencionar que, de acuerdo a los resultados del laboratorio, un 88% de este compuesto se ha eliminado a través de la salida del biogás y el 12 % se encuentra de forma soluble en el estiércol.

4.2.1.4 Cenizas

Tabla 6 – 4. Resultados de Cenizas

Muestra	Resultado	Método	Unidad
Estiércol crudo	2,38	INEN 401	%
Estiércol digerido	1,36		

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

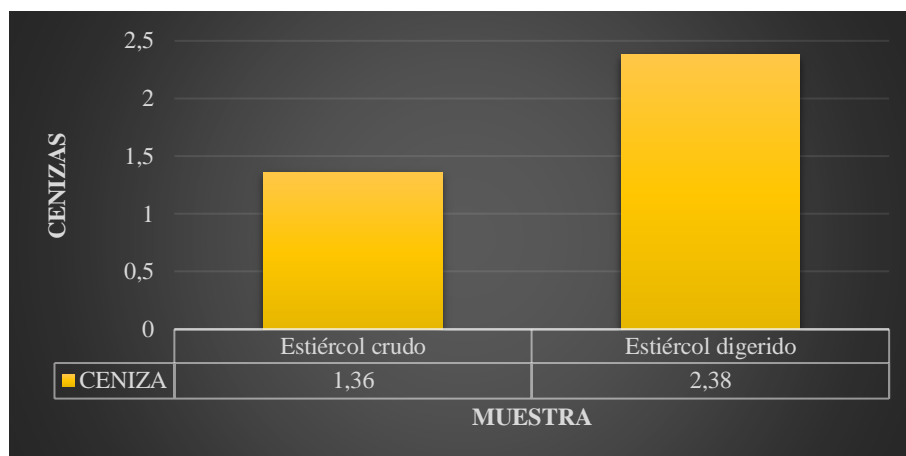


Gráfico 5 - 4. Comparación de Cenizas

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

El porcentaje de ceniza presente en el estiércol crudo es 1,36 % y en el estiércol digerido 2,38 %. Se puede denotar que el porcentaje de ceniza con el que ingresó a nuestro biodigestor y en la fase de degradación no es el mismo, existe un 75% de aumento.

Según (Verdezoto Carvajal, 2014, p. 70) es importante que se está generando cenizas porque estas se pueden aun seguir utilizando en el proceso, dicho parámetro indica la materia sólida que no se combustiona por cada Kg de materia degradable.

4.2.1.5 Humedad

Tabla 7 – 4. Resultados de Humedad

Muestra	Resultado	Método	Unidad
Estiércol crudo	72,86	INEN 1235	%
Estiércol digerido	91,56		

Realizado por: Negrete Josselyn, 2021

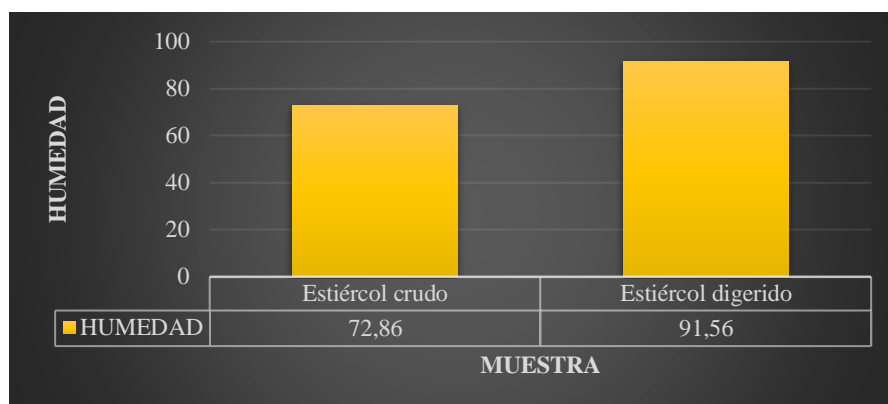


Gráfico 6 - 4. Comparación de Humedad

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

El porcentaje de humedad representa la cantidad de agua contenida por cada Kg de materia seca, la muestra de estiércol crudo presentó un porcentaje de humedad de 72,86 % y el estiércol digerido 91,56 %. El aumento o disminución de humedad en el sustrato limita o incrementa el crecimiento bacteriano y se ve influenciado por la producción de biogás.

4.2.1.6 Materia seca

Tabla 8 – 4. Resultados de Materia seca

Muestra	Resultado	Método	Unidad
Estiércol crudo	27,14	INEN 1235	%
Estiércol digerido	8,24		

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

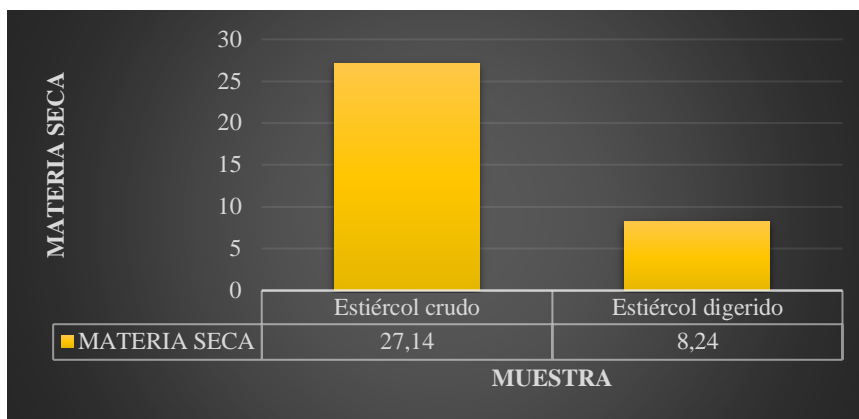


Gráfico 7 - 4. Comparación de Muestra seca

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

El porcentaje de materia seca presente en el estiércol crudo es 27,14% y en el estiércol digerido 8,24%, denotando que existe una disminución de un 70%, esto se debe a que durante el proceso de fermentación las bacterias necesitan del consumo de alimento para que se reproduzcan de mejor manera y generen más energía (gas).

4.2.1.7 Sólidos Totales

Tabla 9 – 4. Resultados de los Sólidos Totales

Muestra	Resultado	Método	Unidad
Estiércol crudo	19,92	INEN 1235	%
Estiércol digerido	18,11		

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

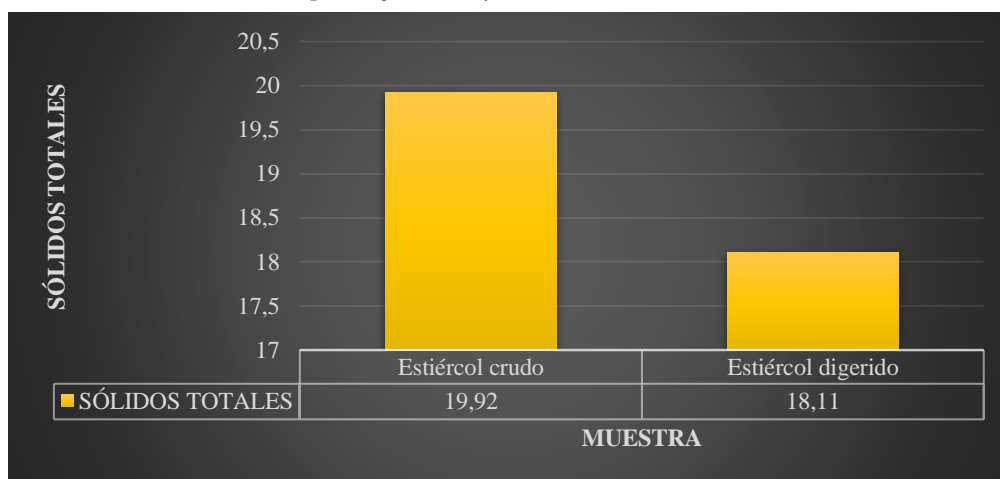


Gráfico 8 - 4. Comparación de los Sólidos Totales

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

El estiércol crudo tiene un porcentaje de sólidos totales de 19,92 %, el estiércol digerido 18,11 %, dicho parámetro determina la buena producción de biogás, a mayor cantidad de sólidos totales mayor crecimiento de microorganismo por ende se genera bastante biogás. Según (Larry, 1979, p. 66) los sólidos totales deben estar en un rango de 16% a 20% para un excelente desarrollo biológico y físico. El porcentaje de sólidos totales según lo establecido por la (FAO et al., 2011, pp. 36 - 37) es un factor importante para que el proceso se dé satisfactoriamente, la movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato es limitada en caso que exista un aumento de los sólidos totales y esto afecta la producción de biogás.

4.2.1.8 Sustancias Volátiles

Tabla 10 – 4. Resultados de Sustancias Volátiles

Muestra	Resultado	Método	Unidad
Estiércol crudo	81,48	INEN 401	%
Estiércol digerido	84,7		

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

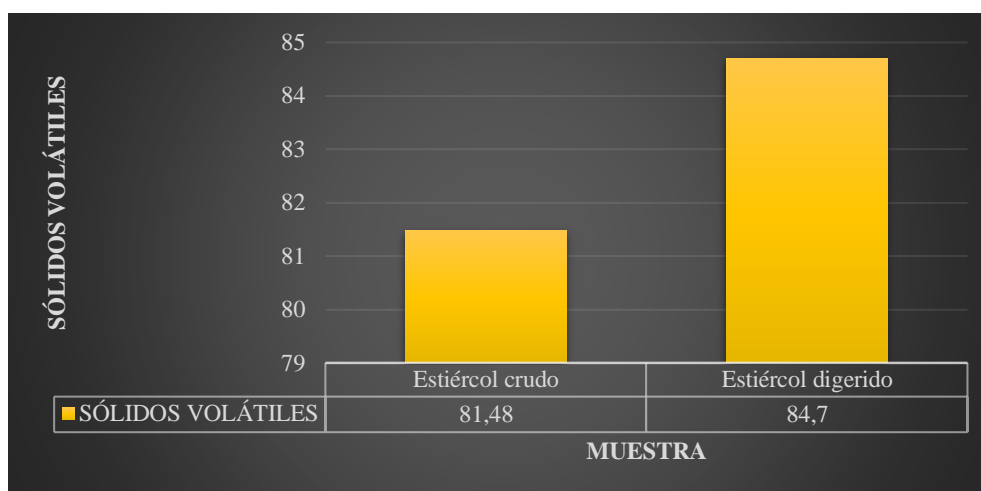


Gráfico 9 - 4. Comparación de Sustancias Volátiles

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

Mide el contenido combinado entre sustancias inorgánicas y orgánicas inmersas en un líquido de forma molecular. El porcentaje de sólidos volátiles presente en la muestra estiércol crudo es 81,48% y en estiércol digerido 84,7%, según (Verdezoto Carvajal, 2014, p. 68) para que exista una remoción de sólidos volátiles debe encontrarse en un rango de 60 a 85%.

4.2.1.9 Coliformes Totales

Tabla 11 – 4. Resultados de Coliformes Totales

Muestra	Resultado	Método	Unidad
Estiércol crudo	6×10^6	9222-B	UFC/g
Estiércol digerido	$2,4 \times 10^5$		

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

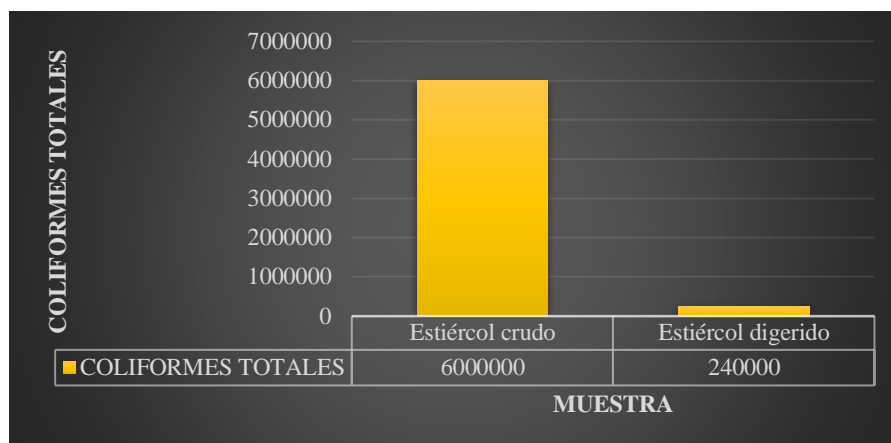


Gráfico 10 - 4. Comparación de Coliformes Totales

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

Este parámetro microbiológico permite determinar la carga bacteriana disponible para la etapa de digestión. El resultado de Coliformes Totales en la muestra de estiércol crudo es 6×10^6 UFC/g y en la muestra de estiércol digerido $2,4 \times 10^5$ UFC/g, además se puede observar en el **Gráfico 10 – 4** que existe una disminución del 96% de microorganismos eso se debe a que pasan por diferentes fases como: fase de adaptación, fase exponencial, fase estacionaria y finalmente existe una muerte celular.

4.2.1.10 Escherichia Coli

Tabla 12 – 4. Resultados de Escherichia Coli

Muestra	Resultado	Método	Unidad
Estiércol crudo	2×10^6	9222-D	UFC/g
Estiércol digerido	2×10^4		

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

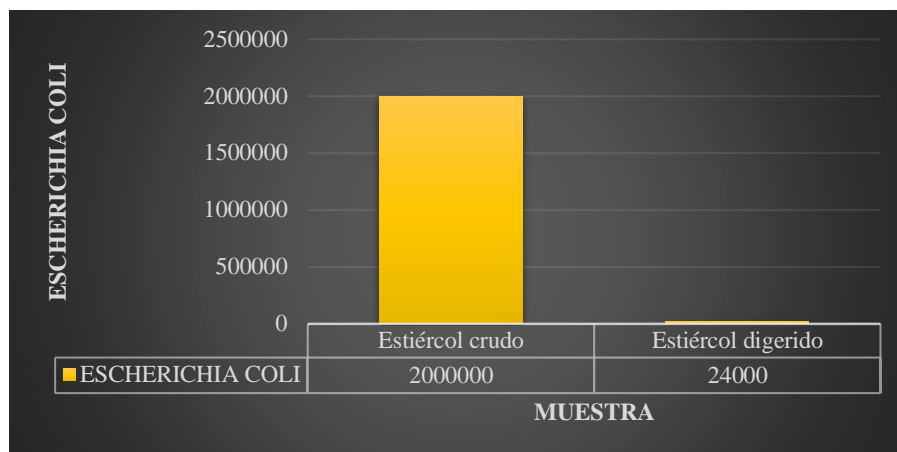


Gráfico 11 - 4. Comparación de la Escherichia Coli

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

La cantidad de Escherichia Coli presente en la muestra de estiércol crudo es 2×10^6 UFC/g y en la muestra de estiércol digerido 2×10^4 UFC/g, denotando que existe una disminución del 99% se debe a que las bacterias una vez que han degradado la materia orgánica ya han llegado a su etapa de muerte.

4.2.1.11 Nitrógeno

Tabla 13 – 4. Resultado de Nitrógeno

Muestra	Resultado	Método	Unidad
Estiércol crudo	0,96	4500-Norg-C	%
Biol	1,13		

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

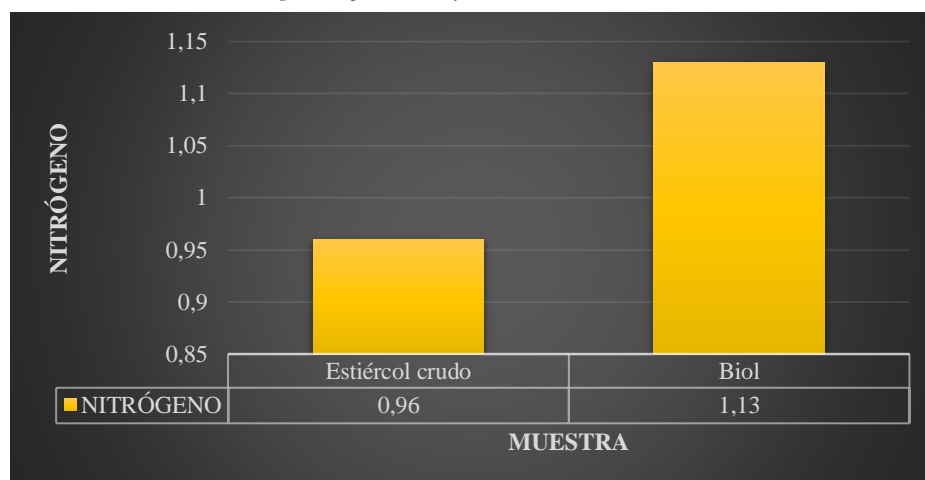


Gráfico 12 - 4. Comparación de Nitrógeno

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

El estiércol crudo presenta un 0,96 % de nitrógeno y el biol 1,13 %, existe un incremento de un 17%, esto se debe a que durante el proceso de digestión los microorganismos transforman las proteínas, urea y aminoácidos presentes en el sustrato en nitrógeno y a su vez este nitrógeno se convierte en amonio, mismo que es considerado como un biofertilizante para las plantas (Erreyes y Pérez, 2015, p. 87).

4.2.1.12 Fósforo

Tabla 14 – 4. Resultado de porcentaje de Fósforo

Muestra	Resultado	Método	Unidad
Estiércol crudo	0,22	4500-P-D	%
Biol	0,34		

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

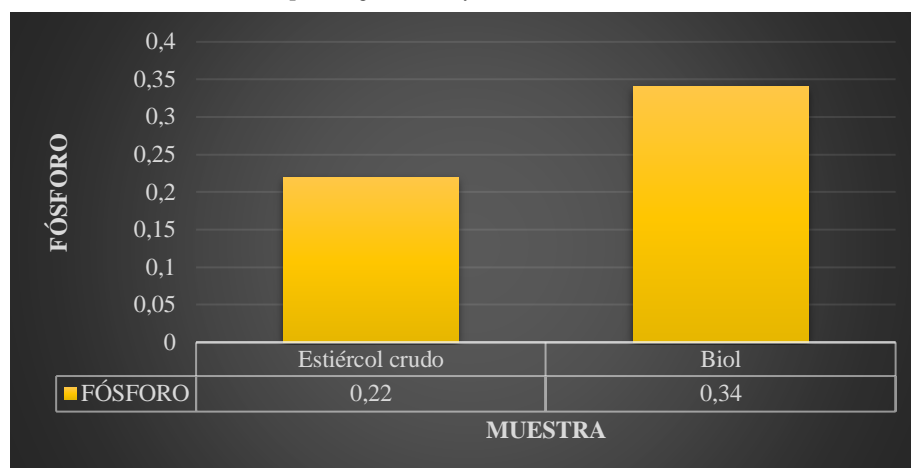


Gráfico 13 - 4. Comparación de Fósforo

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

La muestra de estiércol crudo presenta 0,22 % de fósforo y la muestra de biol 0,34 %, como se puede evidenciar el porcentaje de fósforo es bajo comparado con la tesis “IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA PRODUCIR BIOGÁS A PARTIR DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS EN EL CENTRO DE FAENAMIENTO MUNICIPAL TENA, NAPO” de (Erreyes & Pérez, 2015, p. 87).

Sin embargo, cabe recalcar de acuerdo a nuestros resultados existe un incremento de fósforo del 12%, es beneficioso porque este se puede emplear como abono para los cultivos de la hacienda.

4.3 Resultados de pruebas del prototipo a nivel de laboratorio

4.3.1 Prototipo

Tabla 15 – 4. Carga de sustrato

Número de cargas sustrato	Materia orgánica		Cantidad (Kg)
	Estiércol de ganado vacuno (Kg)	Agua (L)	
1	12	12	24
2	6	6	12
3	6	6	12

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

En el prototipo se colocó la primera carga 12 Kg de estiércol y 12 L de agua, se homogenizó bien, ingresando al prototipo 24 Kg, tomando en cuenta que 1 Kg de materia orgánica es igual a 1 L de agua.

La primera carga nos ayudó a determinar el tiempo de retención, hace referencia a la estabilidad de las bacterias con la finalidad de lograr un cultivo bacteriano para que empiece a generar biogás, con la segunda carga se determinó propiedades cualitativas del gas como color, flama y con la tercera carga se cuantificó el biogás, como es de conocimiento la obtención de biogás es un proceso continuo que según se gasta el sustrato se sustituye por un nuevo, y nos damos cuenta a través de la funda plástica si se infla o no.

En la **Tabla 16-4** se observa los resultados obtenidos del monitoreo durante 30 días del prototipo.

Tabla 16 – 4. Tiempo de retención a nivel de laboratorio

FECHA	DÍA	TEMPERATURA PROMEDIO AMBIENTE (°C)	TEMPERATURA PROMEDIO BIODIGESTOR (°C)	pH	VOLUMEN DIARIO BIOGÁS (L)	VOLUMEN ACUMULADO DE BIOGÁS (L)
17/1/2021	1	19,2	20,5	7,54	-	-
18/1/2021	2	20,9	21,6	7,5	-	-
19/1/2021	3	21,3	23,6	7,46	-	-
20/1/2021	4	22,1	24,2	7,51	-	-
21/1/2021	5	20	24,6	7,43	-	-
22/1/2021	6	25,2	25,3	7,35	5	5
23/1/2021	7	24,1	26,3	7,23	5	10

24/1/2021	8	25,9	27,1	7,1	10	20
25/1/2021	9	26,4	27,3	7,02	15	35
26/1/2021	10	25,1	27	6,9	25	60
27/1/2021	11	24,5	26,8	6,87	20	80
28/1/2021	12	24,9	26,2	6,72	20	100
29/1/2021	13	24,2	26,9	6,69	25	125
30/1/2021	14	25,2	26,1	6,54	30	155
31/1/2021	15	26,1	26,8	6,45	30	185
1/2/2021	16	23,9	25,9	6,51	20	205
2/2/2021	17	24,8	25,7	6,64	30	235
3/2/2021	18	25,1	26,4	6,74	30	265
4/2/2021	19	24,5	25,6	6,68	40	305
5/2/2021	20	23,9	28,3	6,72	20	325
6/2/2021	21	25,7	29,6	6,82	40	365
7/2/2021	22	26,8	31,9	6,94	25	390
8/2/2021	23	30,6	32,7	6,87	30	420
9/2/2021	24	27,3	33,8	6,93	30	450
10/2/2021	25	29,1	30,7	7,09	25	475
11/2/2021	26	26,9	31,5	7,2	30	505
12/2/2021	27	30,2	31,3	7,1	40	545
13/2/2021	28	29,3	31,9	6,9	35	580
14/2/2021	29	28,9	32,4	7	30	610
15/2/2021	30	27,5	33,8	6,85	10	620
Promedio		25,62	27,72666667	6,976666667		620 L

Realizado por: Negrete Peña, Josselyn, 2021

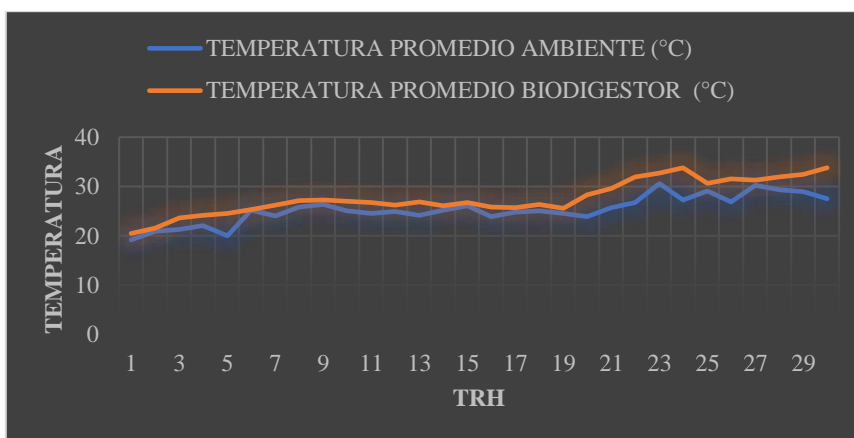


Gráfico 14 - 4. Variación de Temperatura

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

Durante los 30 días de monitoreo del prototipo se puede evidenciar que la temperatura varía debido a las condiciones climáticas que presenta el lugar siendo óptimo implementar un invernadero para que la temperatura se mantenga constante y sobre todo que sea mayor a la temperatura ambiente para una mejor producción de biogás. En el **Gráfico 14-4** se puede observar que la temperatura se mantiene en un rango de 20 °C a 30 °C, denotando que existe una fermentación Mesoflica según lo establecido en el capítulo II.

Desde el día 18 hasta el día 30 existió un incremento de temperatura, además una estabilidad de la misma, puesto a que se mantuvo en un rango de 25 a 30 °C, se puede concluir que desde el día 10 comenzó el proceso de adaptación y crecimiento de las bacterias.

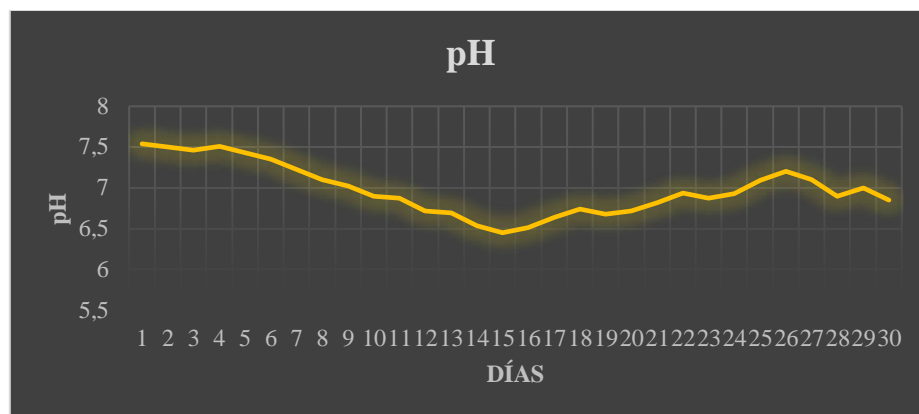


Gráfico 15 - 4. Variación del pH

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

En cuanto al pH se puede observar en el **Gráfico 15 - 4.** que se mantiene en un rango de 6,4 a 7,6, siendo este neutro y el óptimo para que se desarrollen de manera favorable las bacterias. Según la (FAO et al., 2011, p. 42) para que se desarrollen de manera adecuada, el pH no debe bajar de 6.0 ni subir de 8.0, puesto a que el pH en el digestor no solo determina la producción de gas sino también su composición. La razón por cual se produce un descenso de pH a valores inferiores de 6 se debe a que el biogás generado es pobre en metano por ende las cualidades energéticas son menores. Siendo el óptimo para los procesos metanogénicos entre 6,5 y 7,5, de acuerdo al promedio obtenido en todo el proceso de fermentación es 6,97 se denota que es el adecuado para que se lleve a cabo la degradación anaeróbica.

4.3.2 Determinación del tiempo de retención

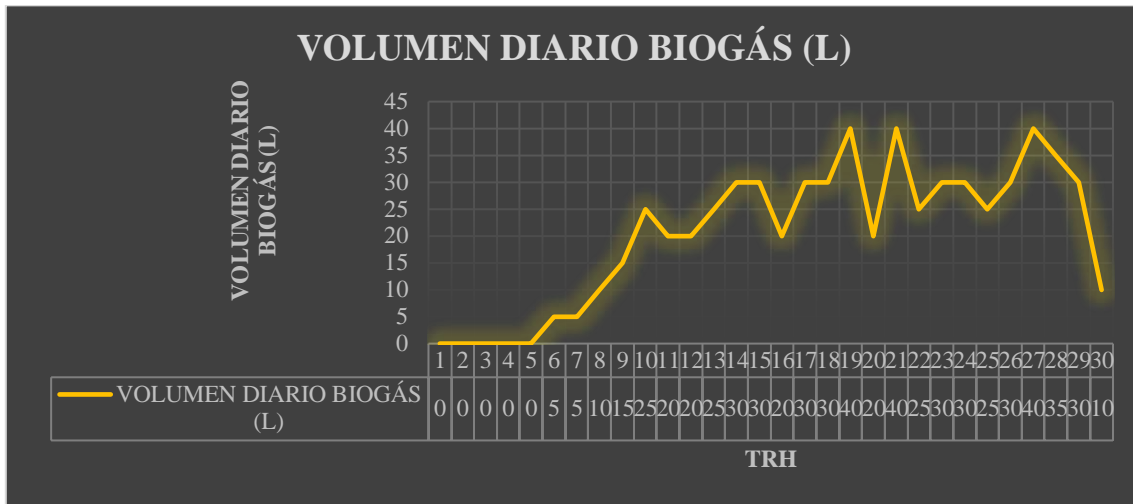


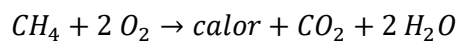
Gráfico 16 - 4. Determinación del TRH

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

Desde el día 6 se generó 5 L, pero no de biogás sino de CO₂, esto se debe a la hidrólisis del estiércol por acción de las bacterias puesto a que transforman la materia orgánica, pero no existe una flama que encienda.

Después de 2 días, ya la funda presenta una generación de biogás de 10 a 15 L, cantidad mayor de acumulación de gas, denotando que existe una pequeña cantidad de CH₄ y una cantidad mayor de CO₂, puesto a que al encender se genera una llama débil de color amarillo rojizo, en el día 14 la mayor producción de CH₄ se incrementa y al encender se torna una llama de azul, pero también existe un color amarillo rojizo. En el día 22 debido a un aumento de temperatura y mejor reproducción de las bacterias existe una mayor cantidad de biogás y la llama es color azul totalmente, concluyendo que la llama cada vez va mejorando y sobre todo que el CH₄ no presente un olor fuerte tóxico como generalmente lo presenta una bombona de gas puesto a ella se añade un odorizante químico llamado mercaptano (compuesto que tiene el grupo funcional formado por un átomo de azufre y un átomo de hidrogeno) mismo que es un indicador en caso de existir fugas de gas.

La reacción de combustión que se da es:



4.3.3 Determinación del volumen de biogás

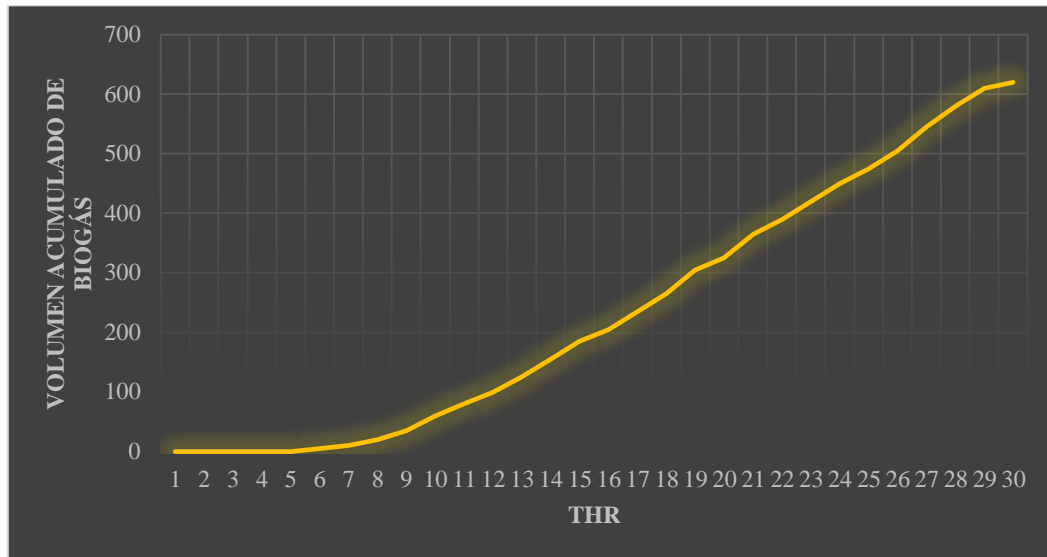


Gráfico 17 - 4. Determinación del volumen de biogás

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

Las dimensiones de la funda que se colocó en el prototipo son:

LARGO: 25cm

ANCHO: 16cm

DIÁMETRO: 13cm

Presentando la funda 5200 cm³ (5 L) como es de conocimiento el monitoreo del volumen de biogás es diario tal como se muestra en el **Gráfico 18 - 4** se puede notar que existe una producción de biogás va en aumento esto se debe a que las bacterias cada vez se van reproduciendo, en donde la acumulación total es 620 L, comprobado experimental y teóricamente.

4.4 Propuesta del diseño del biodigestor

4.4.1 Esquema de la planta generadora de biogás

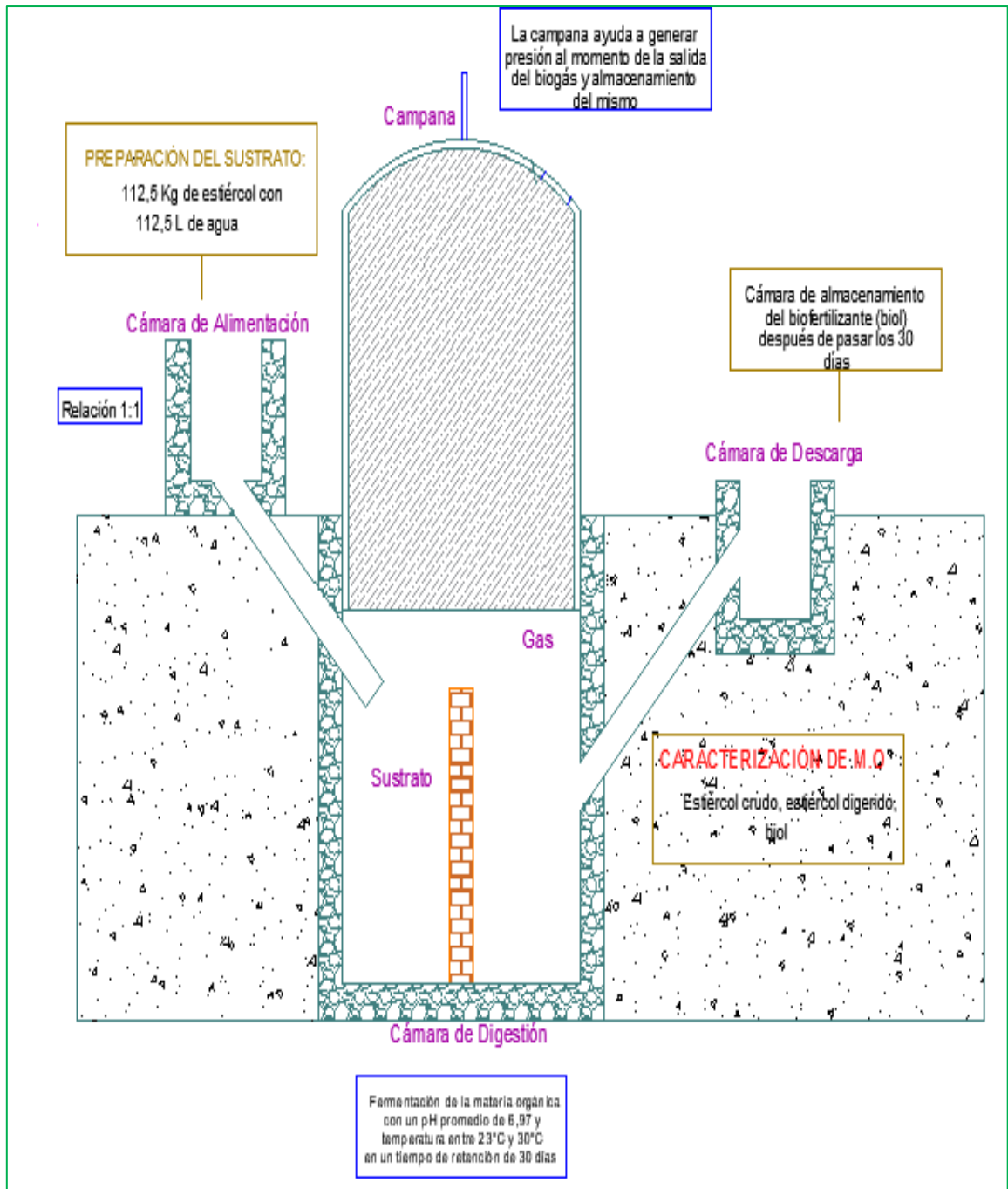


Figura 1 – 4. Esquema de la planta generadora de biogás

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

4.4.2 Resultados de la selección de biodigestor

Para la selección del biodigestor de domo flotante, se tomó en cuenta varias características.

Tabla 17-4 Características de la selección del biodigestor

Características	Evaluación
MATERIA ORGÁNICA	La Hacienda “El Rosal” cuanta, con 15 cabezas de ganado, mismas que por 12 horas son colocadas en corrales lo cual permite la recolección de materia. La temperatura oscila entre 19 a 33 °C.
LUGAR DE IMPLEMENTACIÓN	El ingreso no requiere de esfuerzo, se sugiere que la implementación se lo haga lo más cercano al corral, para mejor facilidad de la carga diaria y de la descarga, así como también este próximo a las casas para la cocción de los alimentos.
IMPLEMENTACIÓN	La forma del biodigestor es cilíndrica porque de esta manera se evita fugas de biogás, de igual manera a partir de la materia disponible se evalúa el presupuesto.
OPERACIÓN	El biodigestor de domo flotante no requiere de un mantenimiento u operación que ponga en riesgos a las personas y tampoco afecta a medio ambiente.
COSTO	El costo de la construcción del biodigestor depende de la materia orgánica que se dispone, de la calidad, del tamaño, mano de obra y maquinas.
VIDA ÚTIL	El biodigestor al ser de hormigón permite que la vida útil sea aproximadamente de 20 a 25 años, de igual manera la campana de aluminio.

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

4.5 Cálculos de Ingeniería

4.5.1 Dimensionamiento del biodigestor de domo flotante

4.5.1.1 Cálculo de la Cantidad de estiércol diario

Ecuación 1

$$CE = \frac{\text{Estiércol promedio diario Kg}}{N^{\circ} \text{ de vacas}}$$

$$CE = \frac{30 \text{ Kg}}{4}$$

$$CE = 7,5 \text{ Kg/día}$$

7,5 Kg/día es la cantidad de estiércol que genera una vaca adulta

La relación para conocer la generación de estiércol de 15 vacas adultas es:

$$\begin{aligned} 1 \text{ vaca} &\rightarrow 7,5 \text{ Kg} \\ 15 \text{ vacas} &x = 112,5 \text{ Kg} \\ CE &= 112,5 \text{ Kg/día} \end{aligned}$$

4.5.1.2 Tiempo de retención hidráulica

Factor importante dentro de un diseño puesto a que este determina el tiempo que será necesario para que los microorganismos se reproduzcan y descompongan el sustrato (Torres, 2020, p. 21).

La ecuación basada en los logaritmos según (Erreyes & Pérez, 2015, p. 58) permite conocer el tiempo de retención teórica y se comprobó con el tiempo de retención experimental obtenido mediante un promedio, dando de tal manera un valor exacto.

Datos:

Temperatura promedio del prototipo: 26 °C

THR experimental: 25 días

THR teórico: 37 días

Ecuación 2

$$TRH = (-52,227 * \ln(T^{\circ}C) + 206,72)$$

Donde:

TRH: Tiempo de retención hidráulica

T: Temperatura (°C)

$$TRH = (-52,227 * \ln(26^{\circ}C) + 206,72)$$

$$TRH = 36,45 \approx 36 \text{ días}$$

$$TRH_{PROMEDIO} = 36 \text{ días} + 25 \text{ días}$$

$$TRH_{PROMEDIO} = \frac{61}{2}$$

$$TRH_{PROMEDIO} = 30 \text{ días}$$

4.5.1.3 Volumen de biogás del prototipo

Para determinar la cantidad de biogás que genera 1 Kg de estiércol, realizar una relación:

Datos:

Temperatura promedio del prototipo: 26 °C

Cantidad de materia orgánica utilizada en la mezcla: 24 Kg/mezcla

Volumen de gas del prototipo: 620 L

$$\begin{array}{rcl} 24 \text{ Kg} & \rightarrow & 620 \text{ L} \\ 225 & x & = 5812,5 \text{ L (al mes)} \end{array}$$

Volumen de metano en m³

$$\begin{aligned} V_{CH_4} &= \frac{5812,5 \text{ L}}{\text{mes}} * \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} = 194 \text{ L/día} \\ V_{CH_4} &= 194 \frac{\text{L de Biogás}}{\text{Día}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \\ V_{CH_4} &= 0,194 \frac{\text{m}^3 \text{ de Biogás}}{\text{Día}} \end{aligned}$$

A nivel de laboratorio se demostró que 1 Kg de sólidos totales produce 0,194 m³ de metano al día.

4.5.1.4 Cálculo de la Producción de biogás

Ecuación 3

$$\frac{\text{Kg estiércol}}{\text{día}} * \frac{\text{Kg ST}}{1 \text{ Kg estiércol}} * \frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{1 \text{ Kg ST}} = \text{m}^3 \text{ biogás/día}$$

Donde:

ST: Sólidos Totales

Los valores a reemplazar son de acuerdo a los obtenidos a nivel de laboratorio en donde comparando los valores teóricos con los experimentales a una temperatura de 26 °C como se muestra en la tabla, se aproximan.

Tabla 19 – 4. Comparación teórica y experimental de producción de biogás

Valores Teóricos		Valores Experimentales	
1 Kg Estiércol Fresco	0,20 Kg Sólidos Totales	1 Kg Estiércol Fresco	0,19 Kg Sólidos Totales
1 Kg Sólidos Totales	0,8 Kg Sólidos Volátiles	1 Kg Sólidos Totales	0,83 Kg Sólidos Volátiles
1 Kg Sólidos Totales	0,21 m ³ biogás (26 °C y Presión atmosférica)	1 Kg Sólidos Totales	0,194 m ³ biogás (26 °C y Presión atmosférica)

Realizado por: Negrete Peña, Josselyn, 2021

$$\frac{112,5 \text{ Kg estiércol}}{\text{día}} * \frac{0,19 \text{ Kg ST}}{1 \text{ Kg estiércol}} * \frac{0,194 \text{ m}^3 \text{ biogás}}{1 \text{ Kg ST}} = 4,14 \text{ m}^3 \text{ biogás/día}$$

Biogás necesario para llenar un tanque de GLP

$$15kg * \frac{1m^3}{0,45 kg GLP} = 33,33m^3 gas$$

Biogás producido al mes

$$4,14 m^3 biogas * 30 días = 124,2 m^3 biogas/ mes$$

Biogás necesario para llenar tanques de GLP

$$\begin{array}{rcl} 33,33m^3 gas & \rightarrow & 1 tanque GLP \\ 124,2 m^3 gas & x & = 3,7 tanques de GLP \end{array}$$

Genera aproximadamente 3 tanques de GLP al mes.

4.5.1.5 Cálculo de la cámara de digestión

4.5.1.5.1 Cálculo de la Cantidad de mezcla diaria

Al trabajar con estiércol de ganado vacuno se trabaja con una relación 1:1, es decir 112,5 Kg de estiércol con 112,5 Kg de H₂O por día, dando una mezcla de 225 Kg.

Ecuación 4

$$CD = CE((kg) + H_2O(kg))$$

Donde:

CE: Cantidad de estiércol

CD: Carga diaria

$$CD = \frac{112,5 kg estiércol}{día} + \frac{112,5 kg H_2O}{día}$$

$$CD = 225 Kg de mezcla/día \approx 225 L de mezcla/día$$

4.5.1.5.2 Cálculo del tanque del biodigestor

Para el cálculo del volumen del biodigestor se necesita los datos del tiempo de retención hidráulica y de la carga diaria, siendo la ecuación a emplear:

Ecuación 5

$$V = CD * TRH$$

Donde:

V: Volumen del tanque del biodigestor

CD: Carga diaria

TRH: Tiempo de retención hidráulica

$$V = 225 \text{ mezcla} * 30 \text{ días}$$

$$V = 6750 \text{ L}$$

Transformación L a m³

$$V = 6750 \text{ L} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000\text{L}} = 6,75 \text{ m}^3$$

La cantidad de sustrato a depositar es 6,75 m³, dicha mezcla homogénea se mezcla por 30 días.

4.5.1.5.3 Cálculo del volumen total del biodigestor

El 75 % del biodigestor corresponde al sustrato y el 25 % corresponde a la parte del gas, siendo importante según (Rochina, 2018, p. 49) la siguiente ecuación:

Ecuación 6

$$V_T = V + V * \frac{25}{100}$$

Donde:

V: Volumen del tanque del biodigestor

V_T: Volumen total del biodigestor

$$V_T = 6,75 \text{ m}^3 + 6,75 \text{ m}^3 * \frac{25}{100}$$

$$V_T = 8,44 \text{ m}^3$$

4.5.1.5.4 Cálculo del diámetro del biodigestor

El biodigestor tiene una forma cilíndrica, porque con esto se logra erradicar las fugas de gas que y el dimensionamiento de las partes que conforman el mismo parte del cálculo del volumen.

A partir del volumen se calcula la profundidad y el diámetro de la cámara de digestión

Ecuación 7

$$\phi = h$$

Se emplea la ecuación:

Ecuación 8

$$V = \left(\frac{\pi \phi^2}{4} \right) * h$$

Donde:

V = Volumen del biodigestor

\emptyset = Diámetro del biodigestor

h = Altura

e = 0,20 m

Despejo el diámetro:

Reemplazo la ecuación 7 en la ecuación 8 y despejo el diámetro

Ecuación 9

$$\emptyset = \sqrt[3]{\frac{4V}{\pi}}$$

Reemplazando los valores

$$\emptyset = \sqrt[3]{\frac{4 * (6,75 \text{ m}^3)}{\pi}} = 2,04 \text{ m}$$

La cámara de digestión tendrá un diámetro de 2,04 m y una altura de 2,04 m, pero no necesariamente la relación entre el diámetro y la altura es de 1:1, por lo cual se propone un diámetro de 2 m.

A partir de la Ecuación 7 despejo h

Ecuación 10

$$h = \left(\frac{4V}{\pi \emptyset^2} \right)$$

Reemplazando los valores

$$h = \left[\frac{4 * (8,44)}{\pi * (2)^2} \right] = 2,68 \text{ m} \approx 2,7 \text{ m}$$

El diámetro del biodigestor será de 2 m, aumentándole 0,20 m de hormigón y una altura de 2,7 m con 0,20 m de hormigón en el fondo para que soporte la presión de la mezcla y a su vez el peso de la estructura.

4.5.1.6 Cálculo de la altura de la pared divisoria del biodigestor

Se emplea la siguiente ecuación:

Ecuación 11

$$hpd = h - hm - hg$$

Donde:

h (Altura del biodigestor): 3,50 m

hm (Altura de la materia orgánica): 0,75 m

hg (Altura del gas): 0,25 m

$$hpd = 2,7 - 0,75 - 0,25 = 1,7 \text{ m}$$

El 0,25 representa el 25 % que ocupara el biogás y el 0,75 es el 75% de la cantidad de materia orgánica.

4.5.1.7 Cálculo de la cámara de alimentación y descarga

Ecuación 12

$$Lcad = \sqrt[3]{CD}$$

Donde:

Lcad: Longitud de la cámara de alimentación y descarga

CD: Carga diaria

Transformar los L a m³

$$\frac{225 \text{ L de mezcla}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 0,225 \text{ m}^3$$

Reemplazando los datos

$$Lcad = \sqrt[3]{CD}$$

$$Lcad = \sqrt[3]{0,225 \text{ m}^3}$$

$$Lcad = 0,6 \text{ m}$$

Cada lado de la cámara de alimentación y descarga tendrá un largo, ancho y altura de 0,6 m, para que abastezca la carga diaria se añadirá 0,2 m a la altura evitando de tal manera derrames, entonces la altura de la cámara de alimentación y descarga es 0,8 m, además se añade 0,2 m de hormigón a todos los lados.

4.5.1.7.1 Cálculo del volumen de la cámara de alimentación y descarga

Ecuación 13

$$Vcad = L_l * L_{anch} * L_h$$

Donde:

Vcad: Volumen de la cámara de alimentación y descarga

L_l: Longitud de largo

L_{anch}: Longitud de ancho

L_h: Longitud de altura

$$Vcad = 0,6 \text{ m} * 0,6 \text{ m} * 0,8 \text{ m}$$

$$Vcad = 0,288 \text{ m}^3$$

El volumen tanto para la cámara de alimentación como para la cámara de descarga es 0,288 m³

4.5.1.8 Cálculo de la de la tubería de entrada y salida del biodigestor

Para este cálculo es necesario trabajar con los sólidos totales que genera el biodigestor a partir de los residuos sólidos.

Donde:

CE: 112,5 Kg/día

$$112,5 \frac{Kg}{día} * 30 días = 3375 \frac{Kg}{mes}$$

En el mes se ingresa 3375 Kg de estiércol de ganado vacuno, los resultados del análisis de laboratorio indican que por cada Kg de estiércol el 19% son sólidos totales en el mes.

Ecuación 14

$$ST = \frac{Kg \text{ de estiércol al mes} * 19\%}{100\%}$$

Donde:

ST: Sólidos totales

$$ST = \frac{3375 Kg * 19\%}{100\%}$$

$$ST = 641,25 Kg \approx 641 Kg$$

El porcentaje de sólidos totales se obtuvo a partir del promedio de acuerdo a los resultados del laboratorio.

Transformación de Kg a m³

$$V_{ST} = 641 Kg * \frac{1 L}{1 Kg} * \frac{1 m^3}{1000 L} = 0,641 m^3$$

Donde:

V_{ST}: Volumen de sólidos totales

Aplicando la siguiente ecuación se obtendrá la altura de la tubería

Ecuación 15

$$ht = \frac{V_{ST} * 4}{\pi * \emptyset^2}$$

Donde:

V_{ST}: 0,641 m³

∅: Diámetro del biodigestor

ht: Altura de la tubería de entrada y salida del biodigestor

h_T: Atura total de la tubería de entrada y salida del biodigestor

$$ht = \frac{0,641 m^3 * 4}{\pi * (2m)^2}$$

$$ht = 0,20 m$$

Como lo mencionado anterior la altura es igual al diámetro por ende el diámetro de la tubería (\emptyset_t) donde se conduce el sustrato y sale el biofertilizante será de PVC de 0,20 m con una inclinación de 45°.

La limpieza se realizará cada 4 meses de preferencia, entonces:

Ecuación 16

$$h_{Tt} = h_t * \text{meses}$$

Reemplazando los datos

$$h_{Tt} = 0,20 \text{ m} * 4 \text{ meses}$$

$$h_{Tt} = 0,8$$

La altura a la cual va a estar la tubería desde la base del biodigestor es 0,8 m, pero se propone una altura (h_{desc}) de 1 m esto para la cámara de descarga para una mejor salida del biofertilizante y para la cámara de alimentación (h_{alm}) se propone una altura desde la base del biodigestor de 1,8 m.

4.5.1.9 Dimensionamiento de la campana

4.5.1.9.1 Cálculo del diámetro de la campana

Para el cálculo del diámetro de la campana se considera restar 0,1 m al diámetro del biodigestor con la finalidad que facilite el desplazamiento de la misma.

Ecuación 17

$$\emptyset_c = \emptyset - 0,1 \text{ m}$$

Donde:

\emptyset_c : Diámetro de la campana

\emptyset : Diámetro del biodigestor

$$\emptyset_c = 2 \text{ m} - 0,1 \text{ m}$$

$$\emptyset_c = 1,9 \text{ m}$$

El diámetro de la campana es 1,9 m.

4.5.1.9.2 Cálculo de la altura de la campana

En el cálculo, se considera que el diámetro de la campana es igual a la altura.

Ecuación 18

$$\emptyset_c = h_c$$

Donde:

\emptyset_C : Diámetro de la campana

h_C : Altura de la campana

$$\emptyset_C = h_C$$

$$1,9 \text{ m} = h_C$$

$$h_C = 1,9 \text{ m}$$

La altura de la campana es de 1,9 m.

4.5.1.9.3 Cálculo del volumen de la campana

Se aplicó la ecuación tomada de la tesis de (García y León, 2015, p. 70).

Ecuación 19

$$V_C = \frac{\pi(\emptyset_C)^2}{4} * h_C$$

Donde:

V_C : Volumen de la campana

\emptyset_C : Diámetro de la campana

h_C : Altura de la campana

$$V_C = \frac{\pi(1,9\text{m})^2}{4} * 1,9\text{m}$$

$$V_C = \frac{\pi(1,9\text{m})^2}{4} * 1,9\text{m}$$

$$V_C = \frac{\pi(1,9\text{m})^2}{4} * 1,9\text{m}$$

$$V_C = 5,3 \text{ m}^3$$

Entonces el volumen de la campana es de 5,30 m³, el diámetro de 1,9 m y la altura de 1,9 m.

4.5.1.9.4 Cálculo de la altura de la cúpula

Es necesario partir de diámetro de la campana.

Ecuación 20

$$h_{Cu} = \frac{1}{5} * \emptyset_C$$

Donde:

h_{Cu} : Altura de la cúpula

\emptyset_C : Diámetro de la campana

$$h_{Cu} = \frac{1}{5} * \phi_C$$

$$h_{Cu} = \frac{1}{5} * 1,9 \text{ m}$$

$$h_{Cu} = \frac{1}{5} * 1,9 \text{ m}$$

$$h_{Cu} = 0,38 \text{ m}$$

La altura de la cúpula es 0,38 m.

4.5.1.9.5 Cálculo de la altura total de la campana

Ecuación 21

$$h_{TC} = h_C + h_{Cu}$$

Donde:

h_{TC} : Altura total de la campana

h_C : Altura de la campana

h_{Cu} : Altura de la cúpula

$$h_{TC} = h_C + h_{Cu}$$

$$h_{TC} = 1,9 \text{ m} + 0,38 \text{ m}$$

$$h_{TC} = 2,28 \text{ m}$$

La altura total de la campana es 2,28 m.

4.5.1.9.6 Cálculo del radio de la curvatura de la cúpula

Ecuación 22

$$r_{cur} = \frac{(r_C)^2 + (h_{Cu})^2}{2 * h_{Cu}}$$

Donde:

r_{cur} : Radio de la curvatura de la cúpula

r_C : Radio de la campana

h_{Cu} : Altura de la cúpula

Reemplazando los datos

$$r_{cur} = \frac{(0,95 \text{ m})^2 + (0,38 \text{ m})^2}{2 * 0,38 \text{ m}}$$

$$r_{cur} = 1,37 \text{ m}$$

4.5.1.9.7 Cálculo del volumen de la cúpula

Este factor es importante puesto a que nos indica la cantidad de biogás que se puede almacenar, y si es necesario crear otra fuente de almacenamiento.

Ecuación 23

$$V_{Cu} = \pi * (h_{Cu})^2 * (r_{cur} - \frac{h_{Cu}}{3})$$

Donde:

V_{cu}: Volumen de la cúpula

r_c: Radio de la campana

h_{cu}: Altura de la cúpula

Reemplazando los datos

$$V_{Cu} = \pi * (0,38 \text{ m})^2 * (1,37 \text{ m} - \frac{0,38 \text{ m}}{3})$$

$$V_{Cu} = 0,56 \text{ m}^3$$

El volumen de la cúpula es de 0,56 m³.

4.5.1.9.8 Cálculo del volumen total de la campana

Sumatoria del volumen de la campana y volumen de la cúpula.

Ecuación 24

$$V_{TC} = V_C + V_{Cu}$$

Donde:

V_{TC}: Volumen total de la campana

V_C: Volumen de la campana

V_{cu}: Volumen de la cúpula

Reemplazando los datos

$$V_{TC} = 5,3 \text{ m}^3 + 0,56 \text{ m}^3$$

$$V_{TC} = 5,86 \text{ m}^3$$

4.5.1.10 Compuerta de limpieza

Después de los días de degradación el fondo se concentra los lodos, por lo cual es necesario implementar una compuerta en la parte de la campa para dar mantenimiento y limpieza, las dimensiones propuestas para la compuerta son de 0,5 m de largo (L_{comp})y ancho (A_{comp}) suficiente para que una persona pueda entrar a la cámara de digestión, dicha compuerta debe estar cubierta de caucho para erradicar fugas de biogás.

4.5.1.11 Tubería para el biogás

El biogás se acumula en la campana, se debe realizar una conexión para la tubería que conducirá lo dicho, ésta será de acero inoxidable de ½ pulgada, con una longitud de 10 m.

4.5.2 Resumen del Diseño del Biodigestor de domo flotante

Las medidas del diseño del biodigestor se enmarcan de acuerdo a los cálculos realizados.

Tabla 20 – 4. Cámara de digestión

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Cantidad de estiércol	CE	112,5	Kg/día
Cantidad de mezcla diaria	CD	225	Kg/día
Volumen total del biodigestor	VT	8,44	m ³
Producción de biogás	PG	4,275	m ³ /día
Diámetro del biodigestor	Ø	2	m
Altura del biodigestor	h	2,7	m
Espesor del hormigón	e	0,20	m

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

Tabla 21 – 4. Cálculo de la cámara de alimentación y descarga

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Largo	L _l	0,6	m
Ancho	L _{anch}	0,6	m
Altura	L _h	0,8	m
Volumen de la cámara de alimentación y descarga	V _{cad}	0,288	m ³
Espesor	e	0,2	m

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2020

Tabla 22 – 4. Altura de la tubería de entrada y salida del biodigestor

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Diámetro de la tubería	Ø _t	0,2	m
Altura de la tubería de la cámara de alimentación	h _{alm}	0,8	m
Altura de la tubería de la cámara de descarga	h _{desc}	1	m

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

Tabla 23 – 4. Campana

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Diámetro de la campana	\varnothing_C	1,9	m
Altura de la campana	h_C	1,9	m
Volumen de la campana	V_C	5,3	m
Altura de la cúpula	h_{Cu}	0,38	m
Altura total de la campana	H_{TC}	2,28	m
Radio de la curvatura de la cúpula	r_{cur}	1,37	m
Radio de la campana	r_C	0,95	m
Volumen de la cúpula	V_{cu}	0,56	m ³
Volumen total de la campana	V_{TC}	5,86	m ³

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

Tabla 24 – 4. Compuesta de limpieza

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Largo	L_{comp}	0,5	m
Ancho	A_{comp}	0,5	m

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

4.5.3 Estimación del presupuesto de construcción del biodigestor

Para la implementación del biodigestor de domo flotante en la hacienda “El Rosal”, se estableció los costos de los materiales, accesorios, mano de obra, análisis de laboratorio a continuación se detalla:

Tabla 25 – 4. Materiales del biodigestor de domo flotante

Ítem	Material	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
Cámara de digestión					
1	Cemento	quintal	30	\$7.60	\$228
2	Macadam	m ³	2,40	\$13.50	\$32.4
3	Ripio triturado	m ³	4,17	\$13.50	\$56.30
4	Malla electro soldadas 10x10mm 1m 10m	rollo	1	\$9.30	\$9.30

Cámara de alimentación y descarga					
5	Cemento	quintal	10	\$7.60	\$76
6	Macadam	m ³	0.75	\$13.50	\$10.13
7	Ripio triturado	m ³	1.30	\$13.50	\$17.55
Tubería de entrada y salida					
8	Tubo PVC 0.2m	u	1	\$21	\$21
Pared divisoria					
9	Ladrillo	u	125	\$0,20	\$25
Campana					
10	Aluminio	u	2	\$30	\$60
11	Manómetro	u	1	\$25,50	\$25,50
12	Tubo de acero ½ in galvanizado	m	10	\$11.30	\$11.30
Compuerta de limpieza					
13	Compuerta de aluminio 0.50x0.50	u	1	\$30	\$30
14	Pega tubo	u	2	\$4	\$8
15	Acoples para tubería	u	4	\$1.50	\$6
16	Manguera para gas ½ in	m	10	\$1.25	\$12.50
COSTO TOTAL					\$898,98

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

Tabla 26 – 4. Mano de obra

Mano de obra	Cantidad	Costo día	Costo semana	Numero de semanas	Total
Albañil	2	\$20	\$100	2	\$400
Mecánico	1	\$25	\$125	1	\$125
COSTO TOTAL					\$525

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

Tabla 27 – 4. Análisis de laboratorio

Parámetro	Cantidad	Costo unitario	Total
pH	2	\$6	\$12
Demanda Química de Oxígeno	2	\$12	\$24
Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	\$12	\$24
Sulfuros	2	\$12	\$24
Ceniza	2	\$6	\$12
Humedad	2	\$6	\$12
Materia Seca	2	\$12	\$24
Sustancias Volátiles	2	\$12	\$24
Coliformes Totales	2	\$12	\$24
Escherichia Coli	2	\$12	\$24
Mohos y Levaduras	2	\$12	\$24

Nitrógeno	2	\$12	\$24
Fósforo	2	\$12	\$24
COSTO TOTAL			\$276

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

Tabla 28 – 4. Costo total del proyecto

Descripción	Total
Materiales del biodigestor de domo flotante	\$898,98
Mano de obra	\$525
Análisis de laboratorio	\$276
COSTO TOTAL	\$1700

Realizado por: Negrete, Josselyn, 2021

Se estima que el presupuesto para implementar el biodigestor de domo flotante es de \$1700, con una vida útil de 20 a 25 años.

CONCLUSIONES

- En la hacienda “El Rosal”, después de siete días de cuantificación se determinó que en promedio la cantidad de estiércol que produce una vaca adulta diariamente es 7,5 Kg y al contar con 15 cabezas de ganado vacuno presenta una cantidad de 112,5 Kg en total la cual es adecuada para abastecer los requerimientos de la hacienda con dicha producción de gas.
- En cuanto a los resultados de la caracterización de los excrementos se realizó una comparación entre el estiércol crudo y el estiércol degradado mediante análisis físico-químico y microbiológico, siendo un indicador de calidad en el proceso de fermentación, donde los parámetros analizados muestran: DQO con un consumo del 60% de la materia orgánica; DBO con una degradabilidad del 49%; eliminación de un 88% de sulfuros a través de la salida del biogás; aumento de un 75% de cenizas; disminución de un 70% de materia seca debido al consumo de alimento por las bacterias; en los sólidos totales existe una disminución del 9%; las Coliformes Totales tienen una disminución del 96% y la Escherichia Coli del 99%. La caracterización del biol presenta un aumento de porcentaje de nitrógeno en un 17% y fósforo en un 12 % denotando que puede usarse como un abono para las plantas.
- El reactor prototipo permitió durante un monitoreo de 30 días establecer variables y parámetros donde el promedio de temperatura ambiente es de 26°C, de la temperatura del biodigestor de 28°C, el pH 6,97, la producción de biogás diario depende de estos parámetros obteniendo un volumen de biogás acumulado de 0,620 m³ al trabajar con una relación 1:1 (1 Kg de estiércol en un 1L de agua).
- Los cálculos de ingeniería parten de la cantidad de materia orgánica disponible, y de la aplicación de fórmulas para el biodigestor de domo flotante, obteniendo que la capacidad del mismo es de 8,44 m³ con una producción de gas de 124,2 m³ mensual equivalente a 3 tanques de GLP, sus dimensiones estructurales están descritas y acotadas en los planos para una posterior implementación.
- La validación del diseño, fue a partir del prototipo, mismo que necesitó 30 días de retención a una temperatura de 26 °C para producir un volumen de gas acumulado de 0,620 L con 12 Kg de estiércol al mes y con 112,5 Kg de estiércol la producción de gas diario es 0,194 m³, de acuerdo a los análisis de laboratorio 1 Kg de estiércol produce el 19% de sólidos totales y 83% de sólidos volátiles, estos valores se encuentran acorde a la tabla de producción de gas puesto a que a la misma temperatura produce 1 Kg de estiércol fresco 20% sólidos totales, 80% de sólidos volátiles y 0,21 m³ de biogás al

día, además se demostró la presencia de CH_4 , de forma cualitativa evidenciada mediante la prueba de flama que presenta una llama de coloración azul.

RECOMENDACIONES

- Cuando se implemente el biodigestor se debe asegurar que reciba la mayor cantidad de rayos solares con la finalidad que se concentre más calor para acelerar el proceso y la producción de biogás.
- Asegurar que no exista fugas de gas mediante un control periódico de la infraestructura.
- La campana al ser de aluminio se recomienda cubrirla con plástico o a su vez realizar un control periódico para colocar pintura anticorrosiva.
- Emplear el biofertilizante en las plantaciones debido a su alto contenido de nitrógeno y fósforo.
- Evitar el uso de cerillos cerca de la planta ya que puede generar una explosión.
- Tener hojas de registro del control diario de la planta para evitar accidentes.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOTECA DEL CAMPO. *Granja Integral Autosuficiente: Agua, suelos, Abonos y lombrices* [en línea]. 3a.ed. Santafé de Bogotá-Colombia: Disloque Editores, 1998. [Consulta: 6 noviembre 2020]. Disponible en: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6633/1/053.1.pdf>.

CASCON, J. *El estiércol.* En: Servicio de capacitación y propaganda (ed.), Ministerio de Agricultura [en línea]. Madrid: s.n., 1948. pp. 3-7. [Consulta: 5 noviembre 2020]. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1948_12.pdf.

CEVALLOS, A. & RAMOS, R. *Diseño y construcción de un biodigestor de campana flotante a partir de desechos orgánicos de ganado porcino con capacidad de 12m³ para la obtención de biogas el cual va a ser utilizado en la cocción de alimentos y climatización de la granja el Descanzo* [en línea]. S.l.: ESPE. 2009. [Consulta: 2 febrero 2021]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/308>.

CHAVARRIA, I. *Implementación de un biodigestor en unidades peruanas* [en línea]. S.l.: Universidad Autónoma Agraria «Antonio Narro».2014. [Consulta: 5 enero 2021]. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4125/IMPLEMENTACIOND EUNBIODIGESTORENUNIDADESPECUARIAS.pdf?sequence=1>.

CRUZ, M. *El estiércol, ¿material de desecho o de provecho?* *CRÓNICA.com.mx* [en línea]. 2011 [Consulta: 25 enero 2021]. Disponible en: <http://www.cronica.com.mx/notas/2011/593631.html>.

DURAZNO, D. *Valoración de estiércol bovino y porcino en la producción de biogás en un biodigestor de producción por etapas* [en línea]. S.l.: Universidad Politécnica Salesiana. 2018. [Consulta: 4 noviembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15445>.

ERREYES, E. & PÉREZ, D. *Implementación de un biodigestor para producir biogás a partir de los residuos orgánicos generados en el Centro de Faenamiento Municipal Tena, Napo* [en línea]. S.l.: Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. 2015. [Consulta: 29 enero 2021]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/4079/1/236T0134 UDCTFCI.pdf>.

FAO, et al. *Manual del Biogás* [en línea]. Santiago de Chile: s.n. 2011. [Consulta: 18 noviembre

2020]. ISBN 9781604138795. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>.

GARCÍA, K. *Codigestión Anaeróbica De Estiércol Y Lodos De Depuradora Para Producción De Biogás* [en línea]. Cádiz- España: s.n. 2009. [Consulta: 7 noviembre 2020]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/161351086.pdf>.

GARCÍA, J. & LEÓN, E. *Diseño y construcción de un biodigestor hindú anaerobio en la finca “Los Cuencanos” de la Parroquia García Moreno* [en línea]. S.I.: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2015. [Consulta: 27 enero 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4863/1/236T0166.pdf>.

GUEVARA, A. *Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales: producción de gas y saneamiento de efluentes.* [en línea]. Lima - Perú: División de Salud y Ambiente. Oficina Regional de la Organización Panamericana de la Salud. 1996. [Consulta: 4 noviembre 2020]. Disponible en: <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=51547&indexSearch=ID>.

HIDALGO, M. & LARA, E. *Diseño de un Biorreactor y Conducción del Biogas Generado por las Excretas de Ganado Vacuno, Estación TUNSHI - ESPOCH* [en línea]. S.I.: ESPOCH. 2012. [Consulta: 7 febrero 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1652>.

HOFFMAN, J., et al. *Uso de biogás para ciclo combinado. Growth (Lakeland)* [en línea], vol. 1, no. 30, 2007. pp. 41. [Consulta: 7 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.oas.org/dsd/Energy/Documents/SimposioG/3 Panel I Biogas.pdf>.

IGLESIAS, L. *El estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente. Hojas divulgadoras. Ministerio de agricultura pesca y alimentación* [en línea], no. 1, 1995. pp. 1-7. [Consulta: 6 noviembre 2020]. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1994_01.pdf.

INEN NTE 1235. *Determinación Del Contenido De Humedad.* [en línea], 1987. p.7. [Consulta: 28 enero 2021]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1235.pdf>.

INEN NTE 401. *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 706 : 2013 Segunda revisión.* [en línea], 2013. p.19. [Consulta: 4 enero 2021]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/401-2R.pdf>.

LAIQ UR REHMAN, M., et al. *Anaerobic digestion.* *Water Environment Research* [en línea], vol. 91, no. 10, 2019. p. 1257. [Consulta: 16 noviembre 2020]. ISSN 15547531. DOI 10.1002/wer.1219. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/wer.1219>.

LARRY, D. *Third Annual Biomass Energy Systems Conference Proceedings* [en línea]. Colorado - USA: The National Biomass Program. 1979. [Consulta: 11 enero 2021]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=f-flkEflk_MC&pg=PA1&lpg=PA1&dq=Third+Annual+Biomass+Energy+Systems+larry+douglas&source=bl&ots=a62xb8sb3G&sig=ACfU3U3CB6yINkY4FUoMqHFIs-zhiX8f3w&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj_35a7gKnvAhWF2FkKHbomDJEQ6AEwAHoECAMQAw#v=onepage&.

LORENZO, Y. & OBAYA, M. *La Digestión Anaerobia. Aspectos Teóricos. Parte I* [en línea]. S.l.: s.n. 2005. [Consulta: 18 enero 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf>.

MANQUÍTULS. *Estiércol, el mejor abono orgánico para nuestros campos.* [en línea]. 2017. [Consulta: 4 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.maquituls.es/noticias/estiercol-el-mejor-abono-orgnico-para-nuestros-campos-2/>.

MORALES, A. *Desventajas y ventajas del estiércol.* [en línea]. [Consulta: 12 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.enbuenasmanos.com/el-estiercol>.

PÁEZ, J. & HIDROBO, J. *Diseño de un biodigestor para el manejo de residuos orgánicos producidos en el embalse Daule-Peripa* [en línea]. S.l.: Universidad Central del Ecuador. 2016. [Consulta: 21 enero 2021]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/8789>.

PÉREZ, J. *Estudio y Diseño de un Biodigestor para Aplicación en Pequeños Ganaderos y Lecheros* [en línea]. S.l.: Universidad de Chile. 2010. [Consulta: 6 enero 2021]. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103926>.

ROCHINA, H. *Diseño de un biodigestor para la generación de biogas y biol en la comunidad de illagua del cantón Guaranda* [en línea]. S.l.: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. 2018. [Consulta: 02 marzo 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8936>.

SÁNCHEZ, C., et al . *Determinación del potencial bioquímico de metano (pbm) de residuos de frutas y verduras en hogares.* *Scielo* [en línea], vol. 32, no. 2, 2016. pp. 191-198. [Consulta: 18 enero 2021]. DOI 10.20937/RICA.2016.32.02.05. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v32n2/0188-4999-rica-32-02-00191.pdf>.

SILVA, J. *Tecnología del Biogas.* *Journal of Chemical Information and Modeling* [en línea], vol. 53, 1989. p.160. [Consulta: 4 enero 2021]. ISSN 1098-6596. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/biogas.pdf>.

SISTEMA BIOBOLSA. *Manual de Biol* [en línea], 2011. pp. 3-4. [Consulta: 14 noviembre 2020]. Disponible en: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SISTEMA_BIOBOLSA_s.f.Manual_del_BIOL.pdf.

TOALA, E. *Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogas a partir del estiércol de ganado en el rancho verónica* [en línea]. S.l.: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2013. [Consulta: 6 enero 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3406>.

TORRES, A. *Diseño de un biodigestor anaeróbico para la obtención de metano a partir de residuos lignocelulósicos de la industria maderera y aserrerías* [en línea]. S.l.: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2020. [Consulta: 9 diciembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14065/1/236T0478.pdf>.





VERA, I., et al . *Biogas and Power Generation Potential Part I : Bovine and Pig Manure.* *Ingeniería, Investigación y Tecnología* [en línea], vol. 7743, no. número 3, 2014. pp. 429-436. [Consulta: 4 noviembre 2020]. Disponible en: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S140577431470352X?token=7158CA2E8A41242A53BF996CC17AE0FC4C40D2A37E786347519574EDD407BF2ABD6A6C23CF995C092104557299368E53>.

VERDEZOTO, D. *Diseño de un biodigestor anaerobio para la producción de biogás a partir de las excretas de ganado vacuno, en la finca Los Laureles en la comunidad Flor del Manduro* [en línea]. S.l.: Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. 2014. [Consulta: 3 diciembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3279>.

WAYLLAS, J. *Diseño de un Biorreactor Chino Anaeróbico a partir del estiércol vacuno en la comunidad El Ovílo - Pallatanga* [en línea]. Riobamba - Ecuador: s.n. 2010. [Consulta: 11 abril 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1633>.

ANEXOS

ANEXO A. Determinación de la carga diaria de estiércol

a.	b.	c.	d.		
					
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	DETERMINACIÓN DE LA CARGA DIARIA DE ESTIÉRCOL		
		FACULTAD DE CIENCIAS	LÁMINA	ESCALA	FECHA
<ul style="list-style-type: none"> a. Separación de las 4 vacas b. Recolección del estiércol c. Medición de la temperatura d. Peso del estiércol 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aprobado ▪ Certificado ▪ Por aprobar ▪ Por calificar ▪ Por verificar 	<p style="text-align: center;">ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p style="text-align: center;">Elaborado por:</p> <p style="text-align: center;">Josselyn Marcela Negrete Peña</p>	1	1:1	2021/03/08

ANEXO B. Muestreo del estiércol crudo, degradado y biol

a.



b.



c.



d.



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	DETERMINACIÓN DE LA CARGA DIARIA DE ESTIÉRCOL		
a. Recolección de la muestra de estiércol crudo. b. Recolección de muestra de biol y biosol c. Toma de muestras en envases de laboratorio d. Etiquetado de las muestras	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aprobado ▪ Certificado ▪ Por aprobar ▪ Por calificar ▪ Por verificar 	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Josselyn Marcela Negrete Peña	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			2	1:1	2021/03/08

ANEXO C. Construcción del prototipo



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	DETERMINACIÓN DE LA CARGA DIARIA DE ESTIÉRCOL		
a. Limpieza del bidón b. Conexiones en el biodigestor c. Aseguramiento que no exista fugas. d. Realización de base para el biodigestor	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aprobado ▪ Certificado ▪ Por aprobar ▪ Por calificar ▪ Por verificar 	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Josselyn Marcela Negrete Peña	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			3	1:1	2021/03/08

ANEXO D. Construcción del invernadero

b.



b.



c.



d.



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Josselyn Marcela Negrete Peña	DETERMINACIÓN DE LA CARGA DIARIA DE ESTIÉRCOL		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a. Dimensionamiento del invernadero b. Revestimiento de la caseta c. Señalética en materiales d. Cuadros de procedimiento para el funcionamiento del biodigestor.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aprobado ▪ Certificado ▪ Por aprobar ▪ Por calificar ▪ Por verificar 		4	1:1	2021/03/08

ANEXO E. Preparación del sustrato



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	DETERMINACIÓN DE LA CARGA DIARIA DE ESTIÉRCOL		
a. Peso del estiércol b. Peso del agua c. Homogenización y medición del pH del sustrato d. Colocación del sustrato en el biodigestor	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aprobado ▪ Certificado ▪ Por aprobar ▪ Por calificar ▪ Por verificar 	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Josselyn Marcela Negrete Peña	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			5	1:1	2021/03/08

ANEXO F. Control de parámetros y variables en el prototipo

a.



b.



c.



d.



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Josselyn Marcela Negrete Peña	DETERMINACIÓN DE LA CARGA DIARIA DE ESTIÉRCOL		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
b. Medición de temperatura c. Medición de pH d. Medición del volumen e. Prueba de flama	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aprobado ▪ Certificado ▪ Por aprobar ▪ Por calificar ▪ Por verificar 		6	1:1	2021/03/08

ANEXO G. Análisis físico- químico y microbiológico del Estiércol Crudo



Contáctanos: 0998580374 - 032924417
Av. 11 de noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Josselyn Negrete
Fecha de Análisis: 14 de diciembre del 2020
Fecha de Entrega de Resultados: 24 de diciembre del 2020
Tipo de muestra: Estiércol de ganado vacuno - Muestra Cruda
Localidad: Hda. El Rosal Parroquia Cubijes Cantón Riobamba

TRABAJO DE TESIS

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Métodos de análisis	Resultados
pH	-	4500-H-B	7.54
Temperatura	°C	2550-B	20.1
Demanda Química de Oxígeno	g/L	5220-D	545
Demanda Bioquímica de Oxígeno	g/L	5210-B	390
Sulfuros	mg/L	4500-S-E	112
Cenizas	%	INEN 401	1.36
Humedad	%	INEN 1235	72.86
Materia Beca	%	INEN 1235	27.14
Sólidos Totales	%	2540-B	19.92
Sustancias Volátiles	%	INEN 401	81.48
Coliformes Totales	UFC/g	9222-B	6 x 10 ⁶
Escherichia Coli	UFC/g	9222-D	2 x 10 ⁶
Mohos y Levaduras	UFC/g	Siembra en masa	1.2 x 10 ⁸

*Métodos Normalizados: APHA, AWWA, WPCF
*Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN

Observaciones:

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO

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

ANEXO H. Análisis físico- químico y microbiológico del Estiércol Digerido



Contactanos: 0998580374 - 032924417
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Josselyn Negrete
Fecha de Análisis: 11 de febrero del 2021
Fecha de Entrega de Resultados: 19 de febrero del 2021
Tipo de muestra: Estiércol de ganado vacuno - Muestra Digerida
Localidad: Hda. El Rosal Parroquia Cubijes Cantón Riobamba

TRABAJO DE TESIS

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Métodos de análisis	Resultados
pH	-	4500-H-B	6.44
Temperatura	°C	2550-B	22.5
Demanda Química de Oxígeno	g/L	5220-D	220
Demanda Bioquímica de Oxígeno	g/L	5210-B	200
Sulfuros	mg/L	4500-S-E	14
Cenizas	%	INEN 401	2.38
Humedad	%	INEN 1235	91.56
Materia Seca	%	INEN 1235	8.24
Sólidos Totales	%	2540-B	18.11
Sustancias Volátiles	%	INEN 401	84.7
Coliformes Totales	UFC/g	9222-B	2.4 x 10 ⁶
Escherichia Coli	UFC/g	9222-D	2 x 10 ⁴
Mohos y Levaduras	UFC/g	Siembra en masa	<1000

*Métodos Normalizados: APHA, AWWA, WPCF
*Instituto Ecuatoriano de Normalización: INEN

Observaciones:

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TÉCNICO LABORATORIO

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

ANEXO I. Análisis físico- químico del Estiércol Crudo



Contáctanos: 0998580374 - 032924417
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Josselyn Negrete
Fecha de Análisis: 14 de diciembre del 2020
Fecha de Entrega de Resultados: 24 de diciembre del 2020
Tipo de muestra: Estiércol de ganado vacuno – Muestra Cruda
Localidad: Hda. El Rosal Parroquia Cubijles Cantón Riobamba

TRABAJO DE TESIS

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Métodos de análisis	Resultados
pH	-	4500-H-B	7.54
Nitrógeno	%	4500-Norg-C	0.96
Fósforo	%	4500-P-D	0.22
Relación C/N	-		20:1

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.

RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO

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

ANEXO J. Análisis físico- químico del Biol



Contáctanos: 0998580374 - 032924417
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Josselyn Negrete
Fecha de Análisis: 11 de febrero del 2021
Fecha de Entrega de Resultados: 19 de febrero del 2021
Tipo de muestra: Biol
Localidad: Hda. El Rosal Parroquia Cubijles Cantón Riobamba

TRABAJO DE TESIS

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Métodos de análisis	Resultados
pH	-	4500-H-B	7.2
Nitrógeno	%	4500-Norg-C	1.13
Fósforo	%	4500-P-D	0.34
Relación C/N	-		10:1

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF

Observaciones:

Atentamente,

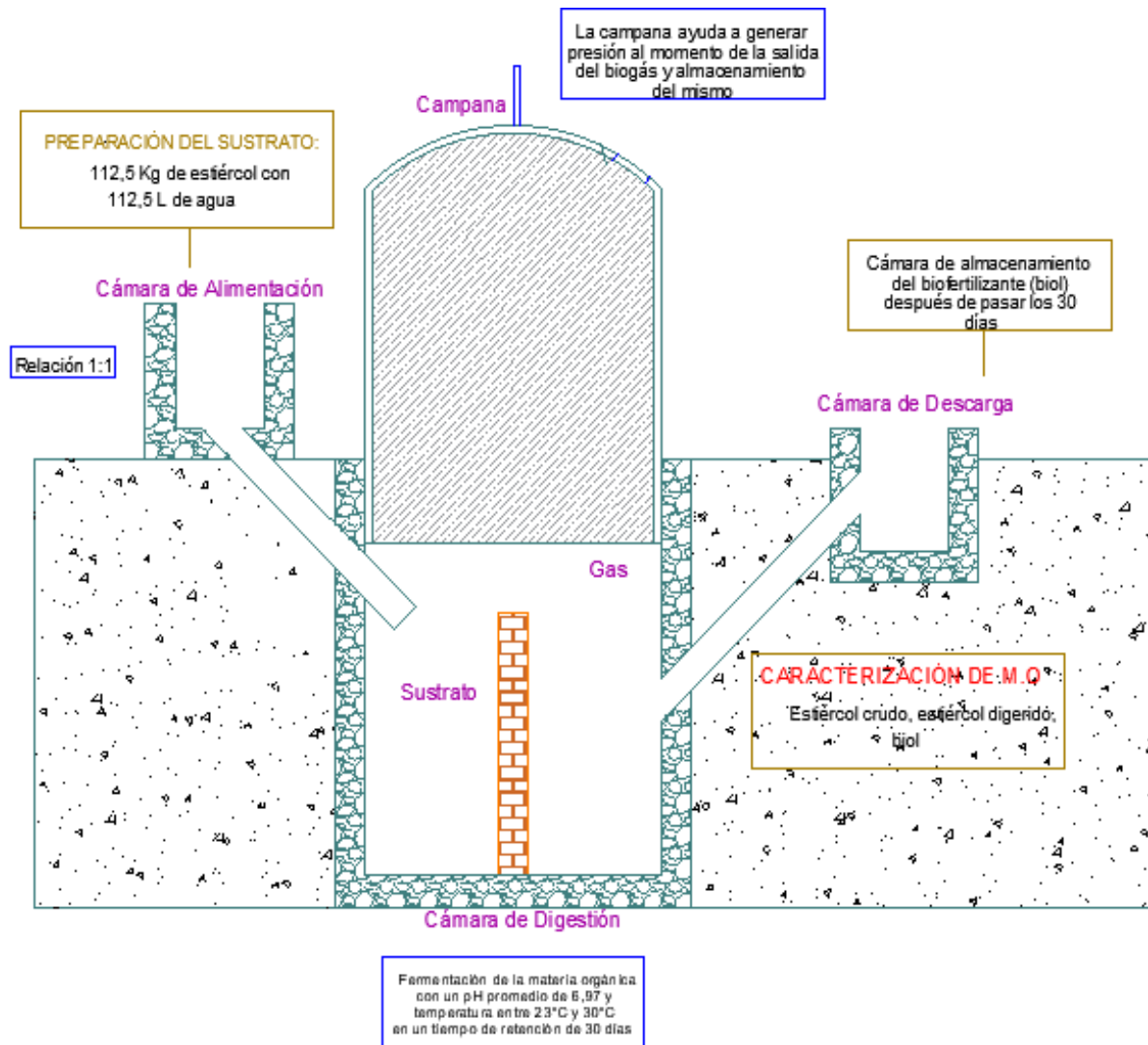


Dra. Gina Álvarez R.

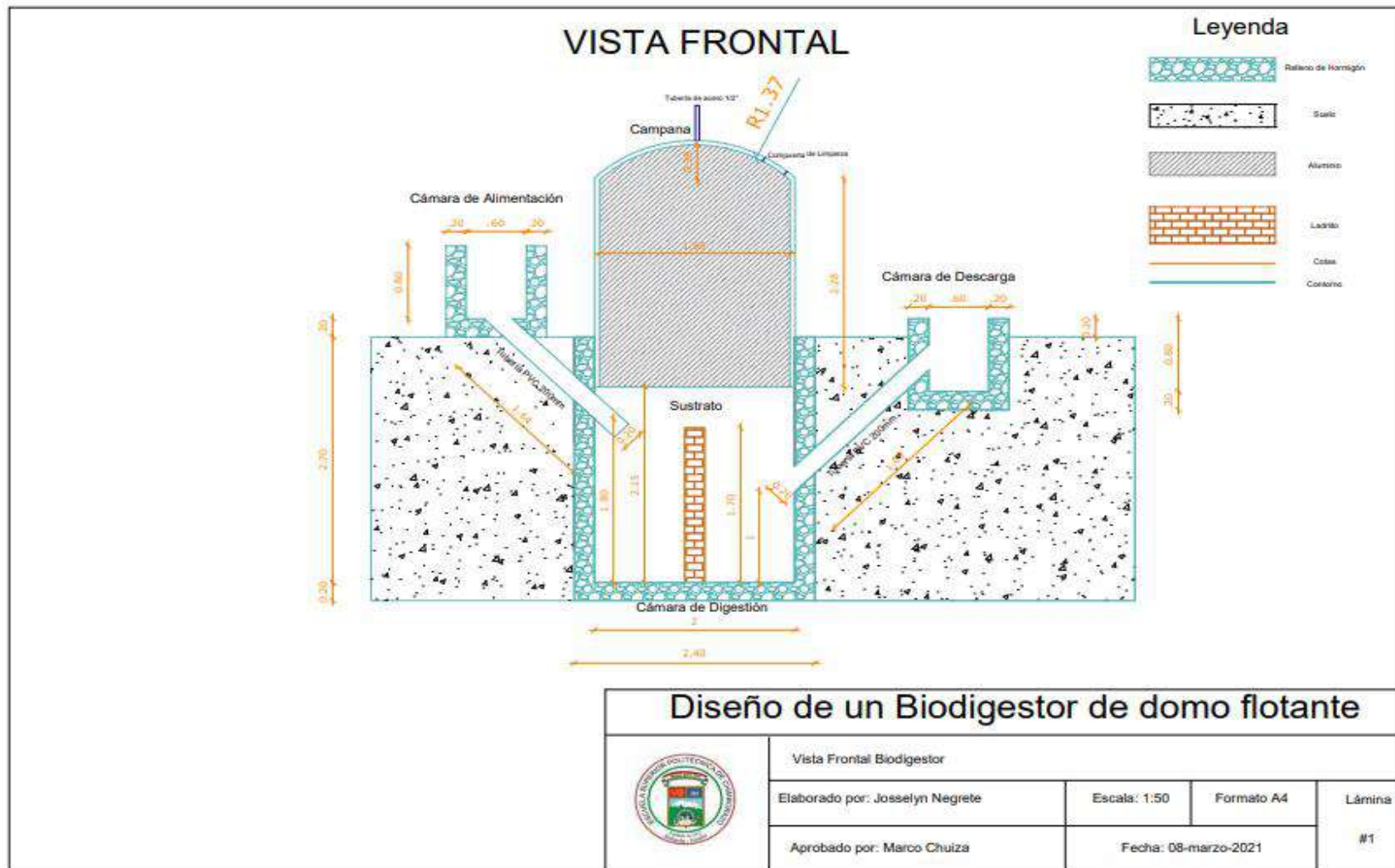
RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO

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

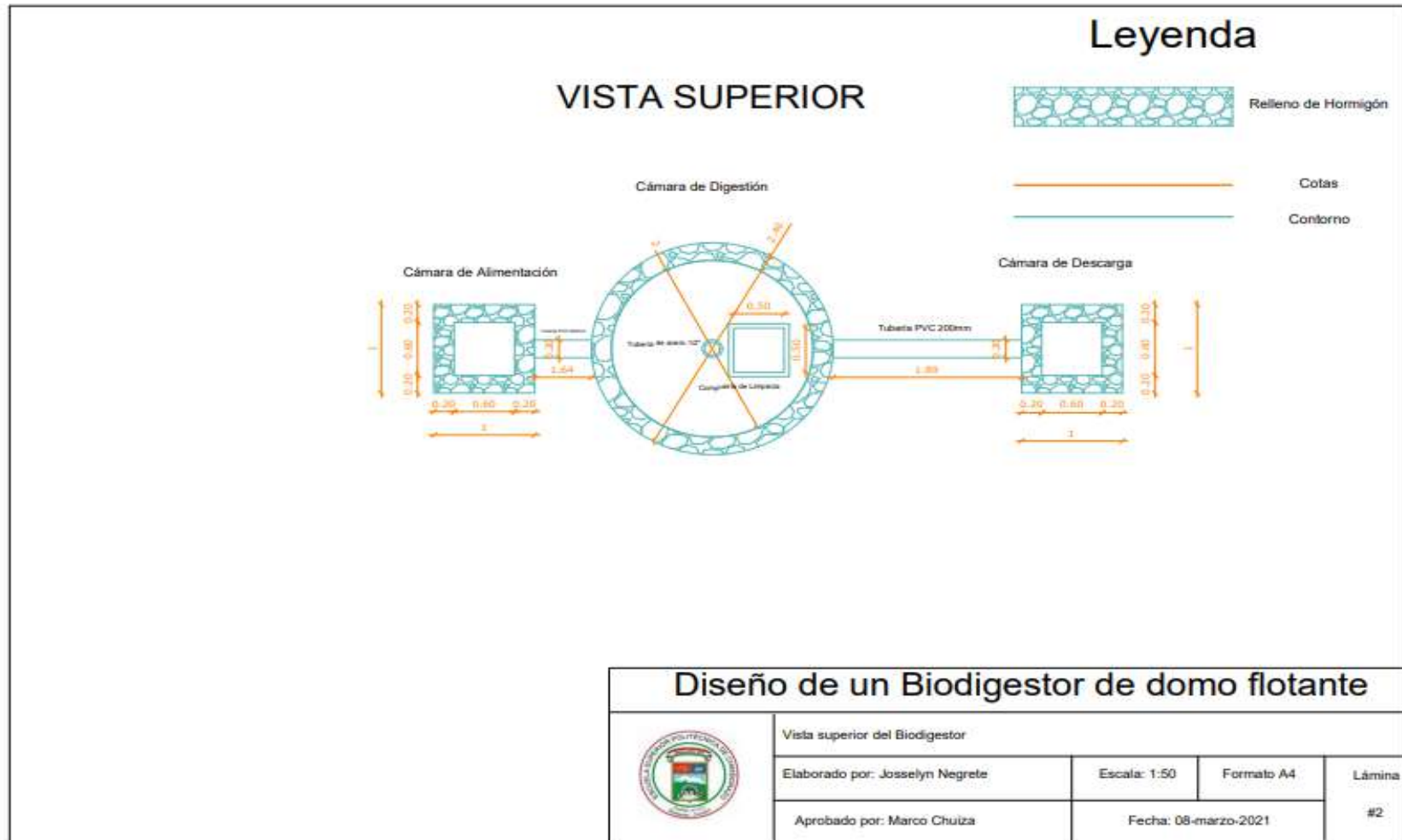
ANEXO K. Esquema del Biodigestor de domo flotante



ANEXO L. Vista Frontal del Biodigestor de domo flotante



ANEXO M. Vista Superior del Biodigestor de domo flotante



ANEXO O. Hoja de registro de temperatura y Volumen de biogás

REGISTRO DE CONTROL DE TEMPERATURA Y VOLUMEN DE BIOGÁS						
LUGAR DE ESTUDIO:	HACIENDA "EL ROSAL"		RESPONSABLE:			
FECHA:			NÚMERO DE HOJA:			
DÍA	HORA	pH	TEMPERATURA AMBIENTE	TEMPERATURA BIODIGESTOR	VOLUMEN DIARIO DE BIOGÁS	VOLUMEN ACUMULADO DE BIOGÁS
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 17 / 09 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Josselyn Marcela Negrete Peña</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Ingeniería Química</i>
Título a optar: <i>Ingeniera Química</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.</i>

**LUIS
ALBERTO
CAMINOS
VARGAS**

Firmado digitalmente
por LUIS ALBERTO
CAMINOS VARGAS
Nombre de
reconocimiento (DN):
c=EC, l=RIOBAMBA,
serialNumber=06027669
74, cn=LUIS ALBERTO
CAMINOS VARGAS
Fecha: 2021.09.17
08:45:37 -05'00'



1064-DBRA-UTP-2021